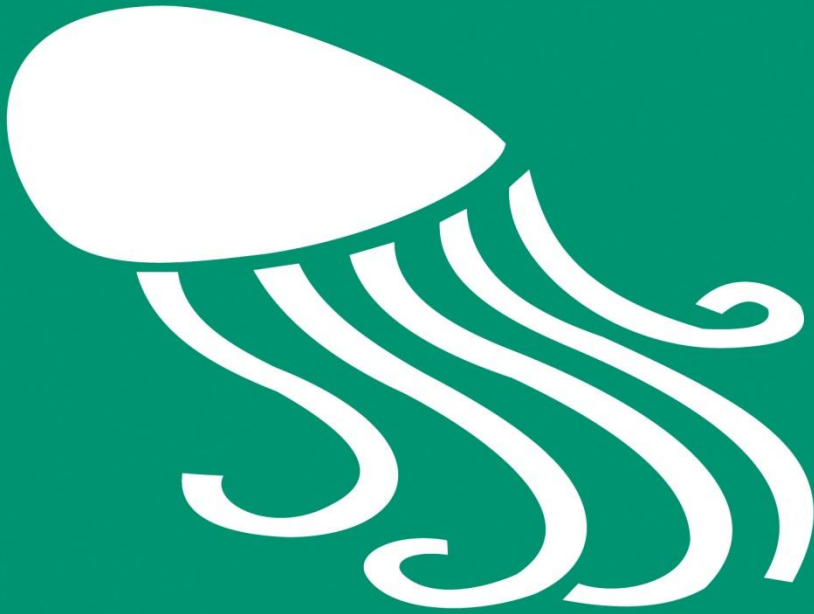




www.oag-fundacion.org

REPOSICIÓN DEL FLUJO DE ARENA EN LA COSTA DE GRANADILLA (TENERIFE)

Citar como:

**OAG (2017). *Reposición del flujo de arena en la costa de Granadilla (Tenerife)*.
S/C de Tenerife: Fundación Observatorio Ambiental Granadilla (Inf_OAG 2017.2), 26 pp.**

Documento no publicado, se puede descargar como PDF en:

www.oag-fundacion.org/content/pdf/oag/inf_2017.2_reposicion_arenas

Reposición del flujo de arena en la costa de Granadilla (Tenerife)

1 Antecedentes

Durante la tramitación del proyecto del puerto de Granadilla, iniciada en el año 1999, se plantearon numerosas quejas ante la Comisión Europea relacionadas, entre otros aspectos, con las repercusiones de dicha infraestructura sobre de las áreas protegidas de la red Natura 2000 y las playas situadas a sotavento. Según el estudio de impacto ambiental realizado, el impacto negativo más importante del nuevo puerto corresponderá a la alteración de los patrones naturales de retirada y depósito de arenas, cuyo flujo natural se dirige hacia el SW según la corriente dominante, repercutiendo sobre la zec ES7020116 Sebadales del Sur de Tenerife y la zec ES7020049 Montaña Roja, a 1,8 km y 7,1 km de distancia respectivamente. Esta última es una zec terrestre contigua que cuenta con un modesto sistema dunar alimentado por las arenas que provienen de la primera. Las obras de abrigo del nuevo puerto interrumpen el flujo de arena procedente del NE, y ésta se pierde en las profundidades.



Figura 1. Ubicación del nuevo puerto de Granadilla y de las áreas protegidas de la red Natura 2000 en la costa SE de la isla de Tenerife

El Dictamen de La Comisión

En 2004 y a sugerencia de La Comisión Europea, las Autoridades Españolas asumieron realizar un trasvase permanente de arena de norte a sur para mitigar el impacto del nuevo puerto en la dinámica litoral. Esta propuesta, conocida como "del baipás", planteaba recoger la arena depositada en la parte septentrional de las obras de abrigo mediante un sistema de bombeo y canalización, y trasladarla más allá del extremo meridional del mismo, de modo que la arena pueda seguir su trayectoria normal. Las instalaciones eólicas a construir en la zona del puerto producirían la electricidad necesaria para alimentar las bombas. Consecuentemente, en el Dictamen de la Comisión Europea (C (2006) 5190 aptdo. V) el trasvase de arena norte-sur se considera que "constituye una parte esencial del proyecto portuario", convirtiéndose en una más de las medidas correctoras formales del Proyecto.

El anteproyecto del 'baipás'

En 2008, la Autoridad Portuaria de S/C de Tenerife elaboró y licitó un anteproyecto de baipás con seis alternativas respecto de la obra de toma e impulsión, conducción terrestre y la conducción marina, basándose fundamentalmente en los estudios de hidrodinámica litoral y clima marítimos disponibles: WL/Delfts Hydraulics 1999 e Hidtma 2004, respectivamente. A la licitación se presentaron cinco empresas, con diferentes propuestas técnicas y mejoras, cuyo presupuesto iba de 5.827.735 € la solución más cara, a 3.842.206 € la más barata. El objetivo, según reza el documento, era "reincorporar a la dinámica litoral la posible aunque improbable arena que pudiera acumularse al norte del dique en talud norte". El flujo natural de partículas interrumpido fue estimado por Delfs Hydraulics entre 0 a 50.000 m³ de arena al año, cifra bastante imprecisa que, no obstante, motivó que el caudal de bombeo proyectado fuese de 50.000 m³/año

En 2008, se constituye la presente fundación con el cometido, entre otros, de vigilar ambientalmente el desarrollo del puerto de Granadilla y el cumplimiento de las medidas correctoras y compensatorias arbitradas. Al estudiar la presente medida correctora, el OAG apreció indicios de que el transporte costero inducido por el oleaje pudiera no ser muy relevante y sí el de plataforma generado por la corriente, circunstancia que afectaría a las zonas de acumulación y succión teórica de las arenas. Por ello, y de cara a aumentar la probabilidad de acertar con una buena solución, se propuso a la Autoridad Portuaria que se actualizara el estudio de dinámica litoral aprovechando la información registrada *in situ* en la última década (antes inexistente), así como la significativa mejora de los programas de modelización de última generación.

El nuevo estudio –elaborado esta vez por el IH Cantabria– evidenciaba que la dinámica costera en Granadilla no es equiparable al de las costas mediterráneas o atlánticas, que pudiera haber inspirado la solución del 'baipás'. Tras la construcción del puerto, el transporte de fondo se vería incrementado aguas arriba y disminuiría aguas abajo, justo al contrario de lo que se había planteado siguiendo la idea de un transporte de oleaje. La estima del volumen de sedimentos interrumpido es del orden de 800 a 2.000 m³ –en vez de los 0 a 50.000 m³–, y dichos sedimentos no se acumularán al pie del dique norte del puerto, sino que se repartirán en una zona mucho más amplia (23 ha), haciendo prácticamente inviable su succión desde tierra.

La propuesta alternativa del OAG

Al revelarse inútil la solución del baipás, el OAG desarrolló otras alternativas con el mismo objetivo de reponer el flujo de arena interrumpido, y fueron expuestas en Bruselas ante la Comisión Europea en febrero de 2012. La alternativa finalmente escogida por la Autoridad Portuaria y aceptada por La Comisión (diciembre 2012) consiste básicamente en reponer unos 2.000 m³ anuales de arena mediante descargas puntuales en la costa, aguas abajo del puerto (en el sentido de la corriente NE > SW), y a un ritmo acorde con la resiliencia del ecosistema.

De esta alternativa se consideraron dos variantes que implican en ambos casos el acopio previo de arenas en un depósito de acumulación con un mínimo almacenado de 4.000 m³, como garantía de continuidad en la operación. Consisten en:

Variante B La arena acopiada se traslada en camiones para ser vertidos directamente en un punto de la costa lo más alejado posible del puerto y sin adentrarnos en la zec, como pudiera ser el extremo occidental de la Playa del Vidrio o en el Morro del Iter, donde la capacidad de transporte de partículas es presuntamente elevada. El oleaje y corrientes se encargarán de dispersar la arena. El ritmo de aporte debe ser alto, a razón de un camión cada dos días o reducirlo (p.ej. dos camiones cada cuatro días) solo después de comprobar que las arenas efectivamente se dispersan. Los camiones pueden verter la arena directamente en la playa o zona intermareal rocosa, a marea baja, o adentrarse unos metros mediante un pequeño pontón.

Variante C El material se transporta en un gánguil pequeño que lo descargará a lo largo de una superficie amplia de mar sobre fondos no superiores a los 30 m de profundidad. La liberación de la arena ha de hacerse de modo lento y mientras se navega, favoreciendo así la dispersión y evitando que las comunidades bentónicas puedan ser sepultadas por un exceso de material. El ritmo de vertido puede ser semanal o concentrar los trabajos en 2-3 días a la quincena, según la capacidad del gánguil.

La arena para la reposición puede proceder de los dragados realizados durante las obras o de futuro mantenimiento del puerto ya operativo, o bien de dragados *ex profeso* por debajo de los 40 m de profundidad, donde hay grandes bancos de arena en toda la zona.

El balance del sistema costero de Granadilla es aparentemente excedentario en la generación de arenas, con una importante componente orgánica formada in situ a partir del maërl (algas coralináceas). La sobrante se pierde hacia las profundidades por el veril o en “sumideros” (barrancos submarinos) que intersectan la costa. De hecho, no se puede descartar la posibilidad de que el excedente de arena local pueda suplir la pérdida provocada por la irrupción del puerto. Empero, esta hipótesis se ha marginado en tanto no se cuantifique la capacidad real de generar arena que tiene el maërl, y el OAG ha abordado en 2017 un estudio con este propósito.

Un llamado a la cautela

La ubicación del punto de vertido de las arenas en la costa es una cuestión crítica una vez finalizado el dique de abrigo. Se pretende que las arenas liberadas sigan la corriente hacia el suroeste, hacia la zec, pero podrían verse arrastradas hacia el noreste debido al vórtice que provoca el espigón, con lo que las arenas se depositarían en la bahía a sotavento del puerto, comprometiendo la operatividad del propio puerto y sin resolver el problema planteado.

Los modelos de dinámica litoral de IH Cantabria, aun contando con bastante resolución (50 m), definen el área del Morro del Iter como la zona donde se produce este cambio de dirección en la corriente, generando suficiente incertidumbre como para que el OAG propusiera posponer la elección del punto de vertido hasta no hacer pruebas físicas y estudiar la corriente real una vez concluidas las obras de abrigo. Tampoco cabe alejarse de dicho morro más al sur ya que Montaña Pelada impide el acceso por tierra a la costa, a la vez que nos adentramos en la propia zec Sebadales del Sur de Tenerife.

Dicha decisión cautelar implica un retraso en la reposición de arena, pero ello no compromete la finalidad perseguida. Durante la construcción del puerto se vertieron grandes cantidades de materiales pétreos y todouno con un componente en arena entre el 3 y 13%, lo que supone una reposición fáctica de arena equivalente a la tasa de varios años (e. g. 100.000 m³ de arena en 2012 y 70.000 m³ en 2014). Así se informó en los reportes anuales de la vigilancia de Granadilla remitidos a la Autoridad Portuaria, y ésta a su vez, en su informe semestral a la Comisión.

2 Objetivo

Es objeto del presente documento exponer los trabajos y estudios previos realizados para acometer la reposición de arenas en el litoral de Granadilla y, a la luz de los resultados obtenidos, proponer el modo más razonable de abordar la reposición, especificando el punto de vertido (dónde), la técnica más eficiente (cómo) y la frecuencia con que debe hacerse (cuándo).

Se resumen en un primer apartado los resultados relevantes de los estudios previos de modelización de la hidrodinámica litoral, y que han servido de guía para buscar las soluciones alternativas y orientar los ensayos físicos de comprobación.

3 Modelización de la hidrodinámica litoral

En los estados de bajamar y vaciante, la magnitud del transporte en el fondo es mayor puesto que la corriente de marea y la corriente derivada del oleaje van en la misma dirección. Sin embargo en los instantes de llenante y pleamar la corriente de marea va en dirección NE mientras que la del oleaje sigue hacia el SW, por tanto, el transporte potencial es de menor magnitud, con un desplazamiento neto de partículas hacia el SW.

El estudio de IH Cantabria (2012) sobre modelización de la hidrodinámica litoral sin el puerto y con el puerto preveía dos efectos en el transporte sedimentario: (a) la interrupción del flujo sedimentario procedente de aguas arriba del puerto, y (b) una reducción en la capacidad de transporte potencial de partículas aguas abajo del puerto.

El flujo natural de sedimentos que llega a la zec Sebadales del Sur de Tenerife se estimó en 4.300-11.800 m³/año. Una vez construido el puerto faltarán 800-2.000 m³/año que proceden de aguas arriba, y que constituyen la cantidad teórica a reponer.

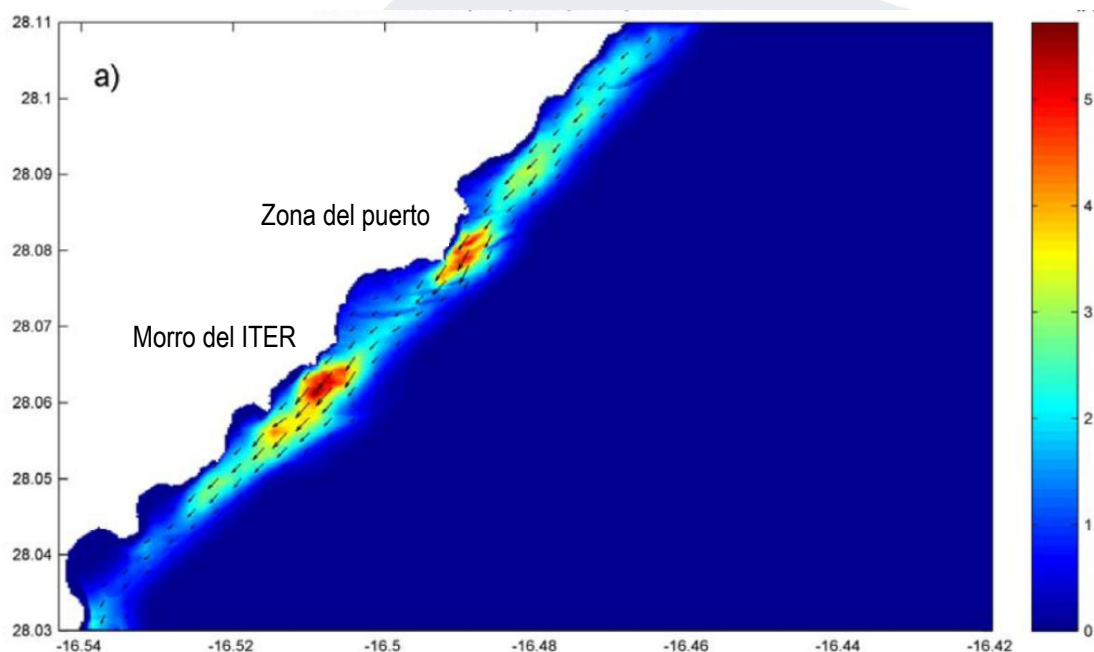


Figura 2. Media anual de la tasa de transporte puntual (m³/s/m), tomado de IH Cantabria (2012)

Con respecto a la modificación del transporte potencial, comparando la Figura 2 con el recuadro de la Figura 3, se puede ver que la tasa de transporte potencial disminuye significativamente al SW del puerto: de máximos en torno a $4-5 \cdot 10^{-5}$ m³/s/m para la situación previa a su construcción, a máximos en torno a $1-2 \cdot 10^{-5}$ m³/s/m para la situación actual. En la Figura 3 se

destaca además la presencia de fondos rocosos frente al Morro del Iter, lo que confirma que efectivamente la velocidad de la corriente y transporte eran altos en este tramo de costa, en la situación previa a las obras. No obstante, y según estos modelos, la tasa de transporte potencial en la costa de Granadilla es mucho mayor que el transporte real, por lo que la disminución prevista no se traduciría en una merma del mismo. El factor limitante aquí es la disponibilidad de material y no la capacidad de transporte.

El transporte real aguas abajo se mantendría en los 3500-9800 m³/año de sedimento que se generan en dicho tramo de costa (aportes de barrancos y del maërl)¹, y solo habría que completarlos con los 800-2000 m³/año que ya no llegan desde aguas arriba del puerto, y que suponen un 18% del flujo original.

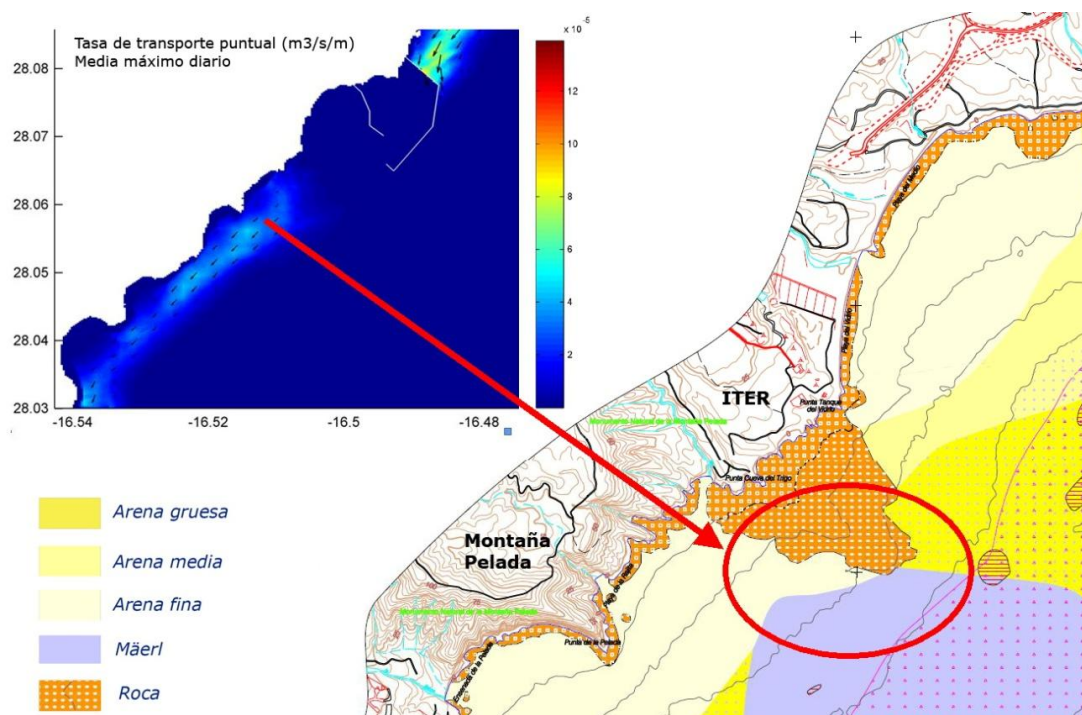


Figura 3. Media anual de la tasa de transporte puntual (m³/s/m) en escenario de puerto construido (tomado de IH Cantabria 2012), y detalle de la naturaleza de los fondos frente al Morro del ITER (tomado de CIS, 2004).

IH Cantabria (2012) también analizó la influencia del tamaño de grano en el número de días al año en los que hay capacidad de transporte potencial de sedimentos. Para profundidades inferiores a 10 m, la práctica totalidad de los días poseen capacidad de transporte potencial; entre los 10 y los 30 m, la capacidad disminuye rápidamente hasta aproximadamente 100 días al año y, a partir de los 30 m de profundidad, el número de días con capacidad para el transporte de sedimentos es prácticamente inexistente. Este comportamiento es igual independiente de que se trata de arena fina (D50 = 0.2 mm) o arena media-gruesa (D50 = 0.5 mm). Sin embargo, cerca de la costa sí se aprecia que al aumentar el tamaño de grano (arena gruesa, D50 = 0.8 mm) se produce una disminución en el número de días con capacidad de transporte.

¹ Teniendo en cuenta que en la zona de estudio la temperatura del agua es bastante estable (17°C en marzo, 24°C en octubre), que existe una alta insolación y que las aguas oceánicas son muy claras y dejan entrar la luz, el IH Cantabria ha asumido para sus cálculos que la fijación media anual de carbonato por parte de las poblaciones de *Litothamnion corallioides* (principal componente del maërl) estaría en torno a 2000 g CaCO₃/m², con una desviación de +/- 500 g CaCO₃/m²/año⁻¹. A falta de estudios en Canarias, se han basado en las mediciones de Martín et al. (2006) realizadas con esta especie en las aguas costeras templadas de Brest (obtuvo valores entre 300 y 3000 g de CaCO₃/m²).

En 2017 y por encargo del OAG, el IH-Cantabria modelizó en detalle la corriente en las nueve estaciones de muestreo de sebadal que la fundación tiene distribuidas a lo largo de la costa de Granadilla (actualizado con datos del correntímetro del OAG 2011-2016). Precisamente, la estación TGr00, donde se ubica la boya oceanográfica, se encuentra en el ámbito de posible vertido de arenas, y la información obtenida es particularmente oportuna.

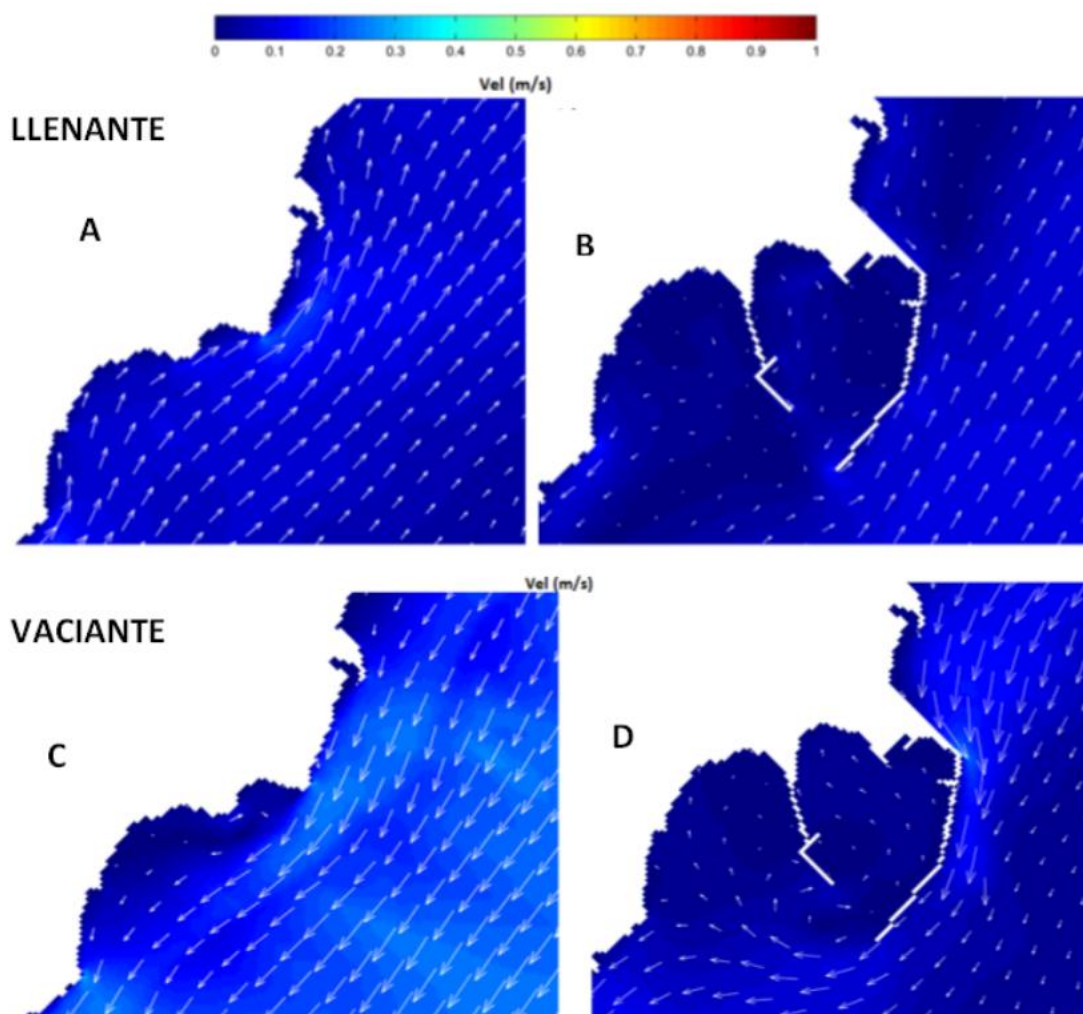


Figura 4. Simulación del campo de corrientes promediadas en profundidad en las cercanías del Puerto de Granadilla: Arriba= marea llenante, Abajo = marea vaciante: A y C antes del puerto, B y D con puerto (Tomado de IH-Cantabria, 2017)

En dicha estación el valor medio del módulo de velocidad habría disminuido un 15%, desde 19 cm/s antes de las obras a 14 cm/s en el presente; mientras que en la estación Tarajales, próxima al dique norte del puerto, la velocidad habría aumentado un 22%, de 10 cm/s a 13 cm/s. Dicha disminución, y en su función, la tasa potencial de transporte, parece no haber sido tan drástica como se predijo en 2012.

En TGr00, la velocidad promedio en superficie y fondo para la situación actual dieron 20 cm/s y 16 cm/s respectivamente, con valores máximos de 63 cm/s y 56 cm/s. Nótese que, una vez construido el puerto, en el Morro del Iter la corriente en marea llenante adopta el mismo sentido (hacia el SW) que con marea vaciante (Figura 4 B y D), circunstancia que podría favorecer el arrastre de la arena hacia la zec, a pesar de la disminución de la capacidad de transporte, que seguiría siendo sobrada (1500 m³/año/m).

4 Actuaciones y ensayos realizados

A fin de contrastar la información obtenida con los modelos y conocer mejor las circunstancias hidrodinámicas frente al Morro del Iter, se han realizado algunas pruebas, tanto antes de concluirse las obras como después, con el nuevo régimen de circulación de las corrientes ya definido. En esta sección se resume lo esencial de dichas actuaciones y de la ejecución del depósito de arena en el extremo NE de la zona portuaria, junto a la base del dique norte.

4.1 Análisis de la corriente residual

Según los modelos expuestos en el apartado anterior, las corrientes máximas (medias anuales) se alcanzan en ambos extremos del tramo de 23 km de la costa de Granadilla considerado (de Montaña Roja hasta la Punta de Abona) y son en torno a 40 cm/s. Lo habitual en las zonas intermedias son velocidades entre 15-25 cm/s. Las corrientes de marea suben hacia el NE en llenante, y bajan hacia el SW en vaciante, quedando una corriente residual hacia el SW por influencia de la corriente del oleaje y dirección del viento dominante. Esta corriente residual es responsable del transporte neto de partículas que se produce en dicho sentido (ver Tabla 2).

El OAG ha procurado medir la evolución de las corrientes en la estación TGr00, frente a Montaña Pelada, donde mantiene fondeada una boya oceanográfica equipada con un correntímetro 2D-ACM (Falmouth Scientific). Las series de datos obtenidas no son del todo uniformes debido a fallos en el equipo de telecomunicación o problemas con su mantenimiento. En 2016, por ejemplo, solo hay datos hasta julio y los valores promedios calculados hay que tomarlos con las debidas cautelas. En el Anexo 8.3 se muestran las rosas de corrientes de 2013 a 2016.

Tabla 1. Media de la velocidad de la corriente según cuadrante y la residual ponderada, medida en la boya de Granadilla en 2015 (tabla inferior) y 2016 (tabla superior).

Dirección		Cuadrante	Frecuencia	Velocidad media	Media 2016
Llenante	N	337,5° a 22,5°	3,40%	5,79 cm/s	16,38 cm/s 49,7%
	NE	22,5° a 67,5°	21,67%	14,90 cm/s	
	E	67,5° a 112,5°	12,87%	16,85 cm/s	
	SE	112,5° a 157,5°	11,71%	21,69 cm/s	
Vaciante	S	157,5° a 202,5°	19,45%	22,71 cm/s	20,31 cm/s 50,3%
	SW	202,5° a 247,5°	21,97%	22,78 cm/s	
	W	247,5° a 292,5°	6,74%	10,15 cm/s	
	NW	292,5° a 337,5°	2,19%	5,44 cm/s	
Dirección		Cuadrante	Frecuencia	Velocidad media	Media 2015
Llenante	N	337,5° a 22,5°	4,89%	3,03 cm/s	10,18 cm/s 48,2%
	NE	22,5° a 67,5°	32,33%	11,25 cm/s	
	E	67,5° a 112,5°	10,46%	10,80 cm/s	
	SE	112,5° a 157,5°	0,72%	1,77 cm/s	
Vaciante	S	157,5° a 202,5°	0,67%	1,65 cm/s	12,39 cm/s 51,8%
	SW	202,5° a 247,5°	15,67%	14,23 cm/s	
	W	247,5° a 292,5°	31,50%	12,84 cm/s	
	NW	292,5° a 337,5°	3,76%	2,85 cm/s	

En principio, en el primer semestre de 2016, la evolución de la corriente residual absoluta –es decir, la resultante después de conjugar todas las direcciones, su frecuencia e intensidad– es de 7,81 cm/s, y proyectada sobre el eje NE-SW que es el paralelo a la costa, resulta de 6,84 cm/s; bastante intensa en este punto, de manera que no comprometería el transporte de las arenas que se pretenden verter para su reposición. La media de los años previos es de 4,36 cm/s.

Tabla 2. Evolución de la corriente residual en superficie (Estación TGr00)

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Velocidad de la corriente en cm/s	3,37	2,08	5,72	11,03	1,89	7,81
Rumbo de la corriente	328,1	233,93	225	240,94	286,56	196,05
Velocidad cm/s con rumbo 270°	2,52	2,05	5,72	10,60	0,90	6,84
Desplazamiento diario hacia el SW (m)	2.169	1.771	4.942	9.530	778	5.909

4.2 Perfil de la corriente

Con ocasión de la primera prueba de vertido de arena, realizada en el mar en otoño de 2013 cuando solo se había construido el 19% del dique exterior de abrigo, se mantuvo fondeado durante 27 días –desde el 25 de octubre al 20 de noviembre de 2013– un perfilador acústico de corrientes FlowQuest 600 en la proximidad del punto de vertido en las coordenadas 28°03′ 44,01′N 16°30′ 27,52″W (ver Figura 7). Las estadísticas descriptivas, tomadas del informe que elaboró la empresa ejecutora (CIMA, 2013), pueden consultarse en el Anexo 8.2.

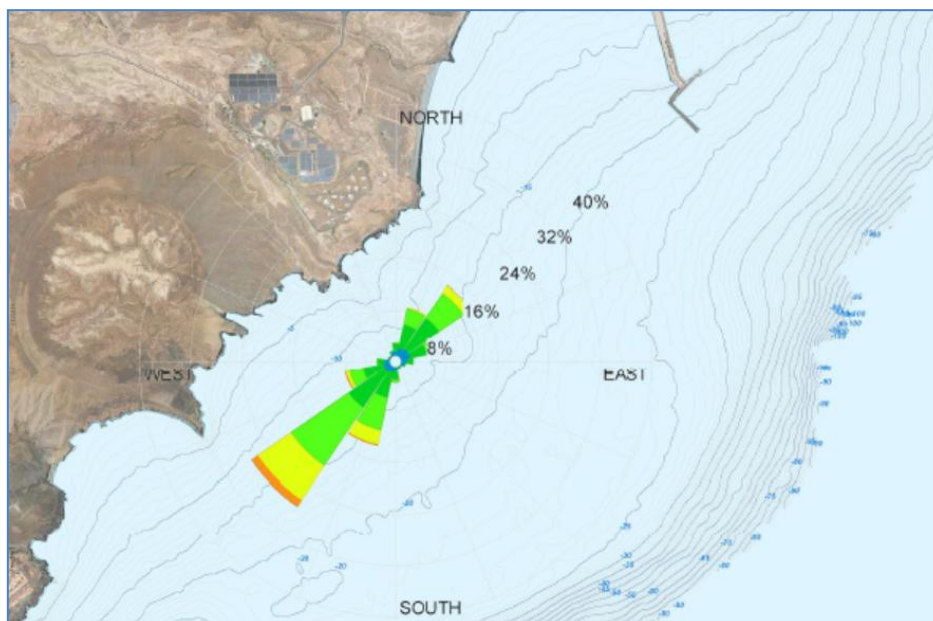


Figura 5. Posición del perfilador y rosa de corrientes (27 días) a 7 m de profundidad (capa 13).

La velocidad media de la corriente disminuye gradualmente con la profundidad, oscilando entre los 20 cm/s en las capas del fondo a los 27 cm/s en las capas más superficiales, siendo sus valores en marea vaciante siempre superiores (20-25%) a los de la marea llenante. Este diferencial 4-5 cm/s, que proviene de la corriente general de Canarias y viento dominante, es el responsable del transporte neto de partículas hacia el SW.

Los valores máximos de corriente cuadruplican la media y siguen un patrón parecido, oscilando entre los 60 cm/s en las capas del fondo a los 105 cm/s en las capas más superficiales, y también son mayoritariamente superiores (1-22%) en marea vaciante.

La componente de marea se aprecia igualmente en el registro de las direcciones de la corriente, siendo las de orientación hacia el SSW-WSW las dominantes (50%), y las NNE-ENE las opuestas (25%). No obstante, en superficie Figura 6, donde las intensidades de la corriente son muy superiores a las encontradas en las capas inferiores, la dirección se mantiene permanentemente en sentido SW-SSW, la misma que la del viento y el oleaje dominante en la zona, quedando así enmascarada la corriente de marea.

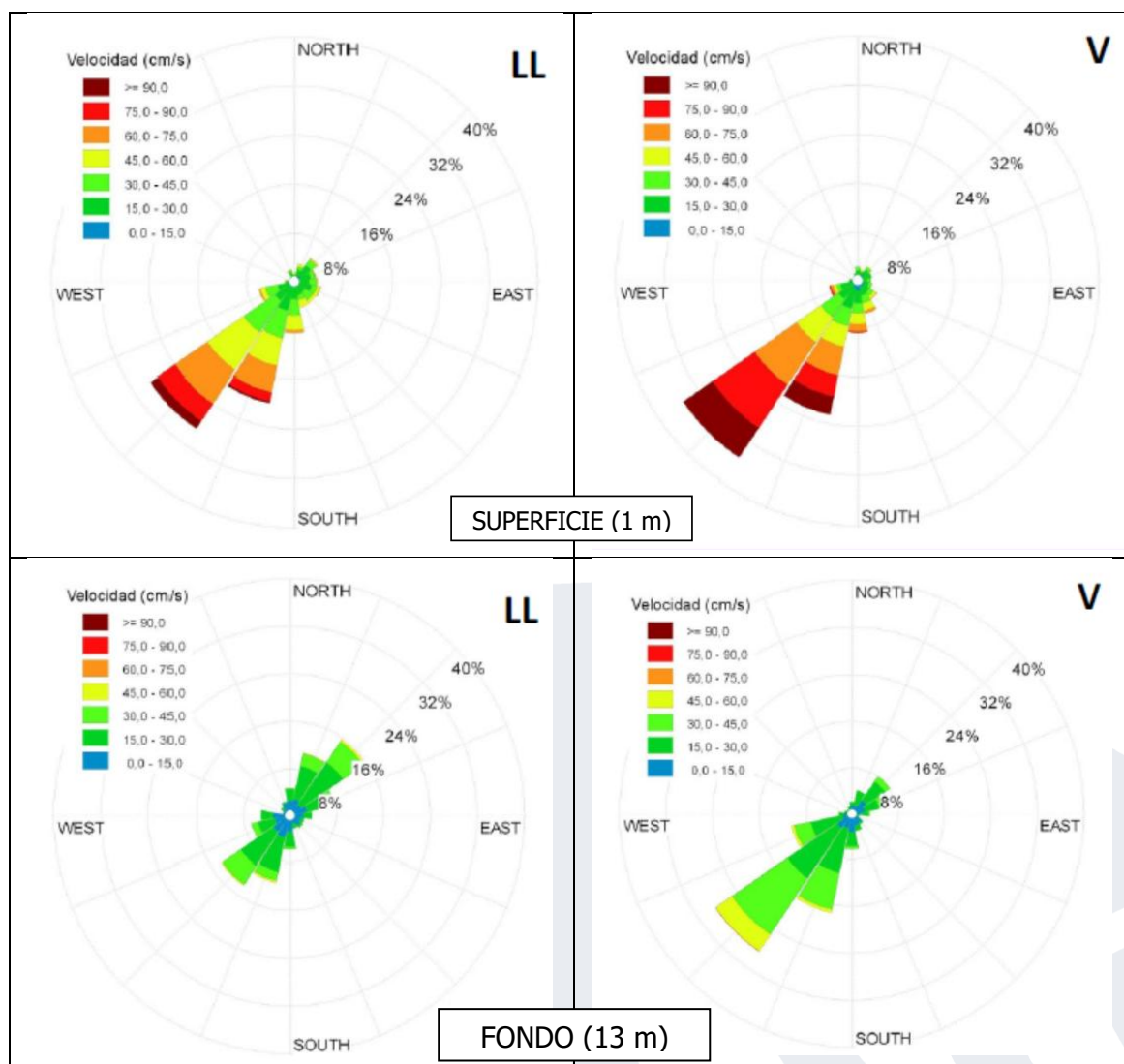


Figura 6. Rosa de corrientes: Arriba, a 1 m de la superficie (capa 25); abajo, a 1 m del fondo (13 m, capa 1)

En el fondo, la componente de marea correspondiente a la llenante nunca es muy marcada, ya que no existe una dirección unitaria como ocurre con la marea vaciante. La mitad de sus registros son en dirección NNE-ENE, opuesta a la de la marea vaciante, y la otra mitad siguen la misma dirección que la marea vaciante o la de la capa superficial (SSW-WSW). Este comportamiento puede ser debido a la poca profundidad del punto de fondeo del correntímetro (14 m) donde los fenómenos del oleaje y viento tienen mayor influencia en la columna de agua. Es posible que en los periodos de menor intensidad de la corriente (cerca de los cambios de marea), la influencia del oleaje y el viento sean superiores a la de la marea, produciéndose un cambio anticipado en la dirección de la corriente, antes del cambio de la marea.

4.3 Prueba de vertido de arena en el mar

El 25 de octubre de 2013 se realizó una prueba de vertido de 45 m³ de arena directamente en el mar, frente al Morro del Iter (28°3'46,34"N 16°30'29,69"W) a unos 275 m de distancia de la costa, con ulteriores visitas de control para cuantificar la tasa de dispersión de la duna submarina generada, que duró has el 23 de diciembre de 2013. En la duna se colocaron estacas decimetradas para medir el descenso de la arena y durante los primeros 27 días se mantuvo un perfilador de corrientes acústico doppler (FlowQuest 600) fondeado en su proximidad (28°03'44,01"N 16°30'27,52"W) (CIMA, 2013).



Figura 7. Puntos de vertido de arena y de fondeo del perfilador frente al Morro del ITER

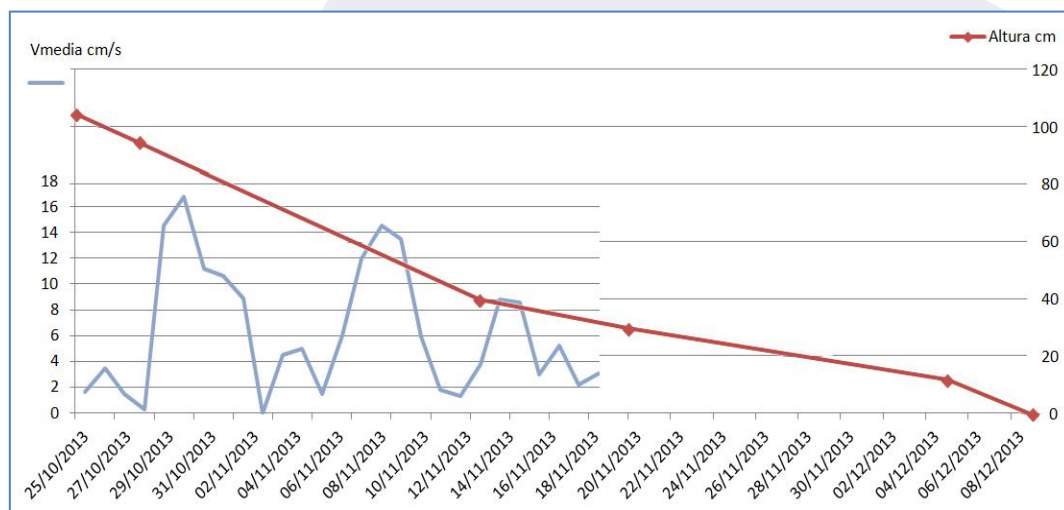


Figura 8. Curva de remoción de arena (en rojo altura de la duna) y azul, velocidad media de la corriente.

Dos tercios de la arena vertida se dispersaron con el efecto de la descarga, y el tercio restante formó una duna de 105 cm de altura, que tardó 59 días en desaparecer por completo. La tasa media de remoción de la arena fue de 1,7 cm/día, con máximos de 3,4 y mínimos de 0,7 cm/día) en función de las variaciones en la velocidad de la corriente, cuya residual con orientación SW fluctuó bastante según los ciclos de marea, con una media de 6,3 cm/s, que duplica la media conocida de la zona (2,61 cm/s).

4.4 Prueba de vertido de arena desde tierra

En diciembre de 2016, una vez fondeado del último cajón del martillo de la obra de abrigo, se procedió a una segunda prueba, vertiéndose 18 m^3 de arena en dos puntos del Morro del Iter (Punta del Cargadero del Trigo). Con la ayuda de operarios, se vaciaron a marea baja 600 sacos de 25-30 kg en el punto A y 300 en el punto B en un primer día, y 390 sacos únicamente en el punto A al segundo día. La dispersión de la arena fue inmediata en el punto A, donde rompen las olas al subir la marea, mientras que en el punto B se forma en el fondo un pequeño acopio de unos 35 cm de altura y $1,25 \times 1,00 \text{ m}$ de base, que tarda como máximo un día en dispersarse.



Figura 9. Localización de los vertidos de prueba en la Punta del descargadero del trigo, en el Morro del Iter.

Esta ubicación se ha ensayado por ser la más alejada del puerto con acceso rodado y sin adentrarnos en la vecina zec, y no sería muy complicado organizar una infraestructura mínima para facilitar los vertidos, siempre que se obtenga la preceptiva autorización de la Demarcación de Costas.



Figura 10. Punto de vertido A



Figura 11. Punto de vertido B

4.5 Desplazamiento de la arena

Dado que la velocidad de la corriente en el fondo, e incluso su dirección, pueden ser distintas de la medida cerca de la superficie, se estudió este particular en dos puntos concretos mediante una cámara de video fondeada, enfocando una regleta de 45 cm de longitud orientada paralela a la costa. Ello permitió cuantificar la velocidad de la corriente, la pauta de flujo y reflujo, y los desplazamientos de los granos de arena.

- Estación TGr00 (Boya), a 13,3 m de profundidad, el día 24/5/2017 con bajamar a las 6:44 y pleamar a las 12:59. Período filmado 11 a 12:39 (llenante). Arena gruesa.
- Estación TGr39 (Arenal), a 3 m de profundidad, el día 26/5/2017 con bajamar a las 8:12 y pleamar a las 14:29. Período filmado 11:50 a 13:00 (llenante). Arena fina.



Figura 12 Regletas fondeadas en la arena. Los videos tomados con una cámara GoPro permiten ser visualizados fotograma a fotograma aportando una precisión de dos décimas de segundo.

A 13 m de profundidad las condiciones de transporte son distintas (transporte de playa), aunque se percibe bien el flujo y reflujo que generan las olas, con una cadencia promedio de 6,75 s, que equivale a 8,8 olas por minuto. Las partículas flotantes (algas, restos de seba) evidencian que el flujo llenante se desplaza hacia el NE a razón de unos 16,27 cm/s (máximo 28,26 cm/s), mientras que en el reflujo lo hace algo desviado hacia mar adentro (S-SE), alejándose de la costa en zigzag. Esto ocasiona un desplazamiento neto hacia el NE durante la llenante.

Los granos de arena, siendo más gruesos en esta estación, tienen mayor dificultad en ser levantados del fondo por efecto de la onda de la ola (no siempre ocurre), momento en que quedan a merced de la corriente y ruedan o son arrastrados hasta que paran o caen. Mientras el agua se desplaza en promedio a 16,27 cm/s, los granitos los hacen a 3,67 cm/s, pero solo durante el momento máximo del pulso, que dura apenas unos 0,79 s (promedio). El desplazamiento se produce, pues, a saltitos de 1 a 8 cm (media 5,59 cm/s) por cada pulso de ola, generalmente solo con el del flujo (hacia el NE), no siempre, y obviamente solo algunos granos. Muy a grosso modo, si se considera el ritmo medido de 8,8 olas por minuto y seis horas de marea llenante, el máximo desplazamiento posible para un grano de arena en llenante rondaría los 161 m durante la pleamar.

Teniendo en cuenta que el frente del Morro del Iter mide 523 m entre el punto de vertido y su extremo NE (Punta del Vidrio), no parece plausible que durante una llenante los granos vertidos puedan ser arrastrados más allá de este morro y adentrarse en la bahía del puerto. Además, si existe alternancia en la corriente según las mareas, con la bajamar cuya velocidad en el fondo es un 20-25% mayor que la de pleamar, se produciría un desplazamiento neto hacia SW de unos 32-40 m en un ciclo de marea, o de 64-80 m al día (23-29,2 km/año).

En la estación TGr39, a 3 m de profundidad, el impacto de las olas se hace notar de forma contundente, generando turbulencia suficiente como para suspender, resuspender y arrastrar los granos de arena fina durante intervalos de tiempo largos dentro del pulso de cada ola, alcanzando a menudo velocidades del orden de 14,6 cm/s, próximas a las del agua (19,23 cm/s). El desplazamiento depende del tiempo en que el grano permanece suspendido (entre 2-3 s, muy variable) un 10% - 30% de la duración del pulso. Sin embargo, y a diferencia de la estación anterior, aquí el refluo mueve también los granos en sentido contrario casi con igual frecuencia que el flujo. Por ello, el avance neto no es tan marcado a pesar de la mayor duración de la suspensión del grano. A falta de poder seguir la pista a los granos individuales como en el caso anterior (imposible, dada la turbulencia), se optó por medir el desplazamiento de las rizaduras que la arena forma en el fondo, obteniéndose valores entre 7,15 a 11,4 cm/h, o su equivalente de 43-68 cm hacia el NE durante la marea llenante (un tercio menor que en la estación exterior).

4.6 Nuevo esquema de la hidrodinámica

Para despejar las dudas sobre el nuevo esquema de corrientes frente al Morro del Iter tras la finalización de las obras de abrigo, se realizó un estudio puntual de las corrientes empleando nueve boyas de deriva (modelo “Albatros”, de DC Servicios Ambientales). En abril se soltaron dos boyas cada media hora en frente del punto de vertido, comenzando con la marea llenante el día 18 de abril, y con la marea vaciante el día 20 de abril. En junio se volvieron a soltar las boyas en llenante (17 junio) y vaciante (19 junio) de modo cuasi-simultáneo en diversos puntos a los largo de la costa próxima al puerto, con el objeto de completar el esquema general.

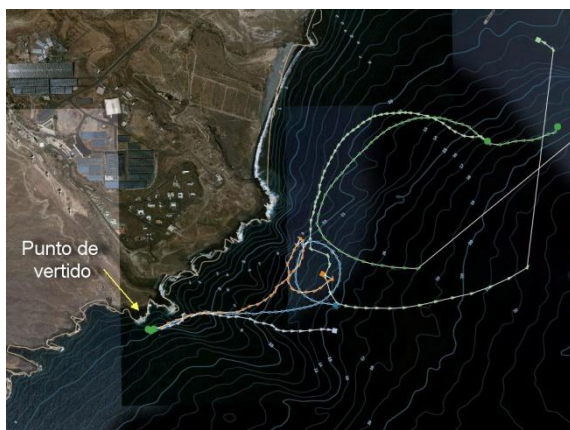


Figura 13. Derrota de algunas boyas de deriva en llenante (combinación días 18/4 y 17/6)

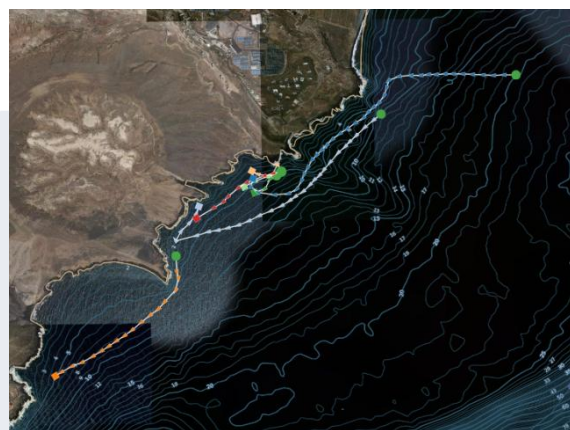


Figura 14. Derrota de algunas boyas de deriva en vaciante (combinación días 20/4 y 19/6)

En la *Figura 15* se muestra de forma sintética el nuevo esquema de las corrientes elaborado a partir de las derrotas de las boyas de deriva, destacándose en color azul si corresponde a marea llenante, y en color rojo si es en vaciante. Las letras y números asignados sirven simplemente como referencia en el texto que sigue (los números precedidos por un #).

Antes de la construcción puerto, el flujo de la corriente era básicamente lineal y paralelo a la costa; hacia el SW en vaciante y hacia el NE en llenante, aunque en superficie la fuerza de los alisios (Corriente de Canarias) enmascara en ocasiones la llenante y hace que el agua fluya también hacia el SW.

Tras la construcción del puerto parece que se forman cuatro celdas con comportamiento dinámico diferenciado (letras A-D), aunque al haber combinado la información de solo cuatro días, no es fácil su interpretación, máxime al tratarse de un régimen de turbulencia sobrepuesto al de simple alternancia de mareas bajo una dominante del NE. Este esquema es provisional y se irá mejorando con más estudios usando las boyas de deriva y perfiladores de corrientes.

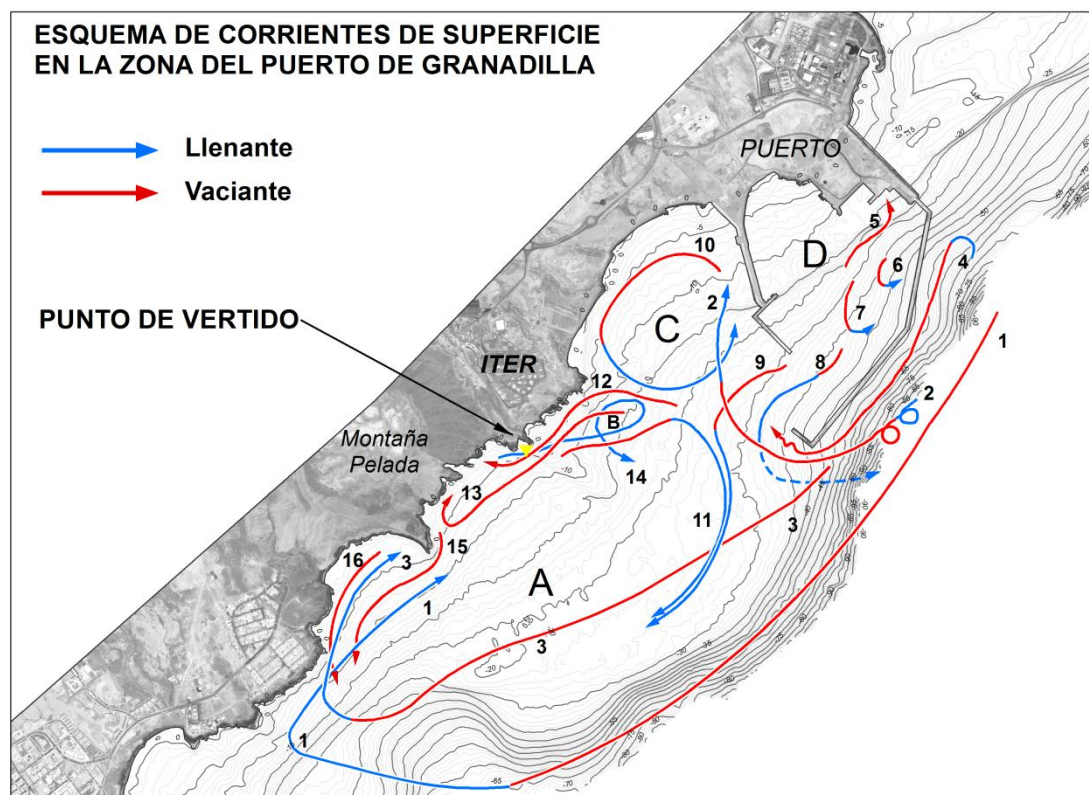


Figura 15. Esquema provisional de las corrientes locales en vaciante (rojo) y llenante (azul) según seguimiento hecho con boyas de deriva costera los días 18 y 20 de abril, y 17 y 19 de junio de 2017. Explicación en el texto.

El flujo de agua que llega del NE tangente a la costa supera la interrupción del puerto a base de estrecharse y ganar velocidad (p.ej. 88 cm/s), formándose una suerte de jet que discurre por fuera y paralelo al dique exterior (#1 y #3). El flujo es tan intenso en vaciante que puede anular la llenante y genera un gran vórtice dextrógiro (celda A) aguas abajo del puerto). Nótese como el trayecto #1, el más externo, mantiene su rumbo un buen trecho a pesar del cambio de marea, y cómo el trayecto #2, más azogado, cambia de dirección justo con el cambio de la marea. En el otro extremo de la celda (trayecto #11) el comportamiento es al revés: sube en vaciante y baja en llenante.

Una parte del flujo que supera el puerto (#2 y #4) gira hacia el norte al superar el martillo, donde puede generarse una pequeña área remansada al pie del propio martillo, pero el resto fluye hacia la ensenada del puerto para alimentar una segunda e importante celda C, que en este caso es levógira, y en cuyo centro las aguas pueden quedar muy remansadas.

Es de suponer que otra parte de este flujo de agua penetra en la dársena del puerto (celda D) pero ninguna de las boyas entró por la bocana. Las que se soltaron dentro del recinto (#6 y #7) muestran el efecto de las mareas, pero también contrarios (#5). De hecho, una de las boyas que siguió la descarga de la dársena (#8) lo hizo durante llenante y acabó por fuera de las obras de abrigo presuntamente siguiendo el flujo general de la llenante (un fallo en el ordenador impidió registrar la derrota de la boya durante este tramo final). Otra boya (#9) siguió la descarga de la dársena hacia el sur, uniéndose al giro dextrógiro de la celda A. En los momentos en que se redacta este informe hay un perfilador de corrientes fondeado en la bocana del puerto y otro un poco más alejado, a fin de estudiar con más detalle lo que ocurre en superficie y en el fondo mientras se llena y vacía la dársena.

En el Morro del Iter, que es donde se ubicaría el punto de vertido, la situación parece ser bastante particular. Pegado a la costa (0-8 m de profundidad) la corriente en vaciante (#12 y #13) baja hacia el SW ($v = 15,9$ cm/s) como cabe esperar, pero algo más afuera (>10 m) la corriente participa del vórtice A y sube hacia el NE a bastante velocidad ($v = 31,2$ cm/s)

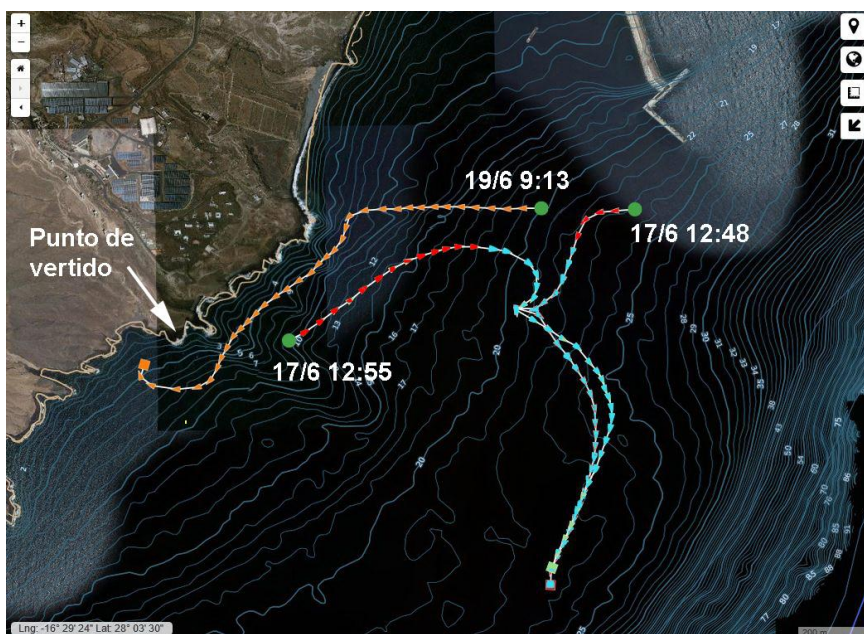


Figura 16. Derrota de algunas boyas de deriva frente al Morro del Iter

Lo interesante es que a marea llanante la corriente que asciende frente al morro (#14) se va alejando progresivamente y, antes de entrar en la ensenada del puerto, se topa con el vórtice de la celda C, que provoca su desvío y generando un pequeño vórtice levógiro B, flanqueado a su vez por el gran vórtice A. Esta disposición, de ser persistente —y parece que lo es—, aunque fluctúe un poco en posición, deviene en garantía de que las partículas eventualmente arrastradas desde el punto de vertido por la corriente llanante, nunca acabarían adentrándose en la ensenada del puerto, sino que se incorporarían al circuito dextrógiro del vórtice A. Estos vórtices no aparecían en la modelización de IH Cantabria, dada su escala de trabajo (ver Figura 4).

Mirando en detalle el campo de corrientes frente al punto de descarga (Figura 13 y Figura 14) se aprecia que en vaciante las boyas tienen tendencia a adentrarse en la pequeña ensenada anexa, donde existe actualmente la playa de la Cueva del Trigo, que es de arena. No hay que descartar, pues, que parte de la arena que se vierta acabe por incorporarse a esta playa, pero también es de esperar que se sature pronto, si no lo está ya, y el excedente de arena siga el curso aguas abajo, como ocurre en la ensenada de Montaña Pelada (#16).

Lo que no se ha podido estudiar es el comportamiento del campo de corrientes con tiempo “sur” (oleaje del S), que aunque infrecuente, suele darse un par de veces al año. Visto el incremento de agitación que tales condiciones genera en toda la zona (ver Anexo 8.5), cabe esperar una reubicación importante de las arenas por todas partes, pero también que reinstalado el régimen dominante del NE, el sistema recupere su normalidad en poco tiempo.

4.7 Depósito de arena

La solución adoptada para la reposición de arenas implica la realización de un depósito de acumulación que ha de mantener siempre almacenados al menos 4.000 m³ de arena. Dicho almacén, con una capacidad para 20.000 m² y equipado con una tolva de carga, contó con un presupuesto de ejecución material de 1.466.480 € y fue terminado en agosto 2014.



Figura 17. Depósito de arena construido en la explanada del puerto de Granadilla

En mayo de 2016 se trasladaron los 6.000 m³ de arena acopiados por la Autoridad Portuaria durante 2013 y que seguían depositados en una explanada de la obra, cubiertos con un plástico protector. Desde finales de ese mes ya se encuentran en su ubicación específica. El volumen acopiado es suficiente para cubrir las necesidades operativas de reposición de arena durante tres años ($2.000 \text{ m}^3 \times 3 = 6.000 \text{ m}^3$).

5 Conclusiones

La cuestión planteada atañe a la ubicación del punto de vertido de la arena para reponer la teórica pérdida motivada por la construcción del puerto.

1. El punto de vertido deberá ubicarse en las aguas que median entre el puerto y el extremo septentrional de la zec Seadales del Sur de Tenerife, lo más lejos posible del puerto para favorecer su transporte según el sentido neto general de la corriente NE-SW.
2. Se descarta verter en el mar frente al Morro del Iter, ya que a partir de 10 m de profundidad la corriente vaciante fluye en sentido contrario, hacia el puerto. Además, el tiempo necesario para arrastrar la arena descargada con un gánguil en un punto dado supera el plazo entre las descargas necesarias. La duna submarina que se forma iría creciendo y mantendría soterrada a la comunidad de seres vivos que pudiera existir en el fondo.
3. El punto de vertido situado al pie o sobre la plataforma de la Punta del Cargadero del Trigo, en el extremo meridional del Morro del Iter, se perfila como viable. En vaciante, las arenas son transportadas hacia el SW entre los 0 y 7 m de profundidad, y en llenante hacia el NW, pero un trayecto corto que no supera el Morro del Iter y que será compensado con la vaciante siguiente, resultando un avance neto en dirección SW a razón de unos 6 cm/s. Es previsible que durante un periodo inicial parte de la arena se acumule en la playita contigua, hasta saturación. Luego, el excedente se incorporará al transporte general aguas abajo.

6 Propuesta

6.1 Cantidad de arena a verter

El OAG aconseja adoptar el caudal máximo calculado de 2000 m³/año de arena, con la tranquilidad de que, si dicho volumen fuera excesivo, el sistema se encargará de exportar el excedente sin mayor perturbación física, siempre que se aporte a una dosis conveniente.

6.2 Punto de vertido

El vertido de arena se hará en la Punta del Cargadero del Trigo (extremo occidental del Morro del ITER), bien sobre la propia rasa que aflora a marea baja (Punto A), o descargado directamente al mar desde el Punto B. El Punto A tiene la ventaja de facilitar la dispersión de modo más rápido, pero hay que depositar la arena sobre la rasa a marea baja, con el inconveniente que la arena será arrastrada primero hacia el norte, con la llenante, antes de emprender su transporte hacia el Sur. En el punto B se puede descargar a marea al inicio de la marea vaciante, pero su dispersión es más lenta. Aunque el Punto A parece el más interesante, la opción definitiva dependerá del modo de acceder a dichos puntos, y del ritmo de vertido que se adopte.



Figura 18. Morro del Iter visto desde el mar. La zez se encuentra a la izquierda de la foto; el puerto a la derecha.

6.3 Ritmo de vertido

Las dosis son importantes en ecología, sobre todo porque de ellas depende la resiliencia de los ecosistemas. El que nos ocupa está adaptado a rejuvenecerse cada tantos años, pero provocar un rejuvenecimiento repetido prematuramente impediría a las comunidades alcanzar su madurez y se perdería biodiversidad. Se deberán evitar los aportes masivos. Por otra parte, la Comisión reclamó la condición de permanente para el trasvase proyectado, pero este término ha de interpretarse en clave ecológica y no necesariamente como algo continuado al estilo de un grifo abierto. Por ello y manteniendo la dosis establecida, cuanto menor sea la cantidad de arena y mayor la frecuencia con que se vierta, tanto mejor.

La cantidad de arena a verter cada año representa unos 125 camiones (de 15 m³ de capacidad cada uno), que podría ser liberada a razón de medio camión diario (5,5 m³) descontando sábados y domingo, un camión cada 3 días o dos camiones cada seis días. La frecuencia ideal sería la diaria, y en segundo término la de días terciados.

6.4 Acceso al punto de vertido

El modo de acceder con la arena al punto de vertido es un aspecto fundamental de la presente alternativa, y no fácil de solucionar. Corresponde a la Autoridad Portuaria estudiar la viabilidad operativa de las opciones que se abren, y de obtener, llegado el caso, las pertinentes autorizaciones de la Administración Central (Demarcación de Costas) y del Gobierno Autónomo (Consejería de Política Territorial, Sostenibilidad y Seguridad), ya que, además del permiso para verter la arena, si se hace obra civil y altera el entorno físico, se vería ver afectado el Monumento Natural de Montaña Pelada, en cuyo recinto se encuentran ambos puntos de vertido. Ciertamente es, y podría tenerse en cuenta, que las actuaciones se realizarían en una colada basáltica contigua pero ajena al cono volcánico traquibasáltico de Montaña Pelada, que es el objeto de la protección.

A título orientativo, el OAG vislumbra tres posibles opciones de acceder al punto de vertido, sin pretender ser exhaustivo:

1. Descarga de los camiones en un área acondicionada del aparcamiento (exterior al Monumento Natural), traslado de la arena en sacos, y vertido a mano. Esta opción es la de menor impacto, pero incluso así habría que acondicionar la bajada hasta la plataforma con una escalinata provista de barandilla que garantizase la seguridad de los operarios. El desnivel a salvar es de 6 metros, lo que hace impracticable el uso de carretillas, y los sacos deberán ser cargados al hombro.
2. Llevar la arena desde el parking hasta el punto de vertido mediante una cinta transportadora, o empleando un tubo de descarga de los que se usan en la construcción. El desnivel a salvar es de 7 m y la longitud a recorrer dependería del punto de vertido elegido y de la ubicación del punto de carga, donde seguramente habría que habilitar una tolva o estructura equivalente para su llenado. Esta solución podría implicar tener que instalar una acometida de energía eléctrica. Como variante más aparatosa, cabe instalar un depósito en el promontorio, donde mezclar la arena con agua bombeada desde el mar, para luego reenviarla a los puntos de vertido.
3. Construir un acceso para camiones hasta la propia rasa (A) donde descargar la arena directamente. Dicho acceso partiría de la cota 5 en la Punta Brava de la Cueva del Trigo y salvaría un desnivel de 2-3 m en un recorrido de 80 m (pendiente aprox. 3,5%), pero tendría que morder el acantilado para encajar la pista en él. Esta opción, que desde el punto de vista operativo sería la más deseable, se puede combinar con una remodelación del aparcamiento superior (con remate vertical del farallón formando un mirador en lo alto), y puestos a ordenar la zona, cabe asfaltar la pista de acceso en toda su longitud (900 m), instalar un panel interpretativo del Monumento Natural de Montaña Pelada, adecuar una bajada peatonal hasta la playa de la Cueva del Trigo (900 m), cuyo uso popular viene aumentado en los últimos años.



Figura 19. Zona de actuación en el Morro del Iter y límite del Monumento Natural de Montaña Pelada (línea verde)

6.5 Inicio de los vertidos

Cualquiera de las soluciones apuntadas implica trámites que pueden prolongarse en el tiempo, además de la eventual redacción de un proyecto o concertación de las actuaciones con otras administraciones. Ello puede retrasar el inicio de los vertidos, que de mediar urgencia, podrían comenzar mucho antes si se realizan a mano. Sin embargo, el OAG no aprecia tal urgencia ya que, como se ha expuesto en informes precedentes, durante las obras del puerto se vertió arena en grandes cantidades como para suplir los aportes previstos para este año o incluso el venidero.

Esta circunstancia no debería relajar la necesidad de estudiar la variante más óptima y acometerla cuanto antes, con la idea de contar con el sistema operativo a comienzos de 2018. Cabe recordar, por último, que el sistema ha de instalarse con miras a su funcionamiento a perpetuidad, y que solo la constatación de que el sistema de transporte de partículas en la costa de Granadilla aguas abajo del puerto es excedentario, podría quitar sentido a la medida compensatoria arbitrada.

El OAG continuará con la monitorización del sistema sedimentario y con el estudio de la producción de arena por parte del maërl.

En Santa Cruz de Tenerife, a 10 de julio de 2017

El Director del OAG



Dr. Antonio Machado Carrillo

Equipo del OAG

Dr. Antonio Machado Carrillo (Ecólogo), Dr. José María Espinosa Gutiérrez (Biólogo marino), Víctor Barrios Padilla (Biólogo marino), Marta González Carballo (Curator de datos), Ignacio Lorenzo García (Jefe de sistemas), José Andrés Sevilla Hernández (Técnico GIS) y Alejandro Domínguez González (Vigilante ambiental)

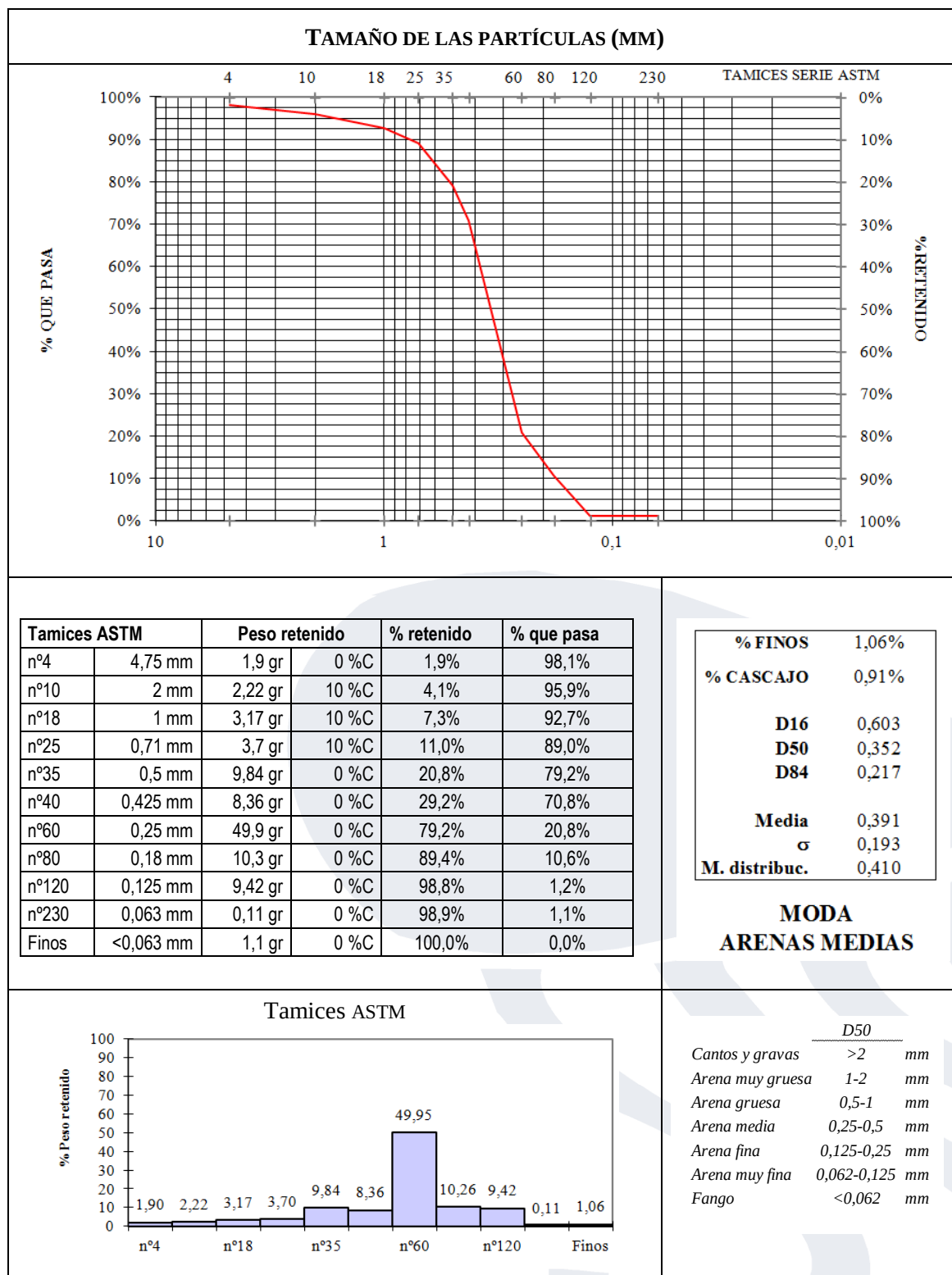
7 Documentos consultados

- CIMA**, 2013. Análisis de la serie de datos de corrientes del frente marítimo del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Tenerife (ITER). Diciembre 2013. CIMA – Informe técnico 107, pp. 14 [Autores: O. Monterroso, M. Rodríguez, O. Pérez, E. Ramos, J. Domínguez y O. Álvarez].
- HIDTMA** 2011. *Estudio de agitación para la modificación del proyecto de obras de abrigo en el puerto de Granadilla*. Puertos de Tenerife (S/C de Tenerife). Cod. Inf. 2011/004, 24 pp.
- HIDTMA**, 1999. *Asistencia técnica para la redacción del estudio de dinámica litoral del puerto de Granadilla. Tomo III*. GR-14. HIDTMA - Hidráulica y Medio Ambiente, (Madrid/ Valencia) 1999/06, pp. 42, 51 figuras, 13 tablas, 13 anexos, 42 traducción, 113 informe Hidtma.
- IH Cantabria**, 2012. *Asistencia técnica para la redacción del estudio de dinámica litoral para el diseño y proyecto de construcción del by-pass de arena N-S en el Puerto de Granadilla*. Instituto de Hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria, (Santander) pp. 300 [Autores: R. Medina Santamaría, S. Castanedo Bárcena, A. Espejo Hermosa, A. Cid Carrera y J. Rojo Gómez].
- IH Cantabria**, 2017. *Estudio de corrientes en las estaciones de muestreo de la seba en las cercanías del Puerto de Granadilla*. Instituto de hidráulica Ambiental, Universidad de Cantabria (Cantabria) 20/03/2017, pp. 57 [Autores: A. García Gómez y J. García Alba]
- OAG**, 2010. *Informe sobre cuestiones relacionadas con el puerto de Granadilla y la aplicación de las medidas del Dictamen de la Comisión Europea*. OAG Inf_2010.5. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla, (S/C de Tenerife) 2010/11/23, pp. 2 [Autor: A. Machado Carrillo].
- OAG**, 2011. *Información complementaria sobre la situación del baipás del puerto de Granadilla*. OAG Inf_2011.1. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla, (S/C de Tenerife) 2011/04/11, pp. 4 [Autor: A. Machado Carrillo].
- OAG**, 2012. *Propuestas alternativas para restablecer el flujo de arenas en el litoral de Granadilla tras la construcción del nuevo puerto*. OAG Inf_2012.1 in: Medidas correctoras del puerto de Granadilla. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla (Santa Cruz de Tenerife) 2012/02/08, pp. 18 pp [Autor: A. Machado Carrillo].
- OAG**, 2015. *Informe anual 2014. Seguimiento ambiental del puerto de Granadilla en fase de obras*. OAG PVAGr_6.2015 in: Vigilancia ambiental del puerto de Granadilla. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla (Santa Cruz de Tenerife) 2014/04/13, pp. 202.
- OAG**, 2016. *Informe anual 2015. Seguimiento ambiental del puerto de Granadilla en fase de obras*. . OAG_PVA-Gr7/2016. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla (Santa Cruz de Tenerife) 2016/03, pp. 207.
- OAG**, 2017. *Informe anual 2016. Vigilancia ambiental del puerto de Granadilla en fase de obras*. in: Vigilancia ambiental del puerto de Granadilla. OAG - Observatorio Ambiental Granadilla (Santa Cruz de Tenerife) pp. 192.
- Puertos de Tenerife**, 2007. *Anteproyecto by-pass de arena N-S en el puerto de Granadilla*. GR-303. Autoridad Portuaria de S/C de Tenerife (Santa Cruz de Tenerife) 2007/12, pp. 16 [Autor: J.I. Mora Quintero].
- Puertos de Tenerife**, 2012. *Proyecto básico de instalaciones para reponer el flujo de la dinámica litoral sedimentaria interrumpido por el puerto de Granadilla*. Gr 389. Puertos de Tenerife (Santa Cruz de Tenerife) 4/2012, pp. 16 + 6 planos + iv [Autores: J. I. Mora Quintero & E. Roso Hernández].
- WL/ Delft Hydraulics**, 1999. *Grandilla Port. Coastal impact study*. H3462 in: Asistencia técnica para el estudio de dinámica litoral del puerto de Granadilla. WL / Delft Hydraulics (Netherlands) 1999/06, pp. 41 + 120 [Autores: J . H. de Vroeg y K. J. Bos]

Estos documentos están disponibles para su consulta en la biblioteca del OAG, y algunos en su página; ninguno ha sido publicado formalmente.

8 ANEXOS

8.1 Análisis granulométrico de la arena vertida al mar (prueba n°1)



8.2 Perfiles de corriente frente al Morro del Iter (25/10 – 20/11/2013)

Tablas tomadas del informe de CIMA (2013)

Tabla 1. Estadística descriptiva de los valores de velocidad de la corriente (cm/s) de cada capa, para el registro total de datos (T), para la marea llenante (LL) y la marea vaciante (V).

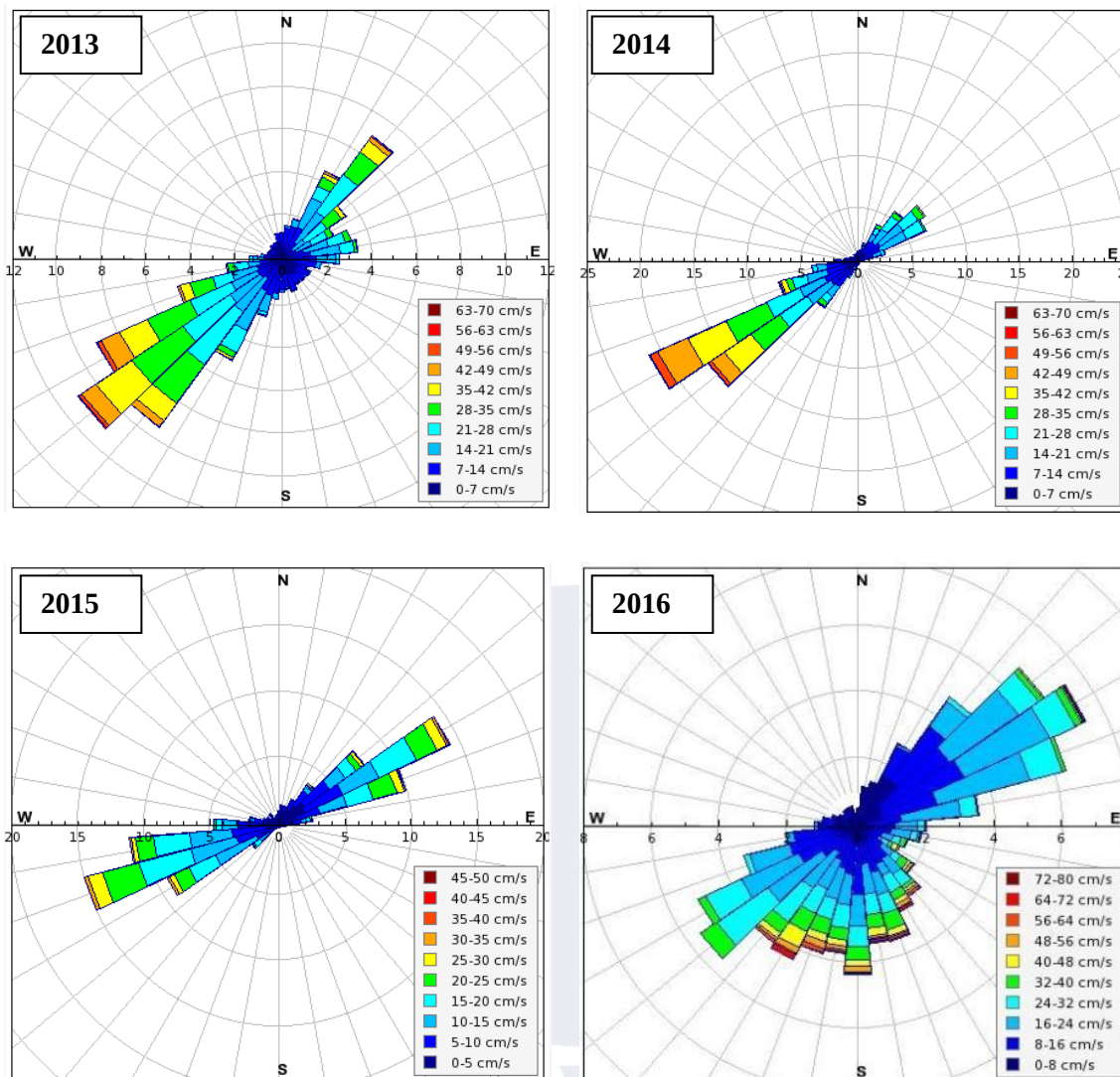
CAPA	PROFUNDIDAD (z)	MEDIA			DES. ESTAR.			MAX		
		T	LL	V	T	LL	V	T	LL	V
Capa 1	13,0	20,0	17,9	22,1	11,2	9,8	12,1	61,8	52,4	61,8
Capa 2	12,5	20,4	18,2	22,7	11,7	10,2	12,6	59,1	50,8	59,1
Capa 3	12,0	21,1	18,7	23,5	12,1	10,6	13,1	61,2	57,9	61,2
Capa 4	11,5	21,7	19,2	24,1	12,6	10,8	13,8	68,9	68,9	67,6
Capa 5	11,0	22,1	19,5	24,6	12,8	11,1	13,8	69,7	69,7	64,1
Capa 6	10,5	22,6	20,0	25,3	13,0	11,3	14,0	67,7	63,3	67,7
Capa 7	10,0	23,0	20,3	25,7	13,1	11,3	14,2	71,9	62,2	71,9
Capa 8	9,5	23,3	20,4	26,2	13,4	11,8	14,4	72,2	58,7	72,2
Capa 9	9,0	23,7	20,6	26,7	13,8	11,9	14,9	72,6	56,8	72,6
Capa 10	8,5	24,2	21,0	27,3	14,1	12,1	15,2	77,5	60,4	77,5
Capa 11	8,0	24,4	21,3	27,6	14,2	12,1	15,4	69,5	60,9	69,5
Capa 12	7,5	24,7	21,7	27,7	14,5	12,5	15,7	72,9	61,9	72,9
Capa 13	7,0	24,8	21,6	28,0	14,7	12,6	15,8	75,3	62,8	75,3
Capa 14	6,5	25,2	21,8	28,7	14,9	12,8	15,9	75,6	67,8	75,6
Capa 15	6,0	25,6	22,1	29,2	15,1	13,0	16,1	80,8	65,1	80,8
Capa 16	5,5	25,9	22,4	29,5	15,3	13,1	16,4	81,2	64,2	81,2
Capa 17	5,0	26,1	22,6	29,7	15,5	13,5	16,5	77,7	65,1	77,7
Capa 18	4,5	26,2	22,7	29,7	15,5	13,5	16,6	77,5	63,0	77,5
Capa 19	4,0	26,2	22,5	30,0	15,6	13,5	16,7	78,2	75,7	78,2
Capa 20	3,5	26,3	22,5	30,0	15,7	13,5	16,8	77,3	73,3	77,3
Capa 21	3,0	26,4	22,8	30,1	15,9	13,7	17,1	85,0	69,4	85,0
Capa 22	2,5	26,6	23,2	30,0	15,9	14,0	17,0	84,8	70,5	84,8
Capa 23	2,0	29,0	26,5	31,6	17,9	16,4	19,0	90,8	85,3	90,8
Capa 24	1,5	35,6	32,9	38,3	22,7	20,5	24,5	105,3	104,0	105,3
Capa 25	1,0	42,3	37,7	47,0	25,3	21,3	28,0	119,7	100,0	119,7

Tabla 2. Frecuencia de aparición (%) de las direcciones de la corriente para el registro total de datos.

CAPA	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
Capa 1	3,6	6,1	11,1	6,9	3,9	2,5	2,7	3,3	6,0	14,4	20,7	9,4	3,7	1,8	1,8	2,2
Capa 2	3,9	6,3	12,0	6,7	3,4	2,9	2,0	3,0	6,0	15,1	20,0	9,5	3,5	2,0	1,2	2,4
Capa 3	3,8	6,8	12,7	6,2	2,9	2,2	1,8	3,0	4,9	15,4	21,3	9,9	3,5	2,0	1,8	1,8
Capa 4	3,3	7,8	11,5	6,4	3,0	2,0	1,7	2,1	5,5	15,6	22,6	9,3	3,7	1,7	1,7	2,0
Capa 5	3,8	7,2	12,3	6,3	3,3	1,9	1,7	2,4	5,8	14,2	24,0	9,0	3,0	2,2	1,3	1,6
Capa 6	2,9	8,3	12,0	7,0	3,2	2,2	1,3	2,3	4,9	15,3	23,3	9,1	3,2	1,9	1,5	1,6
Capa 7	3,4	7,7	12,2	6,6	3,3	2,5	1,9	2,2	5,6	13,5	24,5	8,8	3,6	1,5	1,2	1,6
Capa 8	3,1	7,5	13,1	5,4	3,6	1,5	2,3	2,6	4,7	14,6	23,7	9,8	2,6	2,0	1,5	2,0
Capa 9	3,9	7,4	13,5	6,1	3,2	1,6	1,7	2,0	5,2	14,9	24,2	9,0	3,2	1,7	1,2	1,4
Capa 10	3,2	8,1	13,1	5,8	3,2	1,6	1,5	1,9	4,8	15,3	23,6	9,4	3,2	1,9	1,4	2,0
Capa 11	3,3	7,5	13,5	6,5	2,2	2,0	1,6	1,9	4,5	15,5	22,9	9,7	3,6	1,9	1,2	2,3
Capa 12	3,3	7,8	13,6	6,1	2,8	1,8	1,7	2,4	3,9	13,8	25,2	8,8	3,4	1,9	1,7	1,8
Capa 13	2,9	8,0	13,5	6,1	2,9	1,9	1,5	1,7	4,2	14,0	26,0	8,9	3,3	1,8	1,3	2,0
Capa 14	3,2	7,9	13,8	5,8	2,4	1,3	1,3	2,6	3,9	14,1	26,5	8,2	3,4	1,9	1,7	2,1
Capa 15	3,5	9,3	13,3	5,5	2,0	1,8	1,1	2,4	4,2	15,4	25,6	7,7	3,3	1,7	1,4	1,8
Capa 16	3,7	8,9	13,7	4,9	2,5	1,4	1,8	2,1	4,9	14,4	26,0	7,8	3,1	1,8	1,1	1,8
Capa 17	2,8	8,9	13,4	5,6	2,4	1,6	1,9	2,1	3,5	15,1	26,5	7,4	3,2	2,2	1,2	1,9
Capa 18	2,9	7,4	13,7	6,1	2,7	1,8	1,7	2,3	3,7	15,0	26,8	8,0	2,9	1,8	1,3	2,0
Capa 19	3,0	7,5	13,8	4,9	3,1	2,1	1,8	2,4	3,7	15,6	26,3	7,7	3,2	2,0	1,3	1,8
Capa 20	3,5	7,7	13,4	5,1	2,3	2,0	1,9	2,2	3,9	15,2	27,1	8,0	3,3	1,3	1,4	1,8
Capa 21	3,1	6,6	13,7	5,8	2,5	1,6	1,7	2,5	4,1	14,8	26,8	8,4	3,3	1,6	1,4	2,0
Capa 22	3,1	7,8	11,5	5,5	2,4	1,8	1,8	2,8	5,2	16,5	25,2	8,0	3,2	1,7	1,1	2,2
Capa 23	3,3	5,4	9,5	5,2	2,6	2,8	3,8	6,9	20,9	23,3	6,2	2,2	1,8	1,6	1,9	1,9
Capa 24	2,6	4,4	6,0	3,8	2,8	2,9	3,8	5,8	8,8	22,2	25,7	4,8	1,7	1,6	1,4	1,8
Capa 25	2,0	1,5	3,4	3,4	3,1	3,8	4,3	5,6	9,2	22,2	31,3	5,4	1,6	0,9	0,8	1,5

8.3 Rosas de corriente en TGr00 (2013-2016)

Datos obtenidos con el correntímetro 2D-ACM (Falmouth Scientific), que lleva la boya oceanográfica del OAG a un metro de profundidad, fondeada frente a Montaña Roja (coordenadas 28°3'40,230''N 16°30'32,076''W). Los registros de 2016 llegan solo hasta julio, debido a problemas técnicos con el correntímetro.



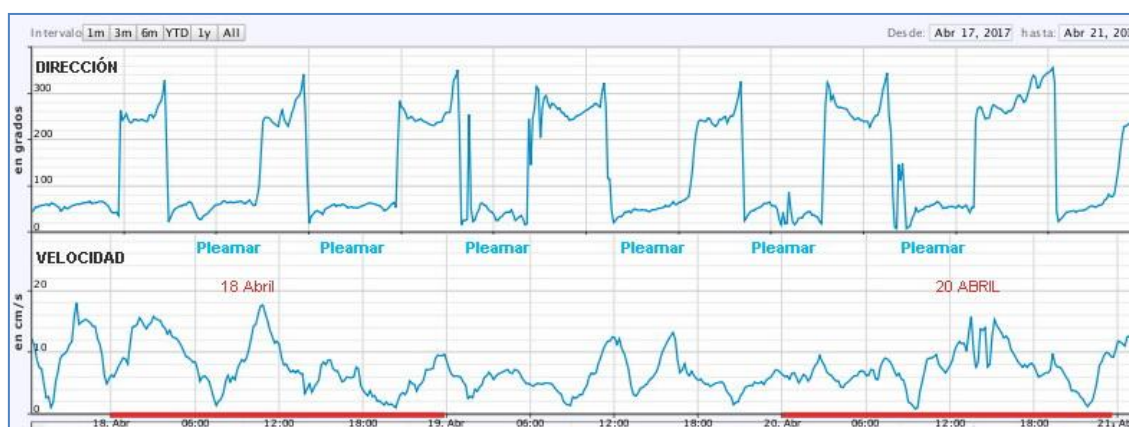
En 2015 se aprecia más el basculamiento de la dirección de la corriente en esta estación, con mayor participación de la componente E (10,46% de frecuencia) en fase llenante, y es aún más acusado en la componente W de la fase vaciante (48% de frecuencia), que pasa a ser la dominante. Este cambio de rumbo es atribuible a las obras de abrigo parcialmente construidas.

En 2016 se continúa observando el mismo basculamiento hacia el sur, aunque no queda tan definido debido a la falta de datos durante la mitad del año. La velocidad media anual ponderada de la corriente en llenante fue 16,38 cm/s, y en vaciante de 20,31 cm/s, con picos máximos en llenante de 64,75 cm/s hacia el NE y en vaciante de 71,82 cm/s hacia el SW

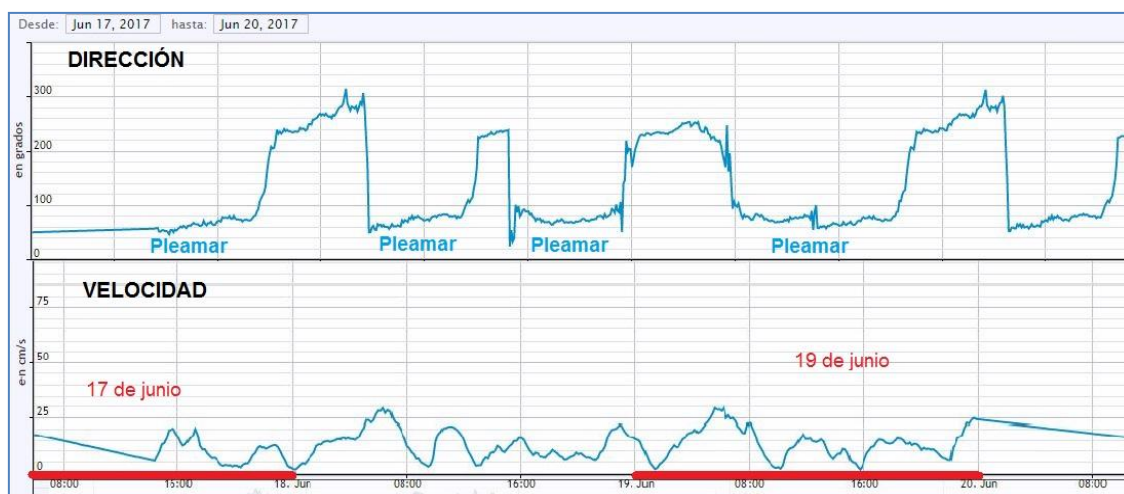
8.4 Velocidad y dirección de la corriente en TGr00

Se muestran los datos de la corriente (dirección y velocidad) en la estación TGr00 medidos en la estación TGr00, frente a Montaña Pelada, con un correntímetro 2D-ACM (Falmouth Scientific), durante el periodo en que se soltaron las boyas de deriva. Esto permite conocer el comportamiento real de las mareas, ya que existe un desfase variable (hasta de dos horas) con los valores teóricos de bajamar y pleamar que aparecen en el *Anuario de mareas de 2017* publicado por el Instituto Hidrográfico de la Marina.

Días 18-20 abril 2017



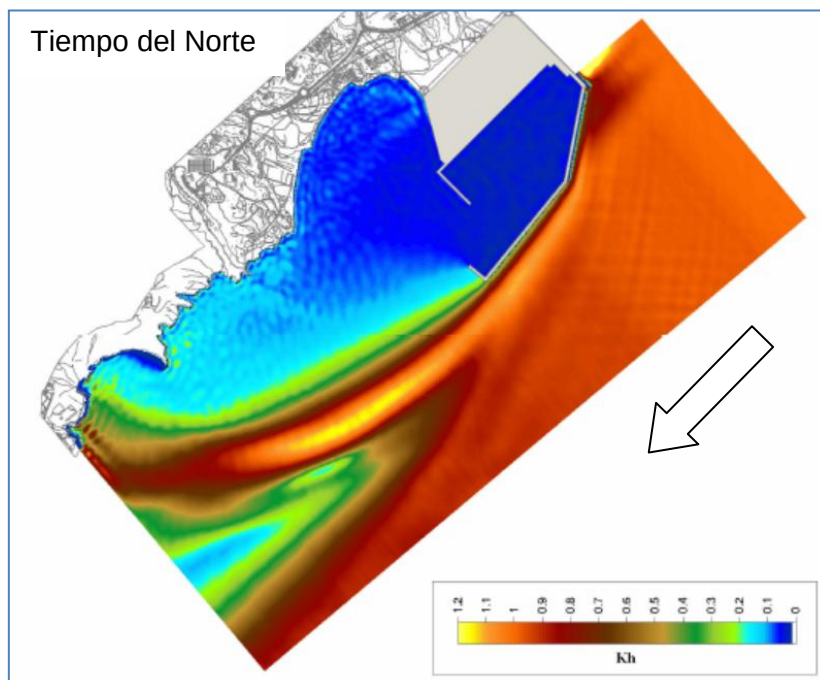
Días 17-19 junio 2017



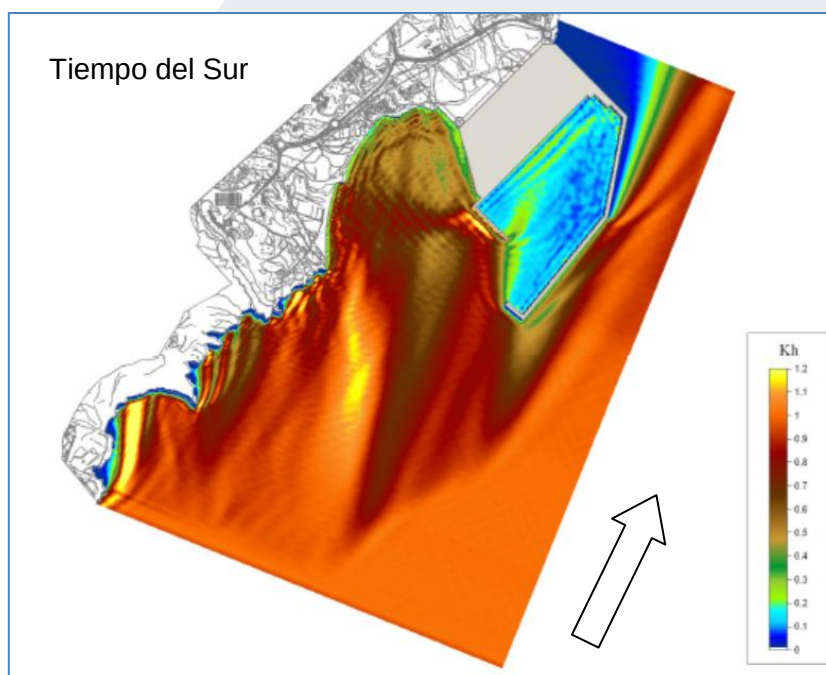
Momento de bajamar y pleamar: medidos en TGr00 y según el *Anuario de mareas* [azul]

Fecha	Suelta de boyas	Bajamar	Pleamar	Bajamar	Pleamar
18 abril 2017	11:54		7:35 [6:21]	12:55 [12:24]	18:55 [18:48]
20 abril 2017	9:07	2:05 [2:59]	9:30 [9:22]	16:35 [15:24]	
17 junio 2017	13:24	[1:22]	[7:35]	[13:40]	19:54 [19:57]
19 junio 2017	9:50	[3:39]	9:00 [9:54]	15:30 [16:04]	21:10 [22:14]

8.5 Agitación de las aguas en el entorno del puerto de Granadilla



Coeficiente de agitación. Hs relativas y frente de propagación del oleaje con dirección N-50-E y $T_p = 12s$. Nivel de marea sobre la BMVE 1,35 m. Tomado de Hidtma (2013).



Coeficiente de agitación. Hs relativas y frente de propagación del oleaje incidente: dirección SSW y $T = 8s$. Nivel de marea sobre la BMVE 1,35 m. Tomado de Hidtma (2013).



www.oag-fundacion.org