

I. INTRODUCCION

I.1. UBICACION

La situación del estudio de los mares, océanos y zonas costeras en México, siendo un país típico de los que se encuentran en vías de desarrollo, está polarizada hacia dos grandes áreas de interés.

Por un lado, se encuentra el grupo de *ingenieros portuarios* que típicamente son ingenieros civiles con afinidad hacia el mar debido a que su actividad principal es la *planeación, construcción y operación* de obras portuarias. En muchos casos, sus conocimientos sobre hidráulica (o hidrodinámica) marítima se limitan a generalidades y criterios de diseño de los que abundan en los manuales, y carecen, por las características de su actividad y formación profesional o de posgrado, de un entendimiento profundo de las teorías y conceptos que respaldan dichos criterios de diseño.

Por otra parte se encuentran los científicos oceanógrafos, en muchas ocasiones con alto nivel académico, cuyo interés es el conocimiento y estudio del mar, pero que por su misma formación se encuentran desligados de las labores ingenieriles asociadas con éste. La divergencia de intereses y falta de contacto entre ambos grupos, al menos la detectada por el autor de este trabajo, es muy marcada.

Esto no sería necesariamente un problema de existir elementos que, simultáneamente, tuvieran un respaldo formal en ambas áreas: la ingeniería de las obras marítimo-costeras requeridas para el desarrollo y las bases científicas necesarias para estudiar la interacción de estas con el mar. Sin embargo, en México existe un número muy reducido de profesionales con estas características. Esto contrasta con la situación en países desarrollados donde la gama de intereses profesionales y formación académica forma un espectro

continuo y permite la comunicación entre grupos dispares como los mencionados. Los pocos contraejemplos se han dado en México en las actividades asociadas principalmente a las industrias eléctrica y petrolera.

"*Fundamentos de Hidráulica Marítima*" pretende ser una de las piezas necesarias para lograr este entendimiento y cooperación entre los *profesionales del mar*. En este sentido, el autor desea eliminar un hueco que percibe en la literatura disponible en español que, actualmente, refleja el problema ya mencionado.

1.2. PROPOSITO Y ALCANCE

El propósito de "*Fundamentos de Hidráulica Marítima*" es el de presentar teorías básicas que permitan el entendimiento profundo de técnicas específicas, criterios de diseño y conceptos mas avanzados en el contexto de problemas asociados con el mar. La forma de presentación será directa y, considerando la complejidad inherente en algunos temas, lo mas sencilla posible. La palabra *fundamentos* en su título no debe confundirse con superficialidad, ya que los temas tratados, aunque solo alcanzan a ser fundamentos, se exploran con profundidad. El autor considera especialmente importante el establecer el contexto y ubicación de la herramienta explorada dentro del *universo* de alternativas y la simplificación, siempre necesaria para obtener resultados útiles, con respecto al problema estrictamente real del que se trate. Aunque solo una parte de la problemática del mar, en este trabajo se hace un gran énfasis en oleaje, las teorías que permiten modelarlo, su evolución al interaccionar con el medio físico (natural o artificial) y sus efectos.

El objetivo del trabajo es mas *formativo* que *informativo*. En este sentido está diseñado como un texto que se estudiará en su totalidad en un periodo relativamente corto de tiempo (digamos un periodo

semestral). No es, ni pretende ser, un catálogo de técnicas disponibles para la solución de problemas asociados con el mar. Como texto de consulta aislada y/o eventual tiene un valor muy restringido. Por el contrario como texto de un curso formal sobre el tema puede proporcionar una sólida formación sobre hidráulica marítima al lector. No debe considerarse como un libro sobre *ingeniería costera* ni tampoco de *oceanografía física*. Textos sobre ambos campos complementarán adecuadamente a "*Fundamentos de Hidráulica Marítima*" y presumiblemente, el acoplamiento de estos textos, producirá un *profesional del mar* más apto, versátil y útil.

El autor presupone un nivel mínimo de conocimientos del lector para comprender ampliamente los conceptos presentados. Este nivel incluye cursos básicos de física y matemáticas aplicadas a nivel licenciatura (por ejemplo de una escuela de ingeniería) y conocimientos sobre mecánica de flúidos y/o hidráulica del mismo nivel. En este sentido es adecuado para cursos en los últimos semestres de licenciatura o primeros semestres de posgrado, o para el profesionalista que desea complementar formalmente su preparación en este campo.

1.3. DESCRIPCION DEL CONTENIDO

Comenzaremos, en el capítulo II, con un conciso repaso sobre las ecuaciones gobernantes que se manejarán posteriormente para ubicar el problema en el contexto de la mecánica de flúidos en general, así como puntualizar las suposiciones requeridas para simplificar a un nivel manejable el problema.

En el capítulo III se linealizan las ecuaciones gobernantes y se deduce una solución adecuada para ondas superficiales progresivas, obteniéndose una descripción de los campos de desplazamiento, velocidad, aceleración y presión como una primera aproximación al problema real. Además se explora la posibilidad de construir otras

soluciones a partir de superposición, tratándose los casos de oleaje de amplitud modulada y olas estacionarias.

El capítulo IV trata problemas relacionados con generación y medición de oleaje en laboratorio, como una buena forma de consolidar los conceptos de teoría lineal de oleaje. Además, presentar esto en una fase temprana permitirá al lector, que tenga disponible instalaciones experimentales, el ver oleaje además de estudiarlo en forma teórica

Los siguientes cinco capítulos tratan fenómenos que, sin requerir el desarrollo de una teoría no lineal de oleaje, rebasan el ámbito estricto de la linealidad. En estos se tratan los temas de la energía de oleaje, la interacción del oleaje con el fondo (incluyendo capa límite oscilatoria, formas de fondo móvil, pérdidas por fricción), la transformación de oleaje por fondo gradualmente decreciente (refracción generalizada) y por estructuras o litoral (difracción) y finalmente las fuerzas que el oleaje ejerce sobre diversas estructuras marinas.

El capítulo X nos muestra como la superposición de diversas componentes monocromáticas de oleaje nos permite simular aceptablemente bien las características aleatorias (o caóticas) que usualmente observamos en la superficie del mar, expandiendo toda la herramienta vista anteriormente a una descripción mas cercana de las condiciones reales.

El capítulo XI indica un método general para obtener aproximaciones sucesivamente mejores al oleaje real para olas en aguas no muy someras, ejemplificando con detalle la teoría de Stokes de 2^o orden. Además se presenta brevemente información sobre la teoría de Stokes de 3^{er} orden, la teoría cnoidal y la ola solitaria.

Finalmente el capítulo XII trata de los efectos de la atmósfera (viento y presión) sobre la superficie libre del mar, tanto en cuanto a generación de oleaje como a su nivel *medio*. Se trata explícitamente

el caso de las tormentas ciclónicas tropicales, que comunmente producen las condiciones de diseño en latitudes bajas del mundo.

1.4. PROBLEMAS RELACIONADOS CON HIDRAULICA MARITIMA

La pregunta ¿para qué estudiar hidráulica marítima? aparece como una duda razonable. Aún con la esperanza de que esta pregunta no subsista en los lectores al finalizar "*Fundamentos de Hidráulica Marítima*", a modo de contestación preliminar enumeraremos diversos problemas relacionados de alguna manera con esta disciplina:

- oleaje
- corrientes en el mar
- arrastre de sedimentos en zonas costeras
- diseño de obras de protección costera y operación portuaria
- solicitudes sobre plataformas marinas
- diseño de estructuras sumergidas (tanques, tuberías, etc.)
- arquitectura naval
- dinámica de cuerpos flotantes (libres o anclados)
- hidrodinámica de lagunas costeras y estuarios
- generación de energía con oleaje y marea
- hidrodinámica de contaminantes en mares, estuarios y grandes lagos
- intrusión salina
- seguimiento y alerta en ciclones tropicales y otras tormentas
- seguimiento y alerta en tsunamis (olas de maremoto)
- predicción de valores extremos del nivel del mar
- planes de protección civil en zonas costeras
- evaluación de riesgos en zonas costeras
- localización y protección de zonas turísticas costeras
- navegación y operación de bahías de abrigo
- operaciones de búsqueda y salvamento.

I.6 CLASIFICACION DE ONDAS SUPERFICIALES MARINAS

Las ondas existentes sobre la superficie del mar ocuparán la mayor parte de nuestros esfuerzos en este trabajo. Por ello es conveniente clasificarlas, en cuanto a su periodo o frecuencia de repetición, antes de iniciar su estudio formal. Para ello nos apoyaremos en la clasificación de Kinsman (1965), pilar en la literatura sobre oleaje. Las ondulaciones en la superficie se caracterizan por dos fuerzas en equilibrio dinámico, la fuerza perturbadora de la condición horizontal original y la fuerza restauradora que tiende a volver a la superficie a dicho estado original. La fig.I.1 representa una interpretación sobre la distribución de energía de dichas ondas en la superficie marina en función de su frecuencia en ciclos por segundo (eje inferior) o alternativamente de su periodo (eje superior). Las ondas con frecuencia menor (o periodos mas largos, y como se verá mas adelante también las más largas) se presentan del lado izquierdo, y las de frecuencias mas altas (periodos y longitudes menores) se presentan del lado derecho. En dicho diagrama se clasifican por su nombre así como por la principal fuerza perturbadora y restauradora. La mayor parte de este trabajo se dedicará al rango mas energético en el diagrama, basicamente las ondas de gravedad, con periodos de 1 a 30 segundos, aunque en la parte final atacaremos algunos conceptos sobre ondas de tormenta con periodos de varias horas.

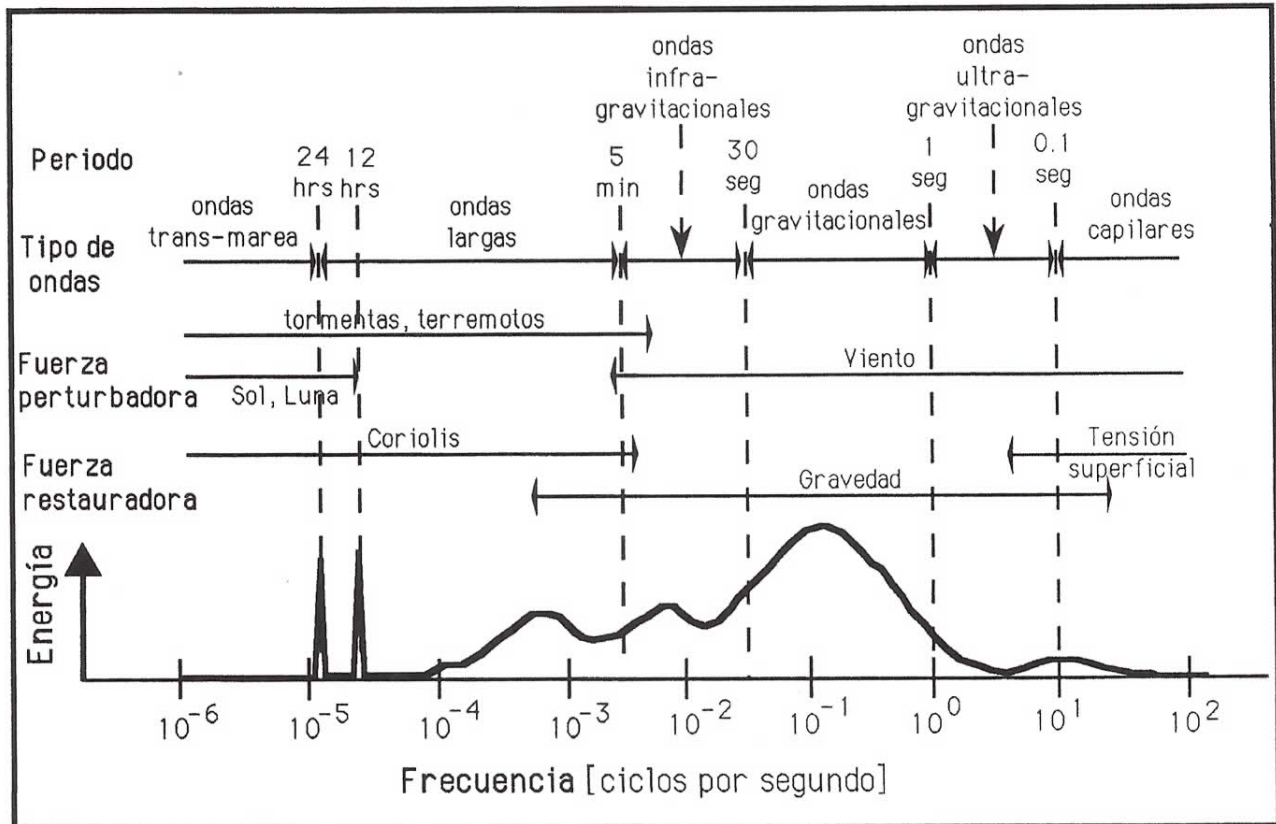


Fig.1-1. Esquema de clasificación de ondas de superficie y su distribución de energía en las diferentes frecuencias (o periodos).
(Fuente: Kinsman, 1965)

Es importante enfatizar que todas las variaciones en la superficie libre pueden clasificarse como ondas, aunque dependiendo del contexto del problema pueden aparecer al observador superficial como el nivel medio de la misma. Por ejemplo, para un observador de olas generadas por viento, las mareas astronómicas con periodos de 12 y 24 horas pueden aparecer como el nivel medio del mar sobre el que corren las olas que observa; sin embargo para un observador de los cambios a largo plazo en el nivel medio del mar (por ejemplo por el efecto invernadero de los contaminantes en la atmósfera) las mismas variaciones por marea astronómica resultarían ondas de extremadamente poca duración.

I.6. NOMECLATURA

En cuanto a nomenclatura a lo largo de este trabajo se hará un esfuerzo por:

- mantener una nomenclatura consistente de capítulo a capítulo y de sección a sección.
- utilizar nomenclatura de uso standard o común a nivel internacional.

Esto producirá 2 inconvenientes:

- la nomenclatura utilizada localmente en un capítulo o sección será en ocasiones más complicada que lo estrictamente necesario en el contexto local, sobre todo en cuanto a adición de subíndices que identifican en forma única a una variable a lo largo de todo el texto.
- no necesariamente la nomenclatura utilizada será intuitiva en idioma español.

A pesar de esto se considera conveniente el implementar estos 2 puntos puesto que las ventajas a largo plazo, superan a la inconveniencia temporal de manejar dicha nomenclatura.

Durante los desarrollos matemáticos nos encontraremos con ecuaciones o expresiones que son simplemente pasos intermedios o aclaratorios. En cambio otras serán el resultado final que se busca o una expresión importante a la que se hará referencia futura. Aunque las expresiones y ecuaciones seguirán una numeración consecutiva (capítulo en números romanos - número consecutivo dentro del capítulo en números arábigos), estas últimas ecuaciones o expresiones fundamentales serán enfatizadas colocando su numeración en tipo **negrito**.