

ENFOQUE SISTÉMICO PARA LA EJECUCIÓN DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS Y OCEANOGRÁFICOS, COMO INFORMACIÓN TECNOLÓGICA APLICADA A LAS CIENCIAS NAVALES.

SYSTEMIC APPROACH FOR THE EXECUTION OF HYDROGRAPHIC AND OCEANOGRAPHIC STUDIES, AS TECHNOLOGICAL INFORMATION APPLIED TO NAVAL SCIENCE.

Recibido: 06 / 12 / 2016 Aprobado: 05 / 04 / 2017



Luis Salgado
Ibáñez

Ingeniero hidrógrafo, Academia Politécnica Naval, Armada de Chile. Master of Science, Ciencias Geodésicas, mención en Cartografía Asistida por Computador, The Ohio State University, EE.UU. Diplomado Ejecutivo en Administración y Finanzas y Diplomado Directivo en Administración y Finanzas, Universidad Marítima de Chile. Experiencia profesional en las áreas de hidrografía, geodesia, oceanografía, topografía, fotogrametría, cartografía náutica, sistemas de información geográfica, concesiones marítimas y de acuicultura, proyectos portuarios y medio ambientales marinos. Profesor militar de las cátedras de fotogrametría y de hidrografía de la Academia Politécnica Naval y docente de los cursos de hidrografía y oceanografía para Oficiales y Gente de Mar. Miembro del Consejo Consultivo Editorial de la Revista Hydro International. Ha representado al país en numerosos foros técnicos internacionales de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) y de la Organización Marítima Internacional (OMI), además de consultor OMI como relator de cursos especializados en hidrografía para países en desarrollo. Durante 25 años prestó servicios a la Armada de Chile como Oficial de Marina, acogiéndose a retiro en 1999, con el grado de Capitán de Fragata. En su trayectoria naval, desempeñó diversos cargos relacionados con sus áreas de conocimiento en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), tanto en tierra como a bordo de buques. En octubre de 1998 forma la consultora Desarrollo Marítimo, Servicios y Equipamiento Limitada (DESMAR Ltda.), de la cual es su gerente general. lsalgado@desmar.cl.

RESUMEN

El desarrollo de un proyecto de infraestructura requiere de estudios detallados de las condiciones naturales del área de emplazamiento, así como conocer las necesidades de espacios para construcción y operación, costumbres, impacto vial, instrumentos de ordenamiento territorial, arqueología, exigencias medioambientales, catastro de propietarios, permisos gubernamentales, concesiones, etc. Habitualmente, la recolección de esta información se hace inorgánicamente, con impactos negativos en los costos, uso del tiempo y recursos humanos, así como en la inadecuación de estudios de la misma naturaleza, que se desarrollan bajo estándares y ejecutores disímiles. Por ello, es necesario que los administradores de proyectos de infraestructura optimicen el empleo de recursos, buscando máxima eficiencia. Este trabajo se enfoca en los estudios hidrográficos y oceanográficos, como información tecnológica aplicada a las Ciencias Navales y expone consideraciones para trabajar bajo una mirada sistémica a los estudios en etapas tempranas de un proyecto de infraestructura marina.

Palabras claves:

Enfoque Sistémico, infraestructura marina, recursos, eficiencia, estudios básicos. procesos demandantes.

ABSTRACT

The development of an infrastructure project requires detailed studies of the natural conditions of the site, as well as the needs of spaces for construction and operation, knowing the customs, road impact, territorial planning instruments, archeology, environmental requirements, owner's census, government permits, concessions, etc. Usually, the collection of this information is done inorganically, with negative impacts on costs, use of time and human resources, as well as the inadequacy of studies of the same nature, which are developed under different standards. Therefore, it is necessary that infrastructure project managers optimize the use of resources, seeking maximum efficiency. This work focuses on hydrographic and oceanographic studies, such as technological information applied to Naval Sciences and exposes considerations to work under a systemic look at studies in the early stages of a marine infrastructure project.

Keywords:

Systemic approach, marine infrastructure resources, efficiency, basic studies, plaintiff processes.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un proyecto de infraestructura requiere de estudios detallados de las condiciones naturales del área de emplazamiento, tales como pero no limitados a topografía, mecánica de suelos, hidrología, hidrogeología, clima, etc. En el caso de infraestructura marina, se requiere contar adicionalmente con estudios de corrientes marinas, clima de olas, características de los sedimentos marinos, batimetría, estratigrafía del fondo marino, etc.

Junto con ello, es necesario conocer las necesidades de espacios para construcción y operación, costumbres, impacto vial, instrumentos de ordenamiento territorial, arqueología, exigencias medioambientales, catastro de propietarios, permisos gubernamentales, concesiones, etc.

Es habitual que la recolección de esta información se haga en forma inorgánica, inconexa y repetitiva, lo que tiene un impacto en los costos directos e indirectos, en el uso del tiempo, uso de recursos humanos y en la inadecuación de estudios de la misma naturaleza, que se desarrollan bajo distintos estándares y por distintos ejecutores.

Los administradores de proyectos de infraestructura nueva, de recuperación, ampliación o modernización, necesitan optimizar el empleo de recursos financieros, tiempo y personal, asegurando máxima eficiencia en su empleo. Esto no sólo incluye no desaprovecharlos o emplearlos repetitivamente en buscar respuestas de la misma índole, sino también que las respuestas obtenidas como resultado de cada esfuerzo sean atinentes al objetivo entre manos.

Este trabajo se enfoca en los estudios hidrográficos y oceanográficos, como información tecnológica aplicada a las Ciencias Navales, relacionados con el desarrollo no sólo de proyectos científicos navales, sino también aquellos científico-tecnológicos. Por esto, se entiende los proyectos que involucran investigación científica con un propósito específico entre manos, lo que los transforma más en científico-tecnológicos que en puramente científicos, toda vez que la búsqueda de resultados por la vía de la investigación científica, está orientada a obtener respuestas específicas para la materialización de un proyecto tecnológico.

DESARROLLO

Definiremos como “Enfoque Sistémico” a aquella mirada que contempla un núcleo de “Estudios Básicos”, que sirven a una variedad de “Procesos Demandantes” que emplean toda o una parcialidad de la información obtenida de los “Estudios Básicos”. Este enfoque permite optimizar el empleo de los recursos financieros, tiempo, recursos humanos y apresto logístico. A continuación se describe, sucintamente, en qué consisten los procesos demandantes, para un proyecto de infraestructura marina:

Proceso 1 - “Obtención de Destinación Marina”, se refiere a la tramitación ante el organismo del Estado que otorga el derecho real para el emplazamiento de obras marítimas en los bienes nacionales de uso público “playa de mar” y “fondo de mar”.

Proceso 2 - “Ingeniería Portuaria”, consiste en el desarrollo de ingeniería marítima para instalaciones en el mar (muelles, diques secos, dársenas, malecones, cañerías, anclajes, etc.). Se desarrolla en varias etapas: 1ª) Anteproyecto valorizado de obras, 2ª) Ingeniería básica, y 3ª) Ingeniería de detalles. El anteproyecto valorizado de obras debe contar con una descripción clara y completa de la obra, así como del monto aproximado de la inversión necesaria para desarrollarla. La ingeniería básica permitirá contar con una ingeniería acabada del proyecto, con una estimación precisa de costos y programa de trabajo, lo que permitirá licitar la construcción de ésta y, al mismo tiempo, adjuntarla como respaldo al Estudio de Impacto Ambiental. La ingeniería de detalles podrá ser desarrollada por el titular o por el constructor, por la vía de un contrato EPC (“Engineering, Procurement, and Construction”). Para su desarrollo se debe contar con los parámetros relaciona-

dos con el ambiente marino, que tienen incidencia en el diseño y cálculo de las obras. Éstos son batimetría, vientos, olas, inundación por tsunami y/o tormentas tropicales y huracanes, mareas, corrientes, calidad superficial de fondo, deriva litoral, sísmica marina (estratigrafía del fondo marino), geotecnia del subsuelo marino, imaginería del fondo marino e inspección submarina con buzos.

Proceso 3 - “Obtención de Destinación de Terrenos Fiscales”: Este proceso debe desarrollarse sólo si el terreno costero a emplear es propiedad de una entidad fiscal distinta al interesado. Este proceso está orientado a obtener los terrenos bajo administración del Estado, para el emplazamiento de las instalaciones en tierra, incluyendo patios, oficinas, laboratorios, salas de máquinas, salas de bombas, caminos, postación eléctrica, canalización de fluidos, eléctrica y de datos, talleres, instalaciones sanitarias y otras.

Proceso 4 - “Estudio de Impacto Ambiental”: Debe desarrollarse para que se autorice ambientalmente la construcción y operación del proyecto, por medio del acto administrativo pertinente, que además de calificarlo ambientalmente, fija la línea base ambiental previa a la construcción y dispone el programa de vigilancia y compromisos ambientales que el titular deberá cumplir. El desarrollo y tramitación de un estudio de impacto ambiental debe contemplar en un mismo cuerpo el ambiente marino y el terrestre, en la extensión en que el proyecto impacte ambos ambientes. Típicamente, los estudios de este tipo tienen relación con macro fauna bentónica, análisis químico de sedimentos marinos, bioensayos de toxicidad de sedimentos, análisis físico y químico columna de agua, fitoplancton y zooplancton, flora marina, ictiología, mamí-

feros marinos, avifauna marina, arqueología submarina. Dependiendo de las características del proyecto podrán obviarse algunos de los descritos o, en su defecto, agregarse otros no señalados.

A continuación se muestra un diagrama de lo que debería ser el “Enfoque Sistémico” de estudios hidro-oceanográficos y de estudios medioambientales marinos, que son necesarios para enfrentar un proyecto de infraestructura marina:

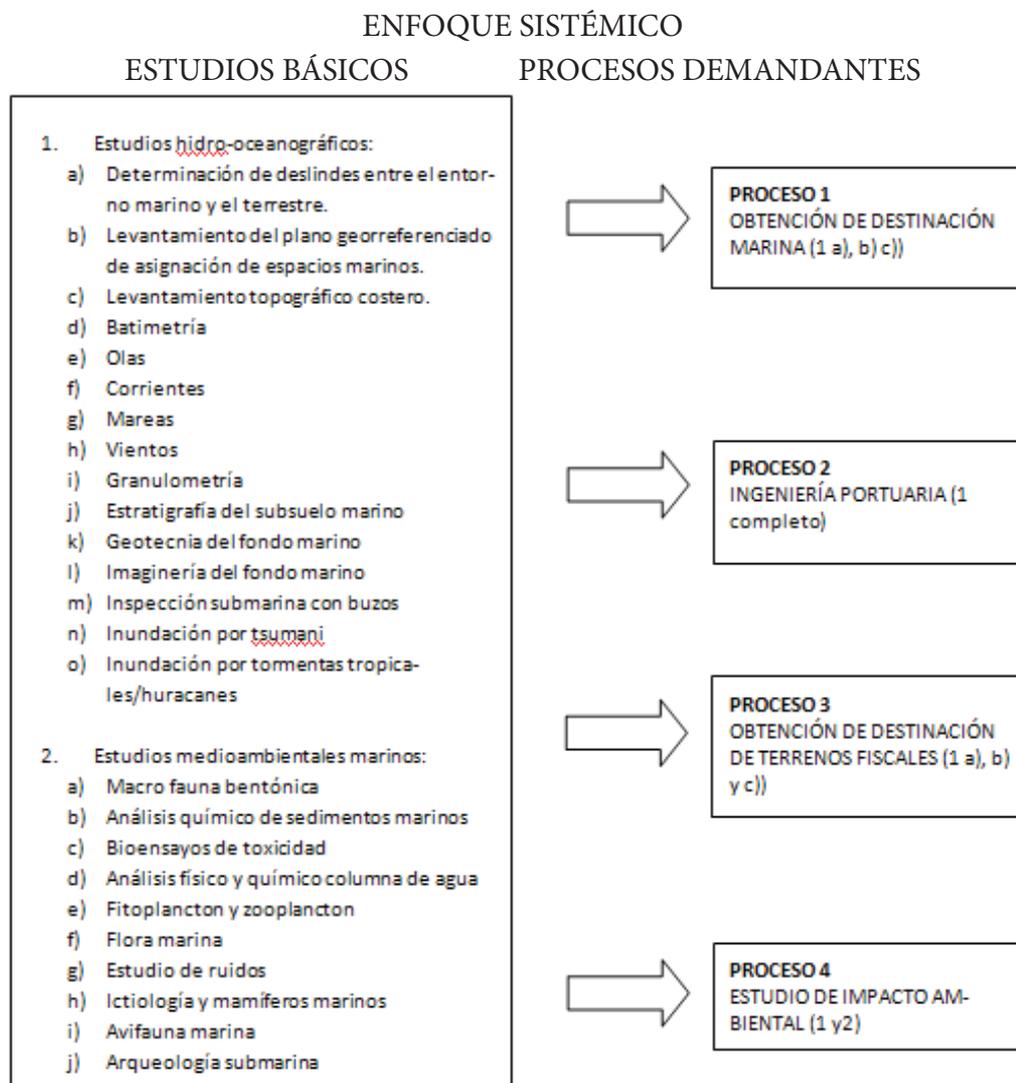


Figura 1. Diagrama del “Enfoque Sistémico”

Fuente: elaboración propia

El presente trabajo desarrolla parcialmente los contenidos relacionados con el N° 1. “Estudios hidro-oceanográficos” del núcleo de “Estudios Básicos” del “Enfoque Sistémico”, dejando para un trabajo posterior el desarrollo del N° 2. “Estudios medioambientales marinos”.

CONTENIDOS MÍNIMOS DE LOS ESTUDIOS HIDRO-OCEANOGRÁFICOS

Determinación de deslindes entre el entorno marino y el terrestre: este estudio busca fijar el deslinde entre lo que la legislación define como entornos marino y terrestre. Por lo general, el entorno marino está definido como aquel espacio hasta donde llegan las olas en las más altas mareas en condiciones normales de agitación, dejando fuera comportamientos extremos del mar por efectos de condiciones meteorológicas severas o por inundaciones producidas por tormentas, huracanes o tsunamis. Para determinarlos se debe desarrollar un estudio topográfico georreferenciado para levantar las líneas que se manifiestan con ocasión de las pleamares y bajamares de sicigias. La línea de más alta marea así definida será el deslinde entre el entorno marino y el terrestre y el espacio comprendido entre las líneas de más alta y más baja marea será la “playa de mar”. A su vez, el entorno marino siempre sumergido, a partir de la línea de más baja marea, constituye el “fondo de mar” y la masa de agua sobre él la “columna de agua”.

Estos espacios y la columna de agua sobre el fondo de mar normalmente se ajustan a un régimen legal definido, pudiendo hacerse ciertas cosas sobre o en cada uno, quedando limitados o definitivamente inhibidos ciertos usos. Por tal razón y para efectos de gestionar su asignación por parte del Estado para el emplazamiento de infraestructura

marítima para un propósito específico, se hace necesario despejar esta incógnita, como una de los primeros estudios que deben desarrollarse.

Levantamiento del plano georreferenciado de asignación de espacios marinos: habiéndose obtenido el plano georreferenciado de los deslindes entre los distintos entornos marítimos y entre éste y el entorno terrestre, se podrá plasmar en él las plantas de la infraestructura que se proyecta desarrollar. Este plano será la base para gestionar la asignación de estos espacios ante el organismo gubernamental en-cargado de administrar el territorio marítimo, ya sea por la vía de una concesión marítima a perpetuidad o por un tiempo limitado. Para el caso de proyectos que serán desarrollados por un organismo estatal debería esperarse que estas concesiones sean a perpetuidad y a título gratuito. No así para proyectos de inversión privada, en cuyo caso normalmente se tratará de concesiones onerosas, sujetas al pago de tarifas por el uso de espacios marinos de dominio público, que quedarán negados al uso general.

Por tratarse de una decisión que debe tomarse en etapas tempranas del desarrollo de un proyecto, no debe esperarse a que la distribución de espacios para desarrollar el proyecto esté totalmente definida, toda vez que ello dependerá del resultado de numerosos estudios. Aun así, debe darse este paso sobre la base de un anteproyecto de obras, que defina con un grado de certidumbre aceptable cuál será la planta a emplear por las distintas componentes del proyecto, por ejemplo espacios de playa para patios de maniobras, acceso a diques secos, puentes y rampas, así como espacios de fondo de mar para frentes de atraque, porciones de agua para boyas de amarre, etc.

Estos espacios deberán expresarse en el plano georreferenciado mediante polígonos bien acotados y descritos con distancias, superficies y coordenadas, en tablas diseñadas para el efecto.

Levantamiento topográfico costero: Este estudio es complementario a aquel de definición de los espacios marítimos y debe contar con la misma referencia geodésica, para que sea coherente con el plano del entorno marino. Es más, por eficiencia, debería levantarse en la misma campaña en que se levanten las líneas de más alta y más baja marea, para aprovechar la misma georreferenciación y empleo de medios en terreno.

Se espera de este levantamiento el máximo de detalles y densidad de datos colectados en terreno, de tal forma de obtener un plano resultante con profusión de detalles de las características naturales y artificiales del entorno bajo estudio, así como la altimetría relacionada, cuya referencia deberá ser la misma empleada para referir el plano de determinación de deslindes entre el entorno marino y el terrestre.

Tratándose de un proyecto de infraestructura marina, es recomendable que la referencia de altura sea aquella a la cual se referirán las profundidades, lo que dependerá de cómo lo defina el organismo estatal encargado de hacerlo. Por lo general esta referencia corresponde al nivel más bajo que alcanza la marea.

Estudio de Marea: este estudio está orientado a conocer los distintos niveles que alcanza la marea durante las distintas fases de la luna (componentes no armónicos), así como para las componentes armónicas de la señal de marea, que permitirán pronosticar la hora y altura de las pleamares y bajamares.

Como resultado del estudio de marea se obtienen los principales parámetros de referencia de altura para el desarrollo de los proyectos de infraestructura marina, tales como el nivel de reducción de sondas, o sea aquel nivel más bajo alcanzado por las mareas, respecto del cual se expresarán las profundidades y las alturas de las obras de infraestructura marina; el nivel más alto alcanzado por la marea, el nivel medio del mar y otros niveles de referencia, que son relevantes para el diseño y construcción de infraestructura marina.

Un estudio de marea requiere de al menos un mes de registro de la altura de marea, a intervalos de cinco minutos. Sobre la base de la curva registrada se desarrolla un detallado análisis que permite conocer los parámetros de la marea del lugar en estudio y las componentes armónicas del lugar.

Levantamiento Batimétrico: El estudio batimétrico consiste en la medición de las profundidades del entorno marino de influencia del proyecto de infraestructura marina, tanto en el área de emplazamiento de las obras, como en el área circundante, llámese área de aproximación y zarpe de las naves que operarán en el terminal marítimo u otra obra de infraestructura que se desarrolle, tal como un astillero, tendido de cañerías submarinas, tendido de cables submarinos y otras aplicaciones que requieren de una batimetría precisa y profusa del sector de interés.

La batimetría debe estar expresada en metros, con uno o dos decimales, respecto de un nivel de referencia, que hemos mencionado como aquel que alcanzan las más bajas mareas, con la luna en sicigia y en perigeo.

El posicionamiento horizontal de la batimetría debe ser preciso y fijado en cada captura de profundidad mediante

instrumentos de alta precisión, tales como posicionadores GPS geodésicos. La posición de las sondas deben expresarse como listados X, Y, Z, siendo X la coordenada UTM Norte, Y la coordenada UTM Este y Z la profundidad de cada punto del modelo digital del terreno (MDT). Similarmente, X puede ser la latitud y Y la longitud. Por facilidad de cálculo e interpolaciones para planos de gran escala en apoyo a un proyecto de ingeniería marítima, es recomendable que las sondas estén expresadas en coordenadas UTM, georreferenciadas a un dátum conocido, típicamente el WGS-84 o aquel que lo reemplace en el futuro.

Cuando un proyecto deba emplazarse en un área geográfica que cuenta con una referencia de coordenadas horizontales distinta al dátum WGS-84, deberán homologarse ambos sistemas de coordenadas, ya sea llevando la batimetría a la referencia horizontal del entrono terrestre o viceversa.

Los errores comunes de posicionamiento y de medición de profundidad de la batimetría, generados por los movimientos a los que estará sometida la embarcación que captura la data batimétrica, deberán ser registrados y eliminados en la batimetría, por la vía de trabajar con sensores de cambio angular (guiñada, balanceo y cabeceo) y aceleraciones verticales (“heave”) y horizontales (“search” y “sway”).

Los errores inherentes a la medición de la profundidad con haces de sonido, cuya velocidad de propagación sufre constantes cambios en la columna de agua, producto de la temperatura y salinidad, deberán ser corregidos trabajando con perfiladores de velocidad de propagación del sonido en el agua, con mediciones hasta las proximidades del fondo marino.

Clima de Olas: El clima de olas define importantes parámetros para el diseño, dimensionamiento, construcción y operación de una obra marítima, siendo necesario determinar sus características para inferir sus efectos sobre las obras y las maniobras de amarre, procesos de carguío, zarpe de los buques, orientación de cañerías y cables al entrar al mar, entre otras.

Este estudio tiene por propósito determinar el clima de oleaje operacional, clima de oleaje de diseño e identificar y caracterizar la presencia de olas de largo período, que tienen un efecto deletéreo sobre las naves amarradas a un terminal, así como sobre la infraestructura misma.

Para la caracterización del clima de oleaje en un área en particular debe determinarse en primera instancia el clima de oleaje en aguas profundas, el cual debe ser transferido de manera espectral hacia la zona de estudio, mediante la aplicación de un modelo numérico. Junto con ello, deberán desarrollarse mediciones de altura, dirección y periodo de las olas en el lugar de emplazamiento de la obra marítima, el cual servirá para correlacionar el clima de olas de aguas profundas, propagado espectralmente a la zona de interés, con mediciones directas, lo que permitirá conocer a cabalidad el comportamiento del clima de olas y aplicar al diseño y construcción de las obras los parámetros correctos de altura, dirección y periodo de las olas, lo que asegurará una vida útil prolongada de la obra y una alta disponibilidad de uso.

Corrientes Marinas: El estudio de corrientes constituye un insumo esencial para todo proyecto de infraestructura marina, por cuanto es un dato de entrada para el diseño de las obras, toda vez que entrega dirección e intensidad de las corrientes generales y de marea (aquellas que cambian de dirección e intensidad con el comportamiento de

la marea), lo que tiene un impacto directo en el diseño de las obras y en las maniobras de recalada y zarpe de los buques que operan en un terminal.

No sólo las maniobras de buques se ven afectadas por las corrientes marinas sino que también tienen un impacto en las plumas de dilución de residuos industriales líquidos (RIL), residuos sanitarios tratados (alcantarillado), descarga de aguas de enfriamiento de centrales termoelectricas, plumas de salmueras de plantas desalinizadoras y otros descartes de residuos en el mar. A mayor dinámica e intensidad de las corrientes mejor y más rápida dilución.

Las corrientes también tienen efectos en la formación de bancos de arenas y sedimentos marinos, producto de la intrusión que las obras de infraestructura marina producirán en la dinámica de corrientes litorales; por lo que contar con información fidedigna y exacta del comportamiento de las corrientes permitirá evitar que una obra marina provoque embancamientos o vaciamientos no deseados que, a la larga, inutilizarán el empleo de la obra desarrollada u ocasionarán estos efectos en área vecinas.

Un estudio de corrientes requiere de la instalación de un medidor de principio Doppler (Acoustic Doppler Current Profiler o ADCP, por sus siglas en inglés), que mida el comportamiento de la corriente en toda la columna de agua a intervalos de diez minutos, durante un período de 30 días. Este tipo de mediciones es conocido como “correntometría euleriana”.

Complementariamente, se deberán realizar mediciones de correntometría con derivadores de cruceta, que se dejan derivar con la corriente. Un par de derivadores deberá derivar a nivel superficial (1m bajo la superficie) y otro par a nivel intermedio, típicamente 5, 7 o 10m, dependiendo del

tipo de proyecto entre manos. Estas mediciones son conocidas como “correntometría lagrangiana”. Las mediciones deben ejecutarse durante una marea llenante y una marea vaciante, tanto en cuadratura como en sicigia. El posicionamiento de los derivadores debe hacerse cada diez minutos o más seguido, mediante un posicionador GPS geodésico, en modalidad RTK o post proceso.

Estudio de Viento: Con el fin de caracterizar el régimen de vientos a escala local y regional y establecer el clima de viento operacional, se deberá hacer un análisis de datos de dirección e intensidad del viento, deseablemente de 10 años de extensión. Normalmente estas bases de datos están disponibles en las estaciones de monitoreo meteorológico cercanas, operadas por el respectivo Servicio Meteorológico Nacional, así como en otras estaciones, tales como puertos y aeropuertos.

Para relacionar el clima de viento general, extraído de la base de datos, con el viento en el lugar de interés, deberá hacerse una medición de viento local, con registro de dirección e intensidad del viento cada diez minutos, por un periodo de un año.

En concreto, se deberán realizar análisis estadísticos de los datos registrados para determinar las fluctuaciones diurna y nocturna, los parámetros característicos de fuerza, velocidad y dirección, determinación de porcentajes de calmas y vientos predominantes, identificación de eventos máximos (tormenta), viento horario sostenido y rachas.

La descripción de los estudios de granulometría, estratigrafía del subsuelo marino; geotecnia del fondo marino; ingeniería del fondo marino; inspección submarina con buzos; inundación por tsunami e inundación por tormentas tropicales o huracanes, así como lo relacionado al Estudio de Impacto Ambiental, quedarán para un trabajo futuro.

CONCLUSIÓN

La aproximación sistémica a los estudios básicos que deben desarrollarse en las etapas tempranas un proyecto de

infraestructura marina, ayuda a aumentar la eficiencia y a optimizar el empleo de los recursos asignados, permitiendo identificar qué debe hacerse en cuanto a estudios básicos, en qué secuencia y bajo qué estándares.

REFERENCIAS

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (1992). Glosario de mareas y corrientes. *SHOA*, No. 3013. 2da. ed.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2009). Instrucciones hidrográficas No. 4: Instrucciones para la determinación de la playa y terreno de playa en la costa del litoral y en la ribera de lagos y ríos. *SHOA*, No. 3104. 4ta. edición actualizada al 12 de agosto 2015.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2003). Instrucciones hidrográficas No. 5: Especificaciones técnicas para la realización de sondajes. *SHOA*, No. 3105. 4ta. edición.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2003). Instrucciones hidrográficas No. 9: Especificaciones técnicas para el empleo y aplicación del sistema de posicionamiento global en trabajos geodésicos, hidrográficos y topográficos. *SHOA*, No. 3109. 3ra. edición.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2005). Instrucciones oceanográficas No. 1: Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos. *SHOA*, No. 3201. 3ra. edición.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (1999). Instrucciones oceanográficas No. 2: Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea. *SHOA*, No. 3202. 2da. edición.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2015). Instrucciones oceanográficas No. 4: Especificaciones técnicas para la elaboración de cartas de inundación por Tsunami (CITSU). *SHOA*, No. 3204. 1ra. edición.

Servicio Oceanográfico de la Armada de Chile. (2008). Normas de la OHI para los levantamientos hidrográficos. *Publicación Especial*, No. 44. 5ta. edición.