

Consideraciones para una Metodología Única en la Estimación del Alcance de un Temporal, Aplicación para la Delimitación de la Zona Marítimo Terrestre

Cabrera, Pablo^a; Muñoz, Juan José^a y Chamorro, Gabriel^b

^aGrupo de Investigación de Ingeniería Costera de la Univ. Cádiz, Puerto Real, 11510. Cádiz. juanjose.munoz@uca.es, pablo.cabrera@acoport.es, ^bETSI Univ. Sevilla, Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería, Camino de los Descubrimientos S/N, 41092. Sevilla. gchamorro1@us.es

Resumen

La actual legislación vigente en materia de Costas ha introducido, entre otros cambios y modificaciones, el establecer unas nuevas consideraciones y definiciones más precisas para estudiar y delimitar conceptos como la zona marítimo terrestre (ZMT). Es necesario para ello determinar la cota de inundación de una manera detallada y adecuada para determinar el alcance de un temporal. Se ha pasado de estimar el alcance del oleaje máximo conocido en la antigua legislación a calcular, mediante datos de boya u oceanografía en general y procedimientos justificados, el quinto alcance por temporal en una serie de 5 años consecutivos. Aun cuando se ha aumentado el nivel de concreción en la definición, es necesario más que nunca proceder con una metodología adecuada que elimine posibles incertidumbres en el proceso, y se obtenga un protocolo de actuación lo más objetivo posible.

Palabras clave: Zona Marítimo Terrestre (ZMT), cota de inundación, temporal, alcance, metodología objetiva.

1. Justificación de una metodología a desarrollar

La actual legislación vigente en materia de costas introdujo, entre otros cambios y modificaciones, el establecer unas nuevas consideraciones y definiciones más precisas para estudiar y delimitar conceptos como la zona marítimo terrestre, asociado al alcance de los temporales, concepto definido por la denominada cota de inundación.

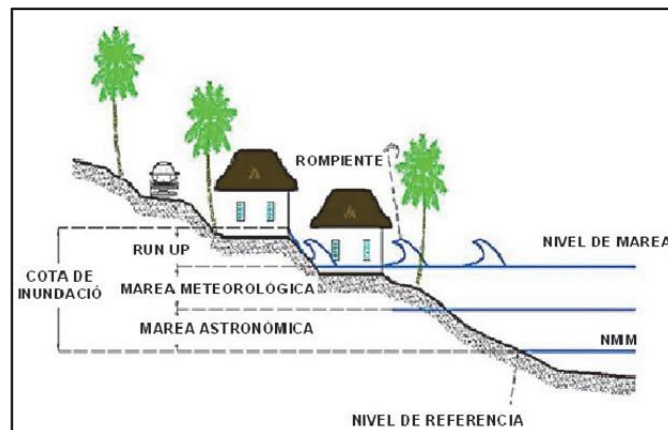


Fig. 1. Esquema clásico de estimación de la cota de inundación por temporal.

Es necesario para ello determinar la cota de inundación de una manera detallada y adecuada para determinar el alcance de un temporal, definido este de manera general como la suma de tres valores, la marea astronómica, la marea meteorológica y el run-up, o simplificando, para un instante determinado, el nivel del mar más el run-up producido por el oleaje incidente sobre la costa.

Existen otros factores adicionales que obligan a un estudio cada vez más detallado de estas definiciones además de la importancia legislativa que han adquirido recientemente. Uno de ellos es debido a la obligatoriedad de determinar las zonas de riesgo y peligrosidad del litoral español, por exigencias de normativas y circulares europeas. Los fenómenos

de inundabilidad sobre el litoral asociados a eventos de temporales son más dañinos en muchos casos que el daño de una ola en sí.



Fig. 2. Inundación por temporal en el paseo marítimo Antonio Molina en Málaga, Noviembre de 2015.

Otro factor es el hecho de continuarse aun con la aprobación definitiva de tramos de deslinde del Dominio Público Marítimo Terrestre, para lo cual es obligatorio definir de manera adecuada la zona marítimo terrestre. Esta se define actualmente como aquella que en 5 años es alcanzada por al menos 5 temporales (art. 4.a del Reglamento General de Costas). Por tanto, es necesario catalogar los temporales incidentes en un tramo de costa durante un periodo de tiempo, y a partir de los datos obtenidos de oleaje estimar el quinto alcance, que no tiene que estar asociado al quinto temporal, error comúnmente cometido. La anterior definición identificaba la Zona Marítimo Terrestre con el alcance de los máximos temporales conocidos. La actual definición es mucho más concreta. Pero la abundancia de fuentes de datos, los numerosos modelos y formulaciones de aplicación existentes e incluso la interpretación adecuada del concepto de alcance de un temporal, producen frecuentes errores y la imposibilidad de obtención de un resultado objetivo. Al realizar una revisión de numerosos informes y asistencias técnicas de deslindes de diferentes autores, se comprueba que no existe un criterio único en los procesos de cálculos e interpretaciones de datos y resultados. No hay por tanto una metodología única y objetiva que permita obtener un resultado que no de lugar a dudas por otras interpretaciones de terceros. Este aspecto es muy importante, puesto que muchos expedientes de deslindes pueden terminar en un proceso contencioso administrativo interpuesto por los afectados, y por tanto, determinándose por un juez si el procedimiento realizado en la obtención de la zona marítimo terrestre se ajusta a lo que dicta la ley, no solamente en procedimiento, si no también en la toma y manejo de datos.

El objetivo a conseguir, a partir de la nueva legislación, es desarrollar y proponer, para su aceptación general, una metodología verificada y justificada que permita la objetividad en la estimación del alcance de un temporal, y su aplicación directa para la delimitación de la zona marítimo terrestre. Por tanto, es necesario estudiar todo el proceso de toma, selección y manipulación de datos asociados a mareas y oleajes, elección de los modelos y fórmulas a aplicar más adecuadas, identificación de series históricas de estudio y aplicación adecuada de los conceptos básicos de ingeniería de costas.

Como resultado final se debe conseguir un procedimiento de cálculo lo más concreto y objetivo posible, delimitando cualquier posibilidad de alternativas que puedan ofrecer diferenciación de resultados, analizando la certidumbre en aquellas estimaciones o cálculos que puedan presentar un margen de resultados, proponiendo además la formulación más adecuada de manera justificada. En definitiva, obtener una metodología que no esté sujeta a interpretaciones y por tanto estimaciones subjetivas en la toma de decisiones, que alteran y modifican el resultado final. Es muy importante esta cuestión, puesto que el resultado final es una cota vertical expresada en metros. Errores que pudieran catalogarse “pequeños”, del orden de una decena de centímetros, pueden suponer variaciones de decenas de metros en la determinación de la zona marítimo terrestre debido a la escasa pendiente de las playas.

2. Procedimiento general de cálculo de la Zona Marítimo Terrestre según la legislación actual.

La delimitación de la Zona Marítimo Terrestre en este reglamento es tan importante que se le asigna un artículo para su definición y cálculo, artículo 4º, apartados a) y b) del Reglamento General de Costas:

“En la determinación de la zona marítimo-terrestre y de la playa, con arreglo a las definiciones contenidas en el artículo anterior, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

a) Para fijar el límite hasta donde alcanzan las olas en los mayores temporales conocidos, se considerarán las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas y el oleaje. Dicho límite será el alcanzado al menos en 5 ocasiones en un periodo de 5 años, salvo en aquellos casos excepcionales en que la mejor evidencia científica existente demuestre la necesidad de utilizar otro criterio.

Para calcular el alcance de un temporal se utilizarán las máximas olas registradas con boyas o satélites o calculadas a través de datos oceanográficos o meteorológicos.

b) Las variaciones del nivel del mar debidas a las mareas incluirán los efectos superpuestos de las astronómicas y de las meteorológicas. No se tendrán en cuenta las ondas de mayor periodo de origen sísmico o de resonancia cuya presentación no se produzca de forma secuencial.”

Para estimar este proceso de cálculo, pueden dividirse las siguientes 3 fases de manera general:

- **Fase 1:** Búsqueda de datos. Realmente, la cota de inundación se puede definir como la suma del Nivel del Mar más el run-up. Evidentemente el Nivel del Mar es la suma de la marea astronómica más la meteorológica, pero los mareógrafos miden el Nivel del Mar, que no deja de ser la suma de estos dos conceptos. Se puede consultar la serie histórica de estos mareógrafos en donde estén ubicados (en la web de Puertos del Estado, por ejemplo). Respecto al run-up de un evento de oleaje determinado, es un concepto asociado directamente a la altura de ola incidente en dicho evento, y consultable en datos históricos que ofrece nuevamente la web de Puertos del Estado, tanto en boya reales o en las virtuales de la red SIMAR.
- **Fase 2:** Tratamiento de datos. Influyen básicamente en este tratamiento varios conceptos:
 - El primer problema que no concreta la ley es qué 5 años seguidos se toman para estudiar en toda una serie histórica el alcance para delimitar la zona marítimo terrestre. Por tanto, podría tomarse 5 años seguidos cualesquiera de una serie histórica. En cualquier caso, es preciso preparar los datos para el estudio de una serie de 5 años seguidos, sea cual fuera la serie. La cuestión a resolver en la elaboración de la nueva metodología es, ¿da igual la serie histórica que se toma de 5 años?, y si no da igual, ¿podría igual delimitarse la variabilidad que supondría tomar una u otra y entonces dar un o estudiar en ves de un valor fijo de cota de la zona marítimo terrestre como resultado final un rango o incluso un porcentaje de fiabilidad?. Es necesario concretar este apartado, y estudiar que influencia en el resultado final puede tener el tomar un periodo consecutivo de 5 años diferente en una serie histórica. Posiblemente, debiera evitarse la arbitrariedad de escoger cualquier periodo al azar el asociar a valores fijos máximos de la serie histórica que se disponga los datos que necesitamos.
 - Otro aspecto que no contempla la legislación es que cinco eventos de temporal se toman, un temporal puede ocurrir en 24 horas o en más horas el mismo evento, y pudiera ser que entonces en 5 años, los cinco valores máximos correspondiera al mismo evento de temporal. Por sentido común, se ha aceptado que hay tomar datos de eventos de temporales diferentes, que cada evento de temporal tuviera un valor máximo de cota de inundación, pero es algo que como tal no cita le legislación.
 - La posibilidad de consultar datos de boya registrados en la web de Puertos del Estado permite el seguimiento casi al momento de las boyas, bien sean reales o virtuales, registradas. Hasta ahora, se toma por simplificación para cada evento del temporal la altura de ola máxima con el nivel del mar máximo por que es muy fácil consultar dichos valores máximos directamente (se consulta el nivel del mar máximo y altura de ola máxima en el día localizado del temporal). Pero realmente, en cada evento de temporal, no se produce la altura de ola máxima con el nivel del mar máximo. Debiera hacerse, y puedo consultarse además en la misma web, la serie hora a hora del temporal, y entonces analizar la cota de inundación que se obtiene con el nivel del mar y altura de ola tomada cada hora. Realmente, lo

que se hace es un cálculo de máximos, por que se toma el valor máximo de ambos, pero no es lo normal que ocurra. Podría evaluarse en cualquier caso con que banda de confianza por ejemplo se calcular el alcance de un temporal al tomar el nivel del mar máximo y altura de ola máxima, aunque no se produzcan en el mismo momento puntual.

- Un aspecto fundamental es el cálculo del Run-Up. Se puede obtener el dato del nivel del mar del mareógrafo, pero el del run-up hay que calcularlo, existiendo muchísimas fórmulas de run-up, e incluso diferentes run-up según la “fiabilidad” con la que se quiera estimar (de pico, el solo superado por el 2% de los oleajes, etc). Evidentemente, la toma de datos que se haga debe ser tal que permita la aplicación de una formulación que sea aceptada como válida, y sobre todo, buscando una practicidad en el método, que sea fácil de aplicación, intentado usar valores entonces fácilmente consultables por ejemplo en las boyas, donde se pueden obtener las alturas de ola, periodos y entonces longitudes de onda del oleaje allí donde esté la boya, sea del tipo que sea, y siempre sabiendo que lo normal es que este tipo de datos se supongan en mar profundo. Por tanto, es muy importante repasar el estado del conocimiento sobre los modelos y formulaciones del Run-up, incluso el más adecuado para cada tipo de playa o frente costero, puesto que el uso de una fórmula no adecuada puede introducir un erro considerable.
- **Fase 3:** Una vez determinado todo el tratamiento de datos, y el proceso de elección de un modelo de obtención de resultados adecuados (como el caso de obtención del run-up), se debe analizar todos los alcances o cotas de inundaciones calculados y evaluar cual marca la zona marítimo terrestre, es decir, el quinto alcance de la serie de cinco años estudiada. Es muy importante señalar que no puede estudiarse para la serie histórica que se tome sólo los cinco temporales con mayor altura de ola, ya que el valor a estimar es el alcance de un temporal, no la altura de ola, y es posible que una altura de ola determinada no sea la que aporte un alcance mayor de una serie (aunque sea la altura de ola máxima) por que coincida con un estado del mar con un nivel bajo de mareas, por ejemplo. Es por tanto muy importante estudiar un amplio “listado de eventos” de temporales, no solo los 5 mayores.

En todo este proceso, cada fase debe tener un procedimiento objetivo de fácil aplicación y reconocido por la comunidad científica, y debe ser de la investigación de las herramientas de cálculo actuales y de las fuentes de datos disponibles, de donde se obtenga un nuevo procedimiento único y adecuado, que además debe ser comprobado con un trabajo de campo anterior, para tener una verificación o certidumbre elevada de la idoneidad de lo propuesto.

El resultado final que se consiga seguramente no sea como en la actualidad de una cota exacta y concreta, si no de una cota con una certidumbre o probabilidad de no excedencia determinada.

3. Ejemplo de estimación de un alcance para la delimitación de una zona marítimo terrestre en la provincia de Málaga, importancia de la Fase 3 de estudio de una serie de temporales mayor de 5 eventos

En el procedimiento anteriormente expuesto de estimación de la zona marítimo terrestre es necesario profundizar y estudiar detenidamente los condicionantes comentados de las Fases 1 y 2. La Fase 3 no deja de ser una presentación ordenada de los datos de alcances obtenidos, pero que sirven claramente para determinar como es preciso estudiar una serie de eventos de temporales superiores a cinco para poder tener la seguridad de evaluar el quinto alcance y definirlo.

Se ha tomado como ejemplo la zona a poniente del Puerto Deportivo de la Caleta, en el municipio de Vélez Málaga, en la provincia de Málaga, en la Costa del Sol. En est zona, es reinante y dominante los oleajes de levante, que marcan claramente los valores más elevados en condiciones normales de temporales.

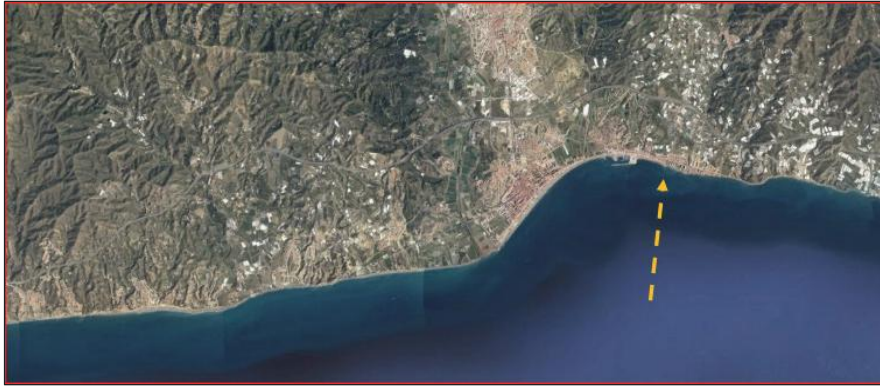


Fig. 3. Punto de la costa a poniente del Puerto Deportivo de la Caleta en Vélez Málaga objeto en donde se evalúa la zona marítimo terrestre para un nuevo deslinde.

Para dicho punto de la costa, se ha procedido a estudiar datos de oleaje de la red SIMAR, según el siguiente esquema, aceptando los datos del mareógrafo del puerto de Málaga como prácticamente coincidentes (separación de unas 20 millas náuticas, en una costa sin apenas mareas de consideración):

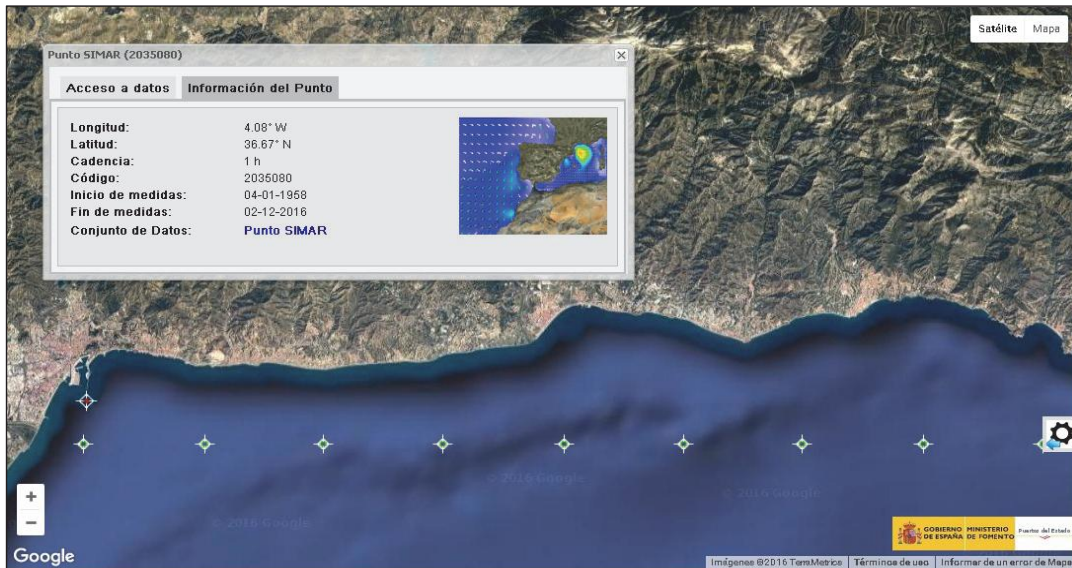


Fig. 4. Punto de la Red SIMAR escogido para consulta de datos de oleaje y determinación del periodo de 5 años dentro de la serie histórica de oleajes.

Estudiando una serie histórica de 5 años seguidos desde Octubre de 2011 a Octubre de 2016, se obtiene el siguiente cuadro resumen de temporales:

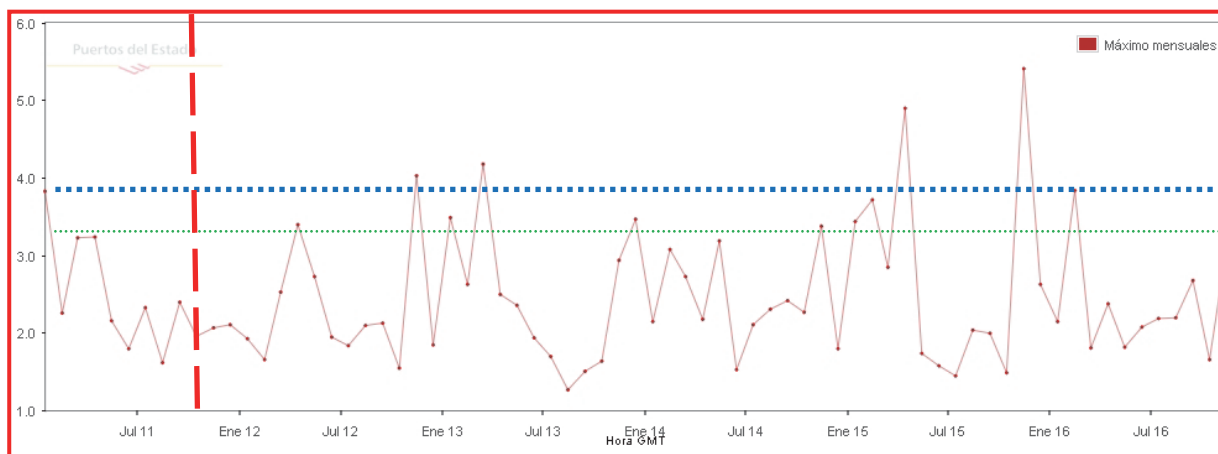


Fig. 5. Gráfica temporal de los temporales mensuales máximos producidos en 5 años consecutivos, de octubre de 2011 a octubre de 2016.

En el cuadro anterior, la alineación de puntos azules delimita el quinto temporal con altura de ola más alta que se ha registrado, correspondiente a Febrero del año 2016. La alineación de puntos verdes corresponde con otros temporales que son de menor altura, pero que se han considerado también, estudiando en todos ellos el nivel del mar en el momento en que se produjo cada temporal, y tomando en este caso nivel del mar máximo y altura de ola máxima de cada evento de temporal.

Tras el tratamiento de datos y aplicación de una formulación de cálculo del Run-Up, se obtendría el siguiente cuadro:

Orden(*)	Fecha	H _{s max*} (m)	T _p (sg)	S _{REDMAR}	S _{NM}	L (m)	R _{2%} (m)	S _{CI} (m)
1º	01/11/2015	5,41	10,26	1,04	0,609	164,21	2,35	2,959
2º	08/04/2015	4,90	10,31	0,88	0,449	165,82	2,25	2,699
3º	04/03/2013	4,18	9,15	0,99	0,559	130,60	1,85	2,409
4º	07/11/2012	4,03	9,30	1,01	0,578	134,92	1,84	2,418
5º	20/02/2016	3,84	9,46	0,74	0,309	139,60	1,83	2,139
6º	10/02/2015	3,72	8,33	0,77	0,339	108,24	1,59	1,929
7º	19/01/2013	3,49	9,15	0,91	0,479	130,60	1,69	2,169
8º	25/12/2013	3,47	8,23	0,91	0,479	107,46	1,53	2,009
9º	31/01/2015	3,44	8,35	0,84	0,409	108,76	1,53	1,939
10º	14/04/2012	3,40	7,86	0,70	0,269	96,37	1,43	1,699
11º	04/11/2014	3,38	7,76	1,01	0,578	93,93	1,41	1,988
12º	16/05/2014	3,19	8,57	0,97	0,539	114,57	1,51	1,949

S_{REDMAR} = Cota del nivel del Mar respecto el cero del puerto.

S_{NM} = Cota del Nivel del Mar respecto al N.M.M.A. (S_{REDMAR} - 0,431 m).

(*) → Orden por H_s mayor.

Tabla 1. Obtención de datos de la cota de inundabilidad obtenido (alcances)

Como se puede comprobar, no es el quinto temporal por altura de ola del que se obtiene el quinto alcance en cota, siendo necesario reordenar por tanto los datos obtenidos:

Orden(*)	Fecha	H _{s max*} (m)	S _{CI} (m)	Orden Real
1º	01/11/2015	5,41	2,959	1º
2º	08/04/2015	4,90	2,699	2º
3º	04/03/2013	4,18	2,409	4º
4º	07/11/2012	4,03	2,418	3º
5º	20/02/2016	3,84	2,139	6º
6º	10/02/2015	3,72	1,929	11º
7º	19/01/2013	3,49	2,169	5º
8º	25/12/2013	3,47	2,009	8º
9º	31/01/2015	3,44	1,939	10º
10º	14/04/2012	3,40	1,699	12º
11º	04/11/2014	3,38	1,988	9º
12º	16/05/2014	3,19	1,949	7º

(*) → Orden por H_s mayor; Eventos del temporal y orden real por alcance máximo.

Tabla 2. Tabla de temporales con orden real en columna final según alcance.

En este caso, es el temporal séptimo por altura de ola del que se calcula el quinto alcance y que determinaría la cota que delimita la zona marítimo terrestre. Ha sido preciso estudiar una serie mayor de solamente cinco temporales, en este caso hubiera sido necesario llegar al séptimo, pero es un dato que no se conoce a priori y que por tanto obliga a estudiar una serie de temporales mayor de cinco. En este caso concreto, el error entre haber tomado el quinto temporal o el séptimo como era el más adecuado es de solo 3 centímetros en cota vertical, diferencia realmente mínima, pero que puede ser mayor en otros casos, sobre todo en mares además con mareas más importantes, sin olvidar que las pendientes de una playa suelen ser muy bajas, del orden del 2% al 3% en la playa seca, por lo que por ejemplo, una diferencia de unos 10 centímetros por ejemplo en vertical, para una playa de una pendiente del 2%, supondría una distancia en horizontal de 5 metros, distancia que empieza a ser nada despreciable.

4. CONCLUSIONES

Es necesario desarrollar una metodología y procedimiento concreto, objetivo y de fácil aplicación para la obtención de la zona marítimo terrestre según se define en la nueva legislación de costas. La importancia de este concepto en la determinación de los deslindes del Dominio Público Marítimo Terrestre obligan a eliminar cualquier atisbo de subjetividad e incertidumbre que depende del proceso de cálculo, de las fuentes de datos que se obtengan o de la persona que lo calcule. Por ello, se debe avanzar en la investigación y propuesta de un cálculo que cumpla con las premisas antes comentadas.

Referencias

Página web

PORTAL OFICIAL DE PUERTOS DEL ESTADO, MINISTERIO DE FOMENTO. < <http://www.puertos.es/es-es>>. [Consulta: 1 de Octubre de 2017]

Legislación y normas

España. Ley 22/1988, de 28 de Julio, de costas. *BOE*, de 29 de Julio de 1988, num. 181, p, 23386 a 23401.

España. Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas, *BOE*, 30 de Mayo de 2.013, num. 129, p. 40691 a 40736.

España. Real Decreto 876/2014, de 10 de Octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas. *BOE*, de 11 de Octubre de 2014, num. 247, p. 83098 a 83216.