



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO DEL PUERTO DE
MANZANILLO, COL.

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

PRESENTA:

ING. FRANCISCO ROMARIO FRANCO PINEDA

DIRECTOR DE TESINA: M. I. GUSTAVO ALEJANDRO MURILLO BAGUNDO

MÉXICO, D.F.

FEBRERO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Felipe y Ana, las dos personas más trabajadoras, humildes, cariñosas, comprensivas e inteligentes que me dieron los regalos más grandes: la vida y una carrera universitaria.

A mi hermana Maggi Hellary, por brindarme día con día el amor y apoyo que solo una hermana puede dar; por darme sus consejos y escucharme siempre.

A mi hermano mayor Luis Felipe por ser la persona más feliz de la vida, por siempre dar la mejor cara a los problemas y de quién más he aprendido a tratar a los demás.

Al M. I. Alejandro Murillo por su apoyo incondicional, y por brindarme la oportunidad de conocer el ámbito marítimo y portuario de México. Por ayudarme a reafirmar mis mayores pasiones, el agua y el mar.

Al M. I. Óscar Vega Roldán y a CIEPS Consultores, por la oportunidad de crecer como profesional en el campo de la ingeniería hidráulica y que sin su apoyo este trabajo no se hubiera podido concretar.

A mi alma mater la UNAM y a mi apreciada Facultad de Ingeniería por abrirme las puertas a todo lo que necesité para ser un profesional completo; por darme una formación universitaria de calidad y gran valor, y por las grandes personas que ahí conocí.

A mis inseparables y eternos amigos, que después de varios años han pasado a formar parte esencial de mi familia.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	4
OBJETIVOS	5
PROBLEMÁTICA	6
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO PORTUARIO	7
ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS PUERTOS EN MÉXICO	7
SISTEMAS PORTUARIOS	7
COMPONENTES DE UN PUERTO	9
EMBARCACIONES	12
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS BARCOS	13
TIPOS DE EMBARCACIONES	15
PROFUNDIDAD MÍNIMA EN LAS ÁREAS DE AGUA	23
SISTEMA PORTUARIO NACIONAL	25
SISTEMA PORTUARIO NACIONAL ACTUAL	26
PUERTO DE MANZANILLO, COL.	27
CAPÍTULO 2. DRAGADO	35
DRAGADO DE CONSTRUCCIÓN	35
DRAGADO DE MANTENIMIENTO	38
DESCARGA DEL MATERIAL DRAGADO	42
USOS DEL MATERIAL DRAGADO	42
CAPÍTULO 3. CONDICIONES GENERALES DEL SITIO DE PROYECTO Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DRAGADO	44
CONDICIONES FÍSICAS Y OCEANOGRÁFICAS	44
EROSIÓN Y AZOLVE COSTERO	49
CUERPOS DE AGUA CERCANOS	50
SUELO	52
TRANSPORTE LITORAL	53
CARACTERÍSTICAS DE LOS SEDIMENTOS Y MATERIAL ACARREADO DE RÍOS Y OTROS CUERPOS DE AGUA	56
CAPÍTULO 4. EQUIPOS DE DRAGADO Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS	59
SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE DRAGADO	59
CONDICIONES MARÍTIMAS	59
MECANISMOS DE DRAGADO	60
CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE DRAGADO	60



DRAGAS HIDRÁULICAS	60
DRAGAS MECÁNICAS	67
DRAGAS COMBINADAS	72
EQUIPOS AUXILIARES	76
CAPÍTULO 5. ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES	78
ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES Y EVALUACIÓN ECONÓMICA	78
CUANTIFICACIÓN DEL TRANSPORTE LITORAL	79
TRÁNSITO DE MAREAS	82
CAPÍTULO 6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	91
ALTERNATIVA I.	91
ALTERNATIVA II.	92
JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	93
CAPÍTULO 7. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS OBRAS DE DRAGADO	95
IMPACTOS AMBIENTALES	95
OTROS IMPACTOS	99
CAPÍTULO 8. ALTERNATIVAS PARA MITIGAR LOS TRABAJOS DE DRAGADO Y OTRAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN	100
CONCLUSIONES	101
REFERENCIAS	103
ÍNDICE DE FIGURAS	105
ÍNDICE DE TABLAS	107



INTRODUCCIÓN

La privilegiada ubicación geográfica de México posiciona al país de manera estratégica en el contexto mundial, entre los dos océanos más grandes del planeta. La superficie de la zona económica exclusiva del país, incluida la del mar territorial, es más extensa que la superficie continental de México, y constituye un espacio del territorio nacional que debe ser administrado de manera sustentable, para beneficio de la nación.

La extensión de las costas de nuestro país, sin contar las correspondientes a las islas, es de 11,122 km; 7,828 km en el litoral del Pacífico y Golfo de California y 3,294 km en el Golfo de México y Mar Caribe (CONABIO, 2015, pág. 7).

Es por ello, que México posee un enorme potencial para el desarrollo integral de sus costas, considerando la extensión y los recursos existentes en ellas, así como una gran oportunidad económica para el aprovechamiento portuario nacional. Dicho potencial podrá ser aprovechado siempre y cuando se conserven los ecosistemas y condiciones presentes.

Dentro de los trabajos que le son encomendado a los Ingenieros Civiles y en particular, a los especialistas en Hidráulica Marítima, se encuentran las obras de dragado, las cuales se refieren a aquellos que buscan garantizar profundidades suficientes para la navegación segura de las embarcaciones en puertos marítimos, en ríos y en otros cuerpos de agua, para la extracción de materiales o bien, para la preservación de los ecosistemas.

De esta forma, en el puerto de Manzanillo, Col., es necesario efectuar trabajos de dragado cada año, con el fin de mantener la profundidad necesaria en sus áreas de agua y permitir con ello, el tránsito seguro de las diferentes embarcaciones que a él arriban.

En concordancia con el crecimiento económico nacional e internacional, se requiere que México posea una infraestructura marítima suficiente, que permita brindar servicios confiables a las embarcaciones cada vez mayores que arriban a nuestros puertos.



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo aborda los diferentes aspectos relacionados con el equipo, metodología y características de las componentes necesarias para llevar a cabo el dragado de mantenimiento del puerto de Manzanillo, Colima.

En este sentido, el primero de los ocho capítulos que integran este trabajo de grado presenta una breve introducción a la ingeniería marítima, portuaria y costera, así como de los tópicos más representativos en materia de infraestructura portuaria, tales como la definición de los puertos, su clasificación, sus características generales, las instalaciones necesarias, los diferentes tipos de embarcaciones, la carga que transportan, etc. Además, se mostrará la situación actual del puerto de Manzanillo y su participación en el contexto del Sistema Portuario Nacional, destacando los rubros en los que el puerto de Manzanillo ocupa un lugar destacado a nivel nacional y aún internacional.

Enseguida, en el capítulo 2 se describirá que es el dragado y cómo se clasifica, se mencionarán los trabajos de dragado que se han llevado a cabo en el puerto de Manzanillo desde el año 2012, así como el costo que ha sido necesario erogar por este concepto.

En el capítulo 3 se presentarán las condiciones oceanográficas que imperan en la costa central del Pacífico Mexicano, la ubicación general del puerto, el tipo de material de la costa y que es transportado por acción del transporte litoral, los cuerpos de agua cercanos al puerto de Manzanillo y las características del material del fondo. Todo lo anterior, a fin de determinar una propuesta del tipo de draga y la metodología adecuada para poder desarrollar un proyecto de dragado en ese puerto.

Los equipos y metodologías más usuales para realizar trabajos de dragado se describen en el capítulo 4, destacando los diferentes tipos de dragas y los procedimientos de dragado que son recomendados para cada trabajo, con base en las características oceanográficas del sitio, el material a dragar, los volúmenes de dragado, la lejanía y ubicación del sitio de tiro del material, etc.

Posteriormente, en el capítulo 5 se realiza la cuantificación del material a dragar, con base en la hipótesis de que el material sedimentario proviene de dos orígenes: el transportado por el proceso de transporte litoral y por las aportaciones de la Laguna de Las Garzas. Con ello, se realiza la estimación del material sedimentario con la ayuda de dos procedimientos empíricos de cuantificación. El primer procedimiento consiste en la ecuación propuesta por Larrás para determinar el volumen de transporte litoral y el segundo, mediante el análisis histórico del volumen medio de dragado de mantenimiento, registrado en los registros disponibles de los últimos años, los cuales se presentan en el capítulo 2.



La justificación del proyecto se desarrolla en el capítulo 6, en el cual se enuncian los argumentos físicos y económicos que rigen la necesidad de dragado, destacando los beneficios esperados del proyecto.

Por tratarse de trabajos que afectan directamente al fondo del mar, de los ríos o lagos, el dragado puede alterar a los ecosistemas de manera significativa. La remoción de material de un sitio y la disposición en otro se traduce en la modificación de ambos ecosistemas, lo que puede provocar daños irreversibles a especies de flora y fauna, o también, mejoras en los ecosistemas (en el caso de fondos con materiales muy contaminados, retirándolos y disponiendo de ellos en un sitio controlado, permitiendo al fondo afectado, recuperar en gran medida, las buenas condiciones ambientales antes perdidas). Los impactos de tipo negativo se describen en el capítulo 7.

Finalmente, en el capítulo 8, se describen algunas soluciones, propuestas y recomendaciones finales para la correcta ejecución de los trabajos de dragado del caso de estudio, en las cuales se recalca la importancia de este tipo de trabajos.

OBJETIVOS

- I. Identificar los procesos físicos que se presentan debido a la interacción del Puerto de Manzanillo con los cuerpos de agua vecinos (Océano Pacífico y Laguna de Las Garzas), los cuales introducen sedimentos al puerto.
- II. Estimar de forma teórica y práctica, el volumen de sedimentos (fluviales y por transporte litoral), que ingresan al puerto de Manzanillo.
- III. Proponer procedimientos y equipos necesarios para realizar el dragado del Puerto de Manzanillo, así como otras posibles soluciones.



PROBLEMÁTICA

Dado que el puerto de Manzanillo se construyó en una zona donde interactúan diversos procesos naturales durante todo el año, así como de fenómenos meteorológicos extraordinarios, se presentan constantes azolves en el interior del mismo. La mayoría de ellos están relacionados con la conexión que existe con la Laguna de Las Garzas y los arroyos Rancho Viejo y Jalipa.

La Laguna de Las Garzas se alimenta continuamente de agua y sedimentos fluviales, a través de arroyos intermitentes que confluyen a este cuerpo de agua, así como de escurrimientos directos en su zona de influencia.

Esta situación reduce la profundidad de las áreas de agua del puerto y con esto, se originan restricciones al acceso de embarcaciones de gran tamaño, lo que también propicia una reducción significativa en aspectos de seguridad y eficiencia de dichas áreas. Dadas estas condiciones, resulta necesario hacer trabajos de mantenimiento de forma permanente y periódica.

Adicionalmente, el continuo desarrollo y crecimiento del comercio nacional e internacional, ha propiciado que los buques también crezcan, por lo que los puertos se han visto obligados a adaptarse al tamaño de estos, de tal manera que para que los puertos nacionales puedan mantenerse en un nivel competitivo, es necesario garantizar condiciones de navegación óptimas en todo momento, siendo indispensable asegurar que las embarcaciones van a poder navegar en las áreas de agua, de acuerdo con el calado para el que fueron diseñadas estas áreas, para lo cual se requiere la profundidad de dragado necesaria.



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO PORTUARIO

Antecedentes históricos de los puertos en México

Los primeros vestigios de la actividad portuaria en México se ubican en la costa norte de la Península de Yucatán, en un islote de sólo 200 metros de diámetro (Isla Cerritos), en el cual existe evidencia de un puerto maya que operó durante más de mil años, el cual sirvió de base para el comercio marítimo de esa región. Las rutas cubrían ambos lados de la Península de Yucatán y en combinación con medios terrestres de la época (entre 100 a.c. y 1200 d.c.), el intercambio comercial llegaba hasta el centro de México y los Altos de Guatemala (López Gutiérrez, 1999, pág. 19).

El conjunto portuario comprendía un muro de 330 metros de largo y un ancho variable entre 2 y 5 metros, cuya función era proteger una franja de agua de alrededor de 80 metros de ancho. Al borde de la isla estaban dispuestos muros de contención que servían como atracaderos y se contaba con construcciones temporales que pudieron servir como alojamiento comunal para quienes estaban de paso, o como bodegas para productos en tránsito (López Gutiérrez, 1999, pág. 19).

Sistemas portuarios

Un sistema portuario es un conjunto de elementos interrelacionados, cada uno con una o varias funciones, cuyos objetivos son participar en el desarrollo y aprovechamiento del litoral de una región o de un país; apoyar a la industria; o servir como vínculo entre los transportes marítimos y terrestres (López Gutiérrez, 1999, pág. 81).

Nos referiremos concretamente a estos sistemas portuarios como, Puertos.

Por otra parte, de acuerdo con la definición que establece el Manual de Dimensionamiento Portuario de la SCT, un puerto es:

El lugar de la costa o ribera habilitado como tal por el Ejecutivo Federal para la recepción, abrigo y atención de embarcaciones, compuesto por el recinto portuario y, en su caso, por la zona de desarrollo, así como por accesos y áreas de uso común para la navegación interna y afectas a su funcionamiento; con servicios, terminales e instalaciones, públicos y particulares, para la transferencia de bienes y transbordo de personas entre los modos de transporte que enlaza (Puertos Mexicanos, Programa Nacional de Desarrollo Portuario, 2018, pág. 2.1).

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, por sus siglas en inglés, *United Nations Conference on Trade and Development*) establece la clasificación de los puertos según las características de sus mercados:



1. Puertos de primera generación
2. Puertos de segunda generación, y
3. Puertos de tercera generación

Los puertos de primera generación son aquellos que ofrecen servicio al comercio de una región o un país. Esencialmente cumplen la función de enlace entre los modos de transporte terrestre y marítimo, pero sin que medie una presión de tiempo, continuidad y eficiencia para que se produzca tal enlace. En general, este tipo de puerto se establece como respuesta a la necesidad de exportación e importación de productos asociados a proyectos de tipo regional (López Gutiérrez, 1999, pág. 78).

Los puertos de segunda generación, también denominados puertos industriales, constituyen la manifestación más clara de inicio del proceso de globalización del comercio mundial. Su función principal es ofrecer servicios a las industrias, desde las básicas hasta las de transformación, propiciando el establecimiento de cadenas productivas (López Gutiérrez, 1999, pág. 80).

Los puertos de tercera generación son llamados también puertos logísticos, ya que siguen los principios de la logística internacional referidos a la rapidez, frecuencia, oportunidad y bajo costo con el que se manejan mercancías en flujos internacionales de comercio. La importancia de estos puertos está asociada con la ubicación estratégica respecto de las corrientes en procesos de concentración de volúmenes importantes de productos, lo cual los convierte en lo que se ha dado en llamar puertos controladores. Respecto a su desarrollo, el puerto actúa como empresa realizando inversiones respaldadas por el gobierno local, esto con el propósito de atraer organizaciones comerciales que realizan servicios logísticos multimodales, principalmente líneas navieras, que en asociación con el puerto o por sí mismas construyen y operan terminales especializadas en el manejo de contenedores y, además, ofrecen el transporte en tierra hasta el destino final de la carga (López Gutiérrez, 1999, pág. 81).

Así mismo, la Ley de Puertos establece, que los puertos se clasifican de la siguiente manera:

- › Por su navegación:
 - *De altura*, cuando atiendan embarcaciones, personas y bienes en navegación entre puertos o puntos nacionales e internacionales.
 - *De cabotaje*, cuando solo atiendan embarcaciones, personas y bienes en navegación entre puertos o puntos nacionales.
- › Por sus instalaciones y servicios:
 - *Comerciales*, cuando se dediquen, preponderantemente, al manejo de mercancías o de pasajeros en tráfico marítimo.



- *Industriales*, cuando se dediquen, preponderantemente, al manejo de bienes relacionados con industrias establecidas en la zona del puerto o terminal.
- *Pesqueros*, cuando se dediquen, preponderantemente, al manejo de embarcaciones y productos específicos de la captura y del proceso de la industria pesquera.
- *Turísticos*, cuando se dediquen, preponderantemente, a la actividad de cruceros turísticos y marinas.

Para el caso de las terminales, marinas e instalaciones portuarias, se clasifican de acuerdo con su uso en:

- *Públicas*, cuando exista obligación de ponerlas a disposición de cualquier solicitante
- *Particulares*, cuando el titular las destine para sus propios fines, y a los terceros mediante contrato.

Componentes de un puerto

A grandes rasgos, un puerto se puede dividir en dos secciones; las áreas de agua y las áreas de tierra. El tamaño y ubicación de las áreas de agua responden a la necesidad de comunicación entre los puertos y las embarcaciones que arriban a estos, al mismo tiempo que, las áreas de tierra satisfacen la necesidad de descargar, conservar, y distribuir la valiosa mercancía que dichas embarcaciones transportan.

Ya que la mercancía que arriba a un puerto no es de un solo tipo, el puerto está obligado a ofrecer las condiciones óptimas para el manejo de cada tipo de mercancía que a él llega, por lo que existen o deben de existir zonas específicas para la carga y descarga de un tipo de mercancía.

De acuerdo con el tipo de carga, los puertos pueden estar constituidos por diferentes puestos de atraque:

- › Carga fraccionada o unitizada.
- › Contenedores.
- › Polivalentes (aquellas que pueden recibir casi cualquier tipo de carga, pero no la suficiente para convertirse en un puesto de atraque/terminal especializada).
- › Rodadura (Ro. Ro.).
- › Graneleros (minerales o agrícolas).
- › Fluidos (petróleo y otros productos petroquímicos, aceites, etc.)



Generalmente, las partes que integran a un puerto son las siguientes:

Áreas de Agua	• Accesos al puerto	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Bocana ✦ Canal de navegación ✦ Fondeadero y Antepuerto ✦ Obras exteriores
	• Áreas de maniobra	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Canales secundarios ✦ Dársena de ciaboga ✦ Dársena de maniobra
	• Áreas de servicios	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Dársena de servicio ✦ Varios
Áreas de Tierra	• Muelles y Atracaderos	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Diversos tipos
	• Zonas de transferencia	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Carga y descarga ✦ Maniobras
	• Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Bodegas ✦ Patios ✦ Otros
	• Accesos terrestres	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Vialidades ✦ Vías, espuelas y patios de F.F.C.C. ✦ Estacionamientos ✦ Controles
	• Reparación y control	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Patios ✦ Talleres de reparación y mant. ✦ Bodegas de maquinaria y equipo
	• Servicios portuarios generales y especiales	<ul style="list-style-type: none"> ✦ Abastecimiento y avituallamiento ✦ Médicos y sanitarios ✦ Contraincendios, desechos y plantas de tratamiento ✦ Laborales y comerciales ✦ Autoridades y pilotaje



En la figura 1.1, se muestra un esquema general de un puerto, en el que se pueden observar las partes que lo integran, así como un ordenamiento y acomodo que permite el aprovechamiento de los espacios del mismo.

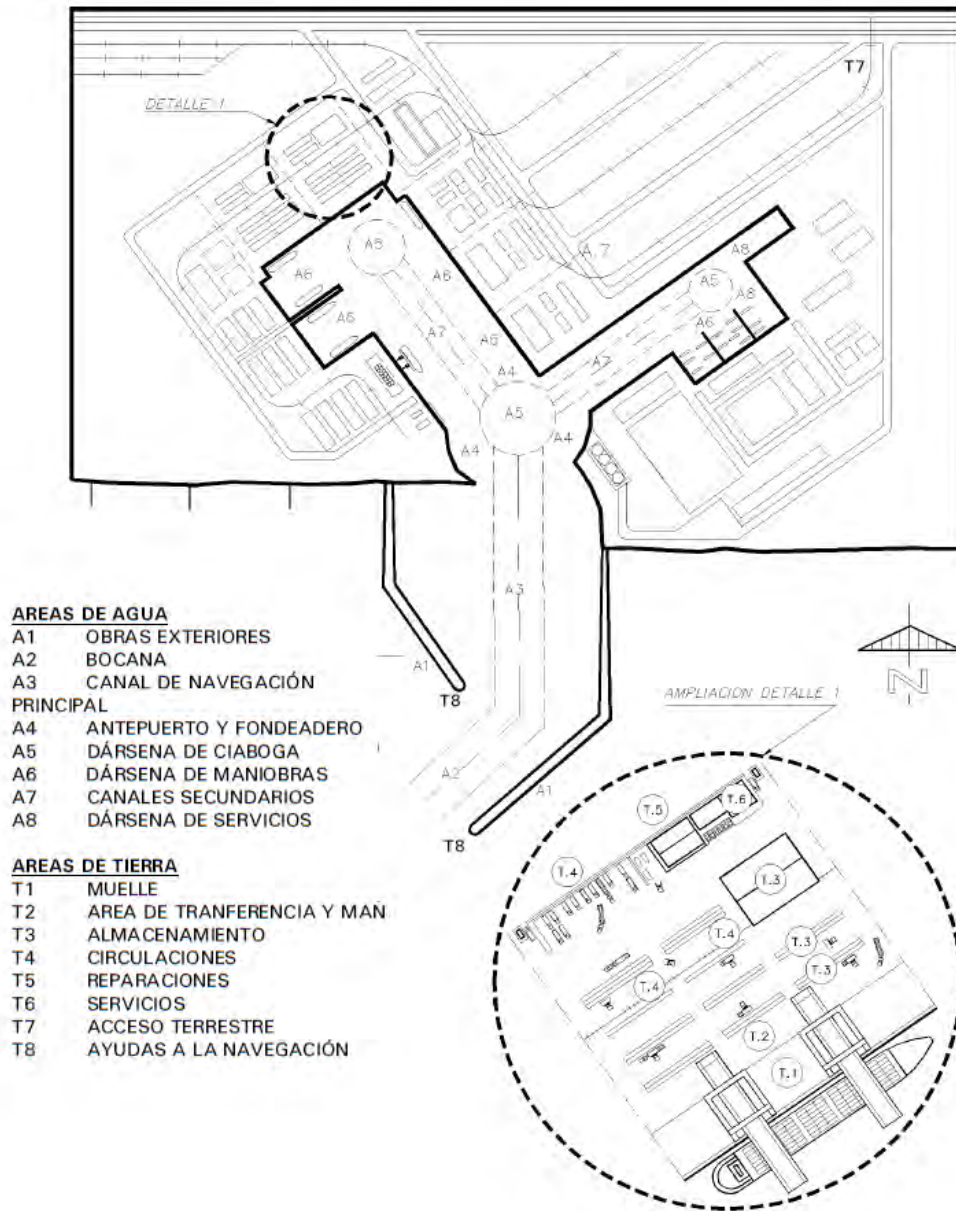


Figura 1. 1. Elementos generales de un puerto.
Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.

Embarcaciones

El barco constituye uno de los elementos más importantes de análisis en un sistema portuario. Sus dimensiones, su capacidad y su costo hacen que la planeación, el diseño, operación y mantenimiento de un puerto giren en buena medida alrededor de ellos (López Gutiérrez, 1999, pág. 34).

Los barcos son los vehículos o medios de transporte más utilizados para el transporte marítimo de personas y mercancías, de tal manera que la evolución de éstos se ha visto acrecentada desde los años 50s, reflejándose en diferentes tipos de embarcaciones, cada vez con mayores dimensiones que los anteriores.

De acuerdo con el tipo de servicio que prestan las embarcaciones, se pueden clasificar en:

- › *Mercantes.*
 - Cargueros; carga unitaria y carga general.
 - Portacontenedores.
 - Petroleros.
 - Graneleros (cerehaleros o bulk carrier y mineraleros u ore carrier).
 - Transbordo por rodadura (Ro-Ro).
 - Transbordo por flotación (Lash y Seabee).
 - Otros (LPG, Polivalentes, Perecederos, etc).

- › *Pasajeros (Turísticos).*
 - Cruceros.
 - Trasatlánticos.
 - Transbordadores.
 - Deportivos (de vela o motor).

- › *Pesqueros.*
 - Barcos pesqueros para pesca ribereña o para pesca de altamar.

- › *Especiales, Vigilancia, etc.*

La importancia de conocer las dimensiones y las características de las embarcaciones radica en la definición del diseño de las áreas de agua y de tierra de los puertos, así como para la operación y mantenimiento de estos.



Características físicas de los barcos

En un barco se distinguen físicamente dos partes fundamentales: el casco y la superestructura. El casco forma el cuerpo principal, en el cual una parte se halla sumergida (obra viva) y otra que sobresale de la línea de flotación (obra muerta). A su vez, la superestructura contiene la zona de alojamiento de la tripulación y los elementos de gobierno del barco (López Gutiérrez, 1999, pág. 39).

En general, el barco está integrado por los siguientes componentes:

- › *Proa*: parte delantera del barco.
- › *Popa*: parte trasera del barco.
- › *Babor*: banda izquierda.
- › *Estribor*: banda derecha.
- › *Amuras* (de babor o estribor): son las partes curvas del barco que unen las bandas con la proa.
- › *Aletas* (de babor o estribor): son las partes curvas del barco que unen las bandas con la popa.
- › *Quilla*: constituye la columna vertebral del barco porque es el soporte de toda la estructura. Es la parte más baja con la que corta el agua; comienza en la proa y termina a su vez en la popa. En los extremos de la quilla están: la *roda*, que forma la proa del barco, y el *codaste*, que forma la popa.
- › *Cuadernas*: son el conjunto de costillas que forman el esqueleto del buque, localizándose perpendiculares a la quilla, y sobre éstas se aplicaran los foros que constituyen el casco.
- › *Casco*: es el cuerpo del barco sin máquinas, arboladuras y pertrechas, es decir, el cascaron acabado de construir.
- › *Bulbo*: se localiza en algunos barcos en la proa, al pie de la roda; es de forma hidrodinámica para permitirle al barco alcanzar mayores velocidades con la misma potencia de máquinas.
- › *Cubiertas*: son los diferentes planos de construcción que cierran los espacios del buque formando niveles, que en los barcos mercantes hacen la función de bodegas. Las cubiertas se apoyan en los *baos*, piezas horizontales que junto con las cuadernas forman los marcos. La cubierta más baja del buque recibe el nombre de *sollado*.
- › *Escotillas*: son las aberturas en las cubiertas por las cuales se introduce o se saca la carga del buque. Hay barcos que poseen además aberturas laterales (portón lateral), por donde puede sacarse la carga en forma continua por medio de bandas transportadoras o con rampas, como es el caso de algunos buques especializados para transportar vehículos.
- › *Puente*: es la estructura más elevada del barco.



- › *Bodegas*: son los compartimentos del buque destinados al almacenamiento de las mercancías.

Como se ha mencionado, las dimensiones de las embarcaciones son un factor importante en el tránsito marítimo y en el diseño y dimensionamiento de las vías de acceso, áreas de agua, puntos de atraque y de los recintos interiores de los puertos, donde dichas embarcaciones transitarán, permanecerán, cargarán y descargarán las mercancías que transportan.

Las principales dimensiones lineales y de capacidad de las embarcaciones que definen las características geométricas de las áreas de agua de un puerto son las siguientes:

Las dimensiones lineales de una embarcación son:

- › *Eslora (E)*: es la longitud medida de proa a popa.
- › *Puntal*: es la distancia total del barco, y se mide en el centro de la eslora, donde se encuentra la cuaderna maestra, desde la cara superior de la quilla hasta la cubierta principal.
- › *Calado*: es la distancia vertical medida entre la línea de flotación y el borde inferior de la quilla. Generalmente el calado de la proa y de la popa son distintos, sin embargo, en la práctica se considera como calado de la embarcación al calado de la popa. Existen diversos tipos de calado, de acuerdo con la condición de carga en la cual se encuentre la embarcación, estos calados son: *calado máximo*, cuando el barco se encuentra totalmente cargado (a su máxima capacidad); en *lastre*, cuando el barco está listo para navegar, pero sin carga en sus bodegas; en *rosca*, cuando el barco está totalmente vacío y es el derivado de su peso propio, incluyendo máquinas y demás elementos constituyentes. Usualmente, cuando se habla del calado del barco es el calado máximo.
- › *Manga (M)*: es el ancho de las embarcaciones y se mide de babor a estribor en la parte más ancha, medida que se efectúa donde se encuentra la cuaderna maestra. Generalmente, la relación de la eslora con la manga es: $E/M \approx 7$ a 8 veces.

Para fines de este trabajo, se resaltaré la importancia del calado en los trabajos de dragado, pues para mantener las condiciones óptimas de operatividad en el puerto, se debe de tener una profundidad mínima en las diferentes áreas de agua, que permita que la embarcación con mayor calado pueda transitar por ellas (calado oficial), de manera segura y sin que se produzcan daños de las embarcaciones por rozamiento con el fondo marino, evitando asimismo el posible encallamiento de los buques.

En la figura 1.2, se muestran las partes de las embarcaciones mencionadas anteriormente.



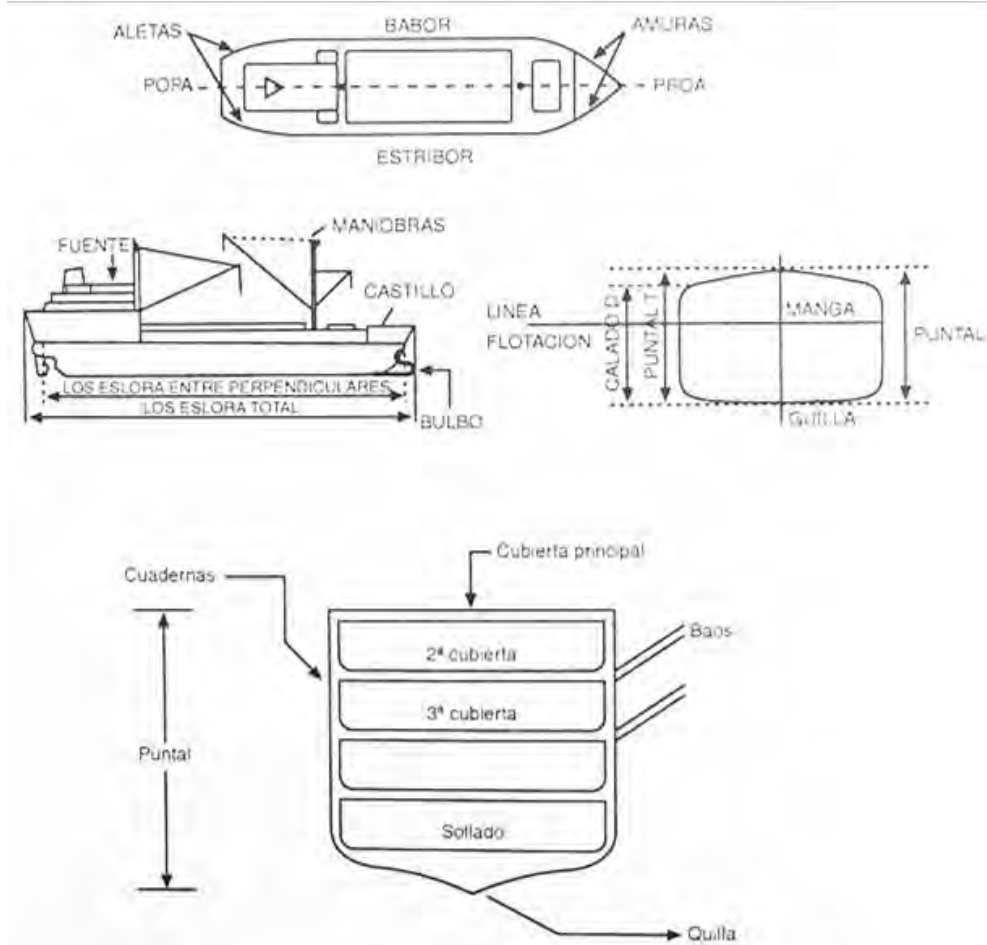


Figura 1. 2. Partes principales y dimensiones de un barco.
Fuente: Operación, Administración y Planeación Portuarias, 1999.

Tipos de embarcaciones

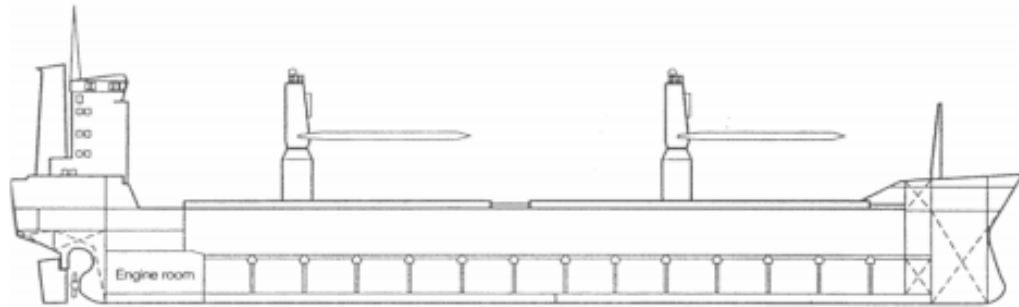
Como se mencionó con anterioridad, existe un gran número de embarcaciones con dimensiones y características distintas, a fin de satisfacer las necesidades para las cuales fueron diseñadas, dentro de las cuales destacan:

- › Buques de carga general.

Este tipo de embarcaciones está constituido por una bahía de carga que puede adaptarse de diferentes maneras para el transporte de carga seca, sin embargo, también cuenta con compartimientos en los que se pueden adaptar contenedores líquidos y refrigerados. Se utiliza en muchos casos para transportar mercancías de grandes dimensiones y de gran peso. La carga del buque se realiza pieza por pieza.



En las figuras 1.3. y 1.4, se muestra la configuración general de los buques de carga general.



*Figura 1. 3. Configuración general de un buque de carga general.
Fuente: BSL. Operador Logístico. Tipo de buques.*



*Figura 1. 4. Buque de carga general.
Fuente: BSL. Operador Logístico. Tipo de buques.*

› Buques portacontenedores.

Su diseño es de una sola cubierta y una bahía de carga, cuenta con la característica de poder hacer adaptaciones de celdas para el acomodo de contenedores. Puede configurarse para transportar carga seca, carga refrigerada y carga líquida.

Este tipo de barcos pertenece a una de las familias de buques de mayor tamaño. Los mayores alcanzan los 350 m de eslora teniendo una capacidad para casi 9,000 contenedores, aunque aún no se ha detenido su crecimiento, pues existen estudios de portacontenedores de hasta 18,000 contenedores. Las compañías más grandes que cuentan con este tipo de embarcaciones son Maersk Line, Evergreen, P&O y Sea-Land, entre otras.

Años antes de 1985, la flota de buques portacontenedores eran del tipo “Panamax” los cuales cumplían con las dimensiones máximas para cruzar por el canal de Panamá, Después de dicho año, surgieron los buques “Post-Panamax”, que actualmente representan cerca del 35% de la flota mundial de los buques portacontenedores. Sin embargo, actualmente existen buques denominados Neopanamax o Nuevo Panamá (más grandes que los anteriores), los cuales ya pueden transitar por el canal de Panamá gracias a la ampliación de sus esclusas, efectuada en el año 2015. En los dos últimos años, se han fabricado portacontenedores aún más grandes, alcanzando una capacidad de 20 mil TEUS y 400 m de eslora, con una tendencia creciente.

En la figura 1.5, se muestra la configuración general de los buques portacontenedores; del mismo modo en la figura 1.6, se muestra un buque portacontenedor de la compañía Maersk Line.

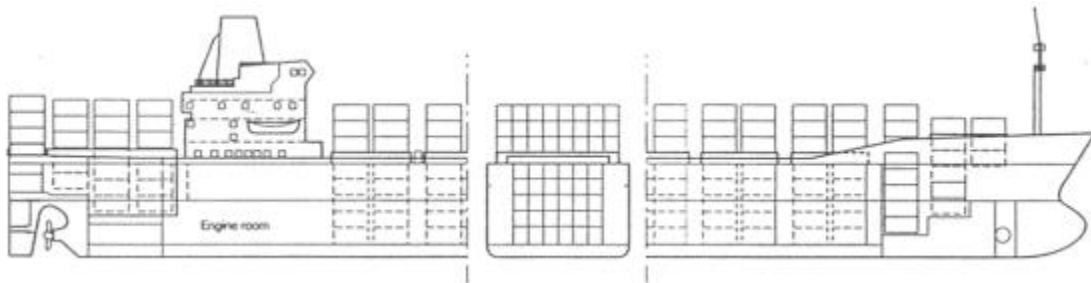


Figura 1. 5. Configuración general de un buque portacontenedores.
Fuente: BSL. Operador Logístico. Tipo de buques.



Figura 1. 6. Buque portacontenedores.
Fuente: Transporting, Tipos de Buques.

› Buques graneleros, *Bulk Carrier*.

El diseño de estas embarcaciones es de una bahía de carga, misma que está habilitada para cargar materiales en bruto; cuenta con grúas laterales que facilitan la carga y descarga por medio del mismo barco. Adicionalmente, cuenta con compartimentos separados para diferentes tipos de materiales. Puede configurarse para el transporte de maderas, metales y otros tipos de materiales.

Existen buques diseñados para el transporte combinado de graneles sólidos y líquidos, lo que permite aprovechar los viajes realizados. Algunos de estos buques son los OO (oreoil) y los OBO (ore, bulk, oil). Además, los barcos graneleros que transportan cereales se diferencian de los graneles minerales por su estructura, ya que los minerales son más pesados que los cereales.

› Buques petroleros (Crude oil Carriers)

Un buque petrolero se define como un buque cisterna de construcción especial, destinado al transporte de las diversas clases de combustibles líquidos (Rodríguez Vidal, 2003).

Los buques petroleros han crecido en tamaño considerablemente para hacerlos más rentables, y que cuanto mayor es un buque, menor es el costo de construcción por tonelada de peso muerto y se disminuyen los costos de explotación, por lo que se puede decir que cuesta menos y tiene menor gasto de combustible y mantenimiento que dos de menor capacidad, volviéndolo más rentable.

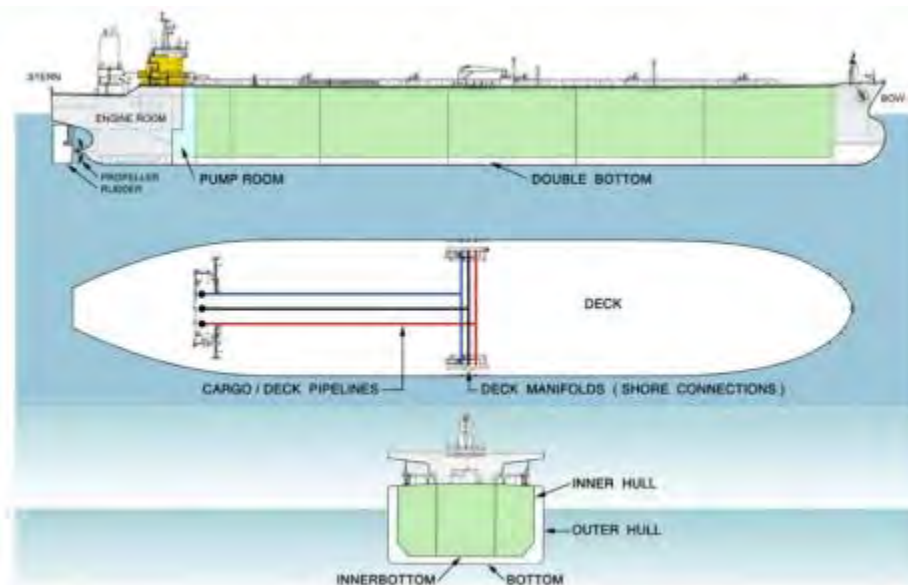


Figura 1. 7. Configuración general de un buque petrolero.
Fuente: BSL. Operador Logístico. Tipo de buques.



*Figura 1. 8. Buque petrolero.
Fuente: Revista Naval. Los buques petroleros.*

› Transbordadores.

Un transbordador es una embarcación que conecta dos puntos terrestres (generalmente a distancias cortas), llevando mercancías varias. Son el medio de transporte público en mares, lagunas, esteros y fiordos de ciudades cercanas a estos cuerpos de agua.

Dentro de los transbordadores, se encuentran los Seabee, Lash y Ro. Ro. (Roll On / Roll Off Cargo). Los Ro. Ro., transportan únicamente mercancías con ruedas que son cargadas y descargadas mediante vehículos tractores en varias cubiertas comunicadas mediante rampas o ascensores; a diferencia de otros transbordadores, este tipo de embarcaciones se utilizan para viajes internacionales de larga duración. Este tipo de embarcaciones (RoRo), son los más utilizados en nuestro país, para el traslado de automóviles nuevos y otros vehículos sobre ruedas, hacia los centros de consumo.

En México se han utilizado transbordadores para comunicar la península de Baja California con el resto del país, así como algunas zonas de la Península de Yucatán con sus mayores islas y sitios de acceso terrestre más complicado.





Figura 1. 9. Transbordador Ro. Ro.
Fuente: BSL. Operador Logístico. Tipo de buques.



Figura 1. 10. Transbordador de pasajeros.
Fuente: Transbordadores del Caribe

› Cruceros.

Dentro de las embarcaciones turísticas destacan los cruceros, los botes deportivos y los de recreación. Los cruceros son barcos con recorridos y duraciones de viaje específicos; este tipo de embarcaciones ofrecen a los usuarios la oportunidad de dar cortos paseos en los puntos de escala programados.



Existen embarcaciones que pueden alojar hasta 3,500 pasajeros, los cuales se encuentran en camarotes. Dentro de sus instalaciones, existen diversas atracciones y áreas de recreación para todo el público en general, haciendo de estos viajes los más atractivos. Al sumar la extensa tripulación de que disponen para ofrecer los servicios a los pasajeros y conducir a la embarcación, pueden fácilmente llegar a 5,000 personas a bordo.



Figura 1. 11. Crucero.

Fuente: Fotografía. Terminal de Cruceros Cozumel, QR.

› Otras embarcaciones.



Figura 1. 12. Buque gasero

Fuente: Transporting, Tipos de Buques.





Figura 1. 13. Velero.

Fuente: Transporting, Tipos de Buques.



Figura 1. 14. Remolcador

Fuente: SAAM. Remolcadores.



Figura 1. 15. Buque pesquero
Fuente: SAAM. Remolcadores.

Profundidad mínima en las áreas de agua

Con base en el Manual de Dimensionamiento Portuario de la SCT, el requisito básico para garantizar la seguridad de navegación en una vía marítima o fluvial es la profundidad mínima, misma que deberá determinarse antes de las demás dimensiones, ya que también será determinante en el diseño de las dársenas y canales interiores del puerto.

Como plano de referencia para medir la profundidad en nuestro país, debe tomarse el nivel de Bajamar Medio Inferior en las costas del Océano Pacífico, en donde predominan las mareas semidiurnas; y el nivel de Bajamar Medio en el Golfo de México y Mar Caribe, dominado por las mareas diurnas.

Para establecer la profundidad requerida en las distintas áreas de agua del puerto, se deben de tomar en cuenta varios factores:

- › El calado del buque a plena carga, cuyo valor se deberá de incrementar un 3% por densidad en el caso de agua dulce.



- › El oleaje de operación considerando la marea a lo largo del canal, cuyo límite en general se considera de $H = 1.0$ m.
- › La relación tirante de agua/calado de buque, cuyos valores para garantizar el margen requerido de Squat (sobrehundimiento del barco), fluctúan como sigue: 1.10 como mínimo en aguas protegidas, 1.3 con oleajes menores a 1.0 m y 1.5 para oleajes mayores combinados con períodos en dirección desfavorable. Por lo general el Squat varía de 0.5 a 1.0 m para barcos de 40,000 a 250,000 T.P.M. (Toneladas de Peso Muerto).
- › El Trim o diferencia de calados entre la proa y la popa del barco, por efecto de la carga.
- › El resguardo bajo la quilla del barco para permitir su gobernabilidad.
- › Los depósitos de sedimentos y la precisión tanto de las mediciones realizadas en los sondeos como de la ejecución de los trabajos de dragado.

Todas estas dimensiones, pueden optimizarse considerablemente, mediante la utilización de modelos de simulación en tiempo acelerado.

En la figura 1.16, se muestran los factores a considerar en el cálculo de la profundidad; tanto para el canal de acceso como para cualquier área de agua del puerto, donde las diferencias en dimensión dependerán de la magnitud de estos en cada caso. El tirante mínimo de agua debajo de un buque atracado tiene un valor base de: trim (30 cm) + resguardo (50 cm) + precisión del sondeo (10 cm) = 0.90 m.

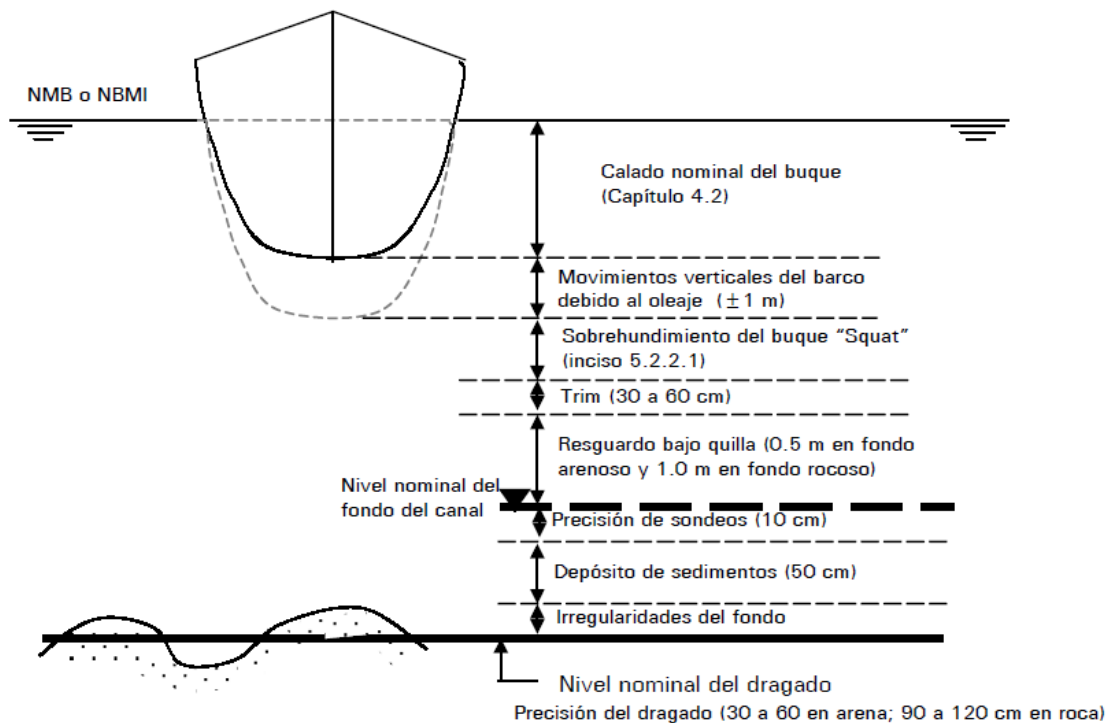


Figura 1. 16. Factores para determinar la profundidad.

Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.

Sistema Portuario Nacional

Antecedentes históricos

La actividad portuaria en México se remonta a la llegada de los conquistadores, aunque las crónicas señalan, que los aztecas ya conocían el uso de la canoa, el remo y la vela para el transporte de personas y mercancías entre puertos ribereños, sin embargo, fue hasta la llegada de dichos conquistadores, donde se da inicio a la actividad marítima nacional. Ya en la época colonial, para la salida de minerales valiosos, fue necesario fundar los primeros puertos del país: Veracruz y Campeche en el Golfo y años después, Acapulco, San Blas y Salina Cruz, en el Pacífico (SCT, 2018).

Ya en épocas recientes, en el año de 1970 se creó la Comisión Nacional Coordinadora de Puertos, integrada de manera tripartita. Gobierno, Trabajadores Portuarios y Usuarios. Del mismo modo, en el año de 1971 se crea la empresa de Servicios Portuarios de Manzanillo S.A. de C.V. (SEPORMAN).

A partir de 1989 se creó el órgano desconcentrado Puertos Mexicanos, que tenía entre sus objetivos principales: Planear, Programar y Ejecutar acciones para el desarrollo portuario nacional; proponer la delimitación de los recintos portuarios; construir, ampliar y conservar las obras marítimas portuarias; determinar las especificaciones técnicas del equipo marítimo y portuario; promover y contribuir al equipamiento de los puertos (SCT, 2018).

Puertos Mexicanos se convierte, por primera vez en la historia moderna de los puertos, en un órgano capaz de contar de manera independiente, con los recursos que se generaban en los mismos, ya que es quien recaudó los derechos por uso de la infraestructura portuaria (puerto, atraque, muellaje y almacenaje) y a su vez agrupó a varias dependencias que tenían relación con los puertos, facilitando así, los trámites que tenían que cumplir los usuarios de los puertos. Las acciones emprendidas por Puertos Mexicanos dieron pie a la nueva reestructuración de los puertos en nuestro país, la cual se inició en junio de 1993, a raíz de la promulgación de la nueva Ley de Puertos (SCT, 2018).

En marzo de 1994, entra en proceso de extinción Puertos Mexicanos, creándose la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, quien a su vez inició el proceso de liquidación de las empresas de Servicios Portuarios, entre ellas la de Manzanillo. El mismo año, se constituyeron las primeras 21 Administraciones Portuarias Integrales, una de ellas Manzanillo.

A partir de que entraron en función las Administraciones Portuarias Integrales, la mayoría de los puertos de nuestro país (los principales), se vuelven autosuficientes, ya que los recursos que generan se quedan en cada uno de dichos puertos, convirtiéndose los derechos de puerto, atraque, muellaje y almacenaje, en tarifas por uso de infraestructura. Por lo tanto, dejan de ser subsidiados esos puertos, volviéndose más productivos y competitivos (SCT, 2018).



La Administración Portuaria Integral de Manzanillo, S.A. de C.V. (API Manzanillo), es una entidad del Gobierno Federal, constituida en diciembre de 1993 e iniciando sus operaciones en el año de 1994. Cuenta con un título de concesión de 20 años que fue renovado y que le otorgó la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con el propósito de administrar, promocionar, construir, desarrollar y mantener la infraestructura del recinto portuario de Manzanillo.

Al igual que en varios puertos del país, la API Manzanillo, inició un proceso de privatización de terminales, instalaciones y de prestación de servicios, a partir de 1995, en donde fueron cedidas por primera vez a inversionistas privados, la Terminal Especializada de Contenedores (TEC), la Instalación de usos Múltiples No. 1 y 2 (IUM1 e IUM2) y el Servicio de Remolque, entre otros. Actualmente la API Manzanillo ha privatizado una gran cantidad de los servicios que actualmente se prestan dentro del recinto portuario.

Sistema Portuario Nacional Actual

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), el Sistema Portuario Nacional se compone por Administraciones Portuarias Integrales Federales (16), Administraciones Portuarias Integrales Estatales (5), Administraciones Portuarias Integrales FONATUR (2) y Administraciones Portuarias Integrales Privadas (1), las cuales tienen a su cargo los puertos que se mencionan a continuación:

Administraciones Portuarias Integrales Federales:

- Altamira
- Coatzacoalcos
- Dos Bocas
- Ensenada
- Guaymas
- Lázaro Cárdenas
- Manzanillo
- Mazatlán
- Progreso
- Puerto Madero
- Puerto Vallarta
- Salina Cruz
- Tampico
- Topolobampo
- Tuxpan
- Veracruz

Administraciones Portuarias Integrales Estatales:

- Baja California Sur
- Campeche
- Quintana Roo
- Tabasco
- Tamaulipas

Administraciones Portuarias Integrales FONATUR:

- Cabo San Lucas
- Huatulco

Administraciones Portuarias Integrales Privadas:

- Acapulco



De manera ilustrativa se muestra la siguiente figura, en donde se presentan los puertos que conforman el Sistema Portuario Nacional.



Figura 1. 17. Mapa del Sistema Portuario Nacional.
Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Puerto de Manzanillo, Col.

Identificado como el tercer puerto del Pacífico creado por los españoles en la época de la Colonia, Manzanillo acoge hechos antiguos y de gran trascendencia para la historia marítima de México. En la época colonial, Manzanillo se erigió como un importante centro naval, fue punto de partida de numerosas expediciones marítimas por el Océano Pacífico y en él atracaba la Nao de China, procedente de Filipinas, con su valiosa carga de productos orientales (Puertos de México, 2012).

A pesar de ser uno de los estados más pequeños de la república mexicana, el estado de Colima alberga a uno de los puertos más importantes, el Puerto de Manzanillo, el cual se ubica sobre la costa central del Pacífico Mexicano. De acuerdo con la SCT, sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 19°03.45 y Longitud Oeste 104°18.08.



Manzanillo cuenta con una extensión de 437 hectáreas; 14 de ellas se utilizan para el almacenamiento de la carga que arriba al puerto, zonas de agua, muelles, etc.



Figura 1. 18. Ubicación del puerto de Manzanillo, Col.
Fuente: Mapa digital, INEGI.

Desde la construcción del puerto de Manzanillo, a partir de 1995 Manzanillo devino en la entrada principal para el manejo de mercancías en el Comercio Internacional de las Zonas Centro y Bajío de la República Mexicana, la cual aporta el 67% del PIB del país y cuenta con cerca del 55% de la población nacional.

Entre los diferentes tipos de carga, el movimiento de contenedores en el puerto es muy significativo, captando cerca del 68% de participación en el Pacífico Mexicano y el 46% a nivel nacional, lo cual lo convierte en el principal puerto de nuestro país en este rubro.

Los estados que son beneficiados por el puerto de manera directa son: Aguascalientes, Coahuila, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Zacatecas y desde luego el propio estado de Colima.

El Puerto de Manzanillo (...) es el principal vínculo entre el Océano Pacífico y el corredor industrial y comercial del país. Ahí operan empresas tales como Peña Colorada y embarcaciones que capturan procesan y distribuyen productos de atún y otros productos marinos (Suarez, 2017).

En particular, las terminales de contenedores del puerto poseen una capacidad de carga y descarga de hasta 45 contenedores por hora y por grúa, alcanzando niveles competitivos a escala internacional.



Actualmente, Manzanillo cuenta con 21 posiciones de atraque, destinadas para fines comerciales (16), cruceros (2) e hidrocarburos (3), un canal de acceso con un ancho de plantilla de 150 metros y una longitud aproximada de 600 metros, una dársena sur de 600 metros de diámetro, una dársena norte de 575 metros de diámetro y un calado oficial de 16 metros bajo el nivel de bajamar medio inferior (NBMI) en todas las zonas mencionadas anteriormente. Asimismo, cuenta con una zona para embarcaciones pesqueras, ligada a industrias de procesamiento de este tipo de productos.

Instalaciones disponibles en el puerto de Manzanillo:

- 2 terminales especializadas de contenedores (TEC1 y TEC2), con grúas súper Post-Panamax.
- 2 instalaciones especializadas en el manejo de minerales, con capacidad de descarga de 2 mil toneladas por hora.
- 2 frigoríficos para consolidación, desconsolidación, transferencia, inspección, fumigación, inspección fitosanitaria, refrigeración y congelación.
- Capacidad para recibir 2 cruceros de hasta 300 m de eslora en el muelle turístico ubicado en el centro histórico.
- 2 instalaciones de usos múltiples (IUM1 y IUM2).
- Aduana equipada con Sistema de revisión no intrusiva de rayos gamma, con instalaciones en 2 zonas del puerto.

Terminales

- › SSA México S.A. de C.V. Stevedores Service of America.
- › Contecon Manzanillo, S.A. de C.V.
- › Operadora de la Cuenca del Pacífico S.A. de C.V.
- › Terminal Internacional de Manzanillo S.A. de C.V.
- › Cemex de México S.A. de C.V.
- › Cementos Apasco S.A. de C.V.
- › Frigorífico de Manzanillo S.A. de C.V.
- › Corporación Multimodal S.A. de C.V.
- › Comercializadora La Junta S.A. de C.V.
- › Granelera Manzanillo S.A. de C.V.
- › Exploración de Yeso S.A. de C.V.
- › Marfrigo S.A. de C.V.
- › PEMEX Refinación.
- › Terminal de cruceros turísticos.



MAPA DEL PUERTO DE MANZANILLO

Map Of Port Of Manzanillo 港口地图

	TERMINAL DE CRUCEROS Cruise Ship Terminal 邮轮码头	1		EXPLORACIÓN DE YESO, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	12
	PEMEX Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	2		MAR FRÍGO, S.A. DE C.V. Instalación Portuaria Port Facility 港口设施	13
	OPERADORA DE LA CUENCA DEL PACÍFICO, S.A. DE C.V. Instalación de Usos Múltiples (IUM) Multiple Purpose Facility (MUM) 多用途设施 (MUM)	3		TERMINAL MARÍTIMA HAZESA S.A. DE C.V. Instalación Portuaria Port Facility 港口设施	14
	CEMEX MÉXICO, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	4		CONTECON MANZANILLO, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	15
	CEMENTOS APASCO, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	5		PATIO N° 3 Administrador Portuario Port Authority 港口管理单位	16
	FRIGORÍFICO DE MANZANILLO, S.A. DE C.V. Instalación Portuaria Port Facility 港口设施	6		PATIO DE MANIOBRAS BANDA "B" Maneuver Yard 分派站货物处理场	17
	CORPORACIÓN MULTIMODAL, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	7		PATIO DE MANIOBRAS BANDA "C" Maneuver Yard 分派站货物处理场	18
	TERMINAL INTERNACIONAL DE MANZANILLO, S.A. DE C.V. Instalación de Usos Múltiples (IUM) Multiple Purpose Facility (MUM) 多用途设施 (MUM)	8		PATIO POSTERIOR AL MUELLE N° 14 Yard Behind Berth 泊位后处理场区	19
	COMERCIALIZADORA LA JUNTA, S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	9		PATIO POSTERIOR AL MUELLE N° 15 Yard Behind Berth 泊位后处理场区	20
	GRANELERA MANZANILLO S.A. DE C.V. Instalación Portuaria Port Facility 港口设施	10		ADUANA MARÍTIMA Maritime Customs 海关	21
	SSA MÉXICO S.A. DE C.V. Terminal Especializada Specialized Terminal 特殊货物装卸场	11		CENTRAL DE EMERGENCIAS Emergency Center 紧急应变中心	22



Figura 1. 19. Ubicación de las terminales. Mapa del puerto de Manzanillo.
Fuente: Puerto de Manzanillo, Port Handbook 2014-2015.



Al puerto de Manzanillo arriban de manera regular 26 líneas navieras, mismas que propician una adecuada conexión y comunicación con más de 70 destinos en el mundo. De las cuales, entre las más conocidas destacan:

- HAMBURG SÜD
- APL
- YANG MING
- MSC
- MAERSK LINE
- X-PRESS FEEDERS
- CMA CGM
- HMM
- CSAV
- PIL
- HAPAG-LLOYD
- HANJIN SHIPPING
- K “K” LINE
- NYK LINE

Mercancías y tipo de carga

Actualmente el puerto maneja mercancías que van desde productos agrícolas hasta electrodomésticos, siendo los más importantes:

Carga General:	Parafina, fertilizantes, triplay, productos de acero, rollos de papel, autopartes, refacciones, vehículos y ganado.
Granel Agrícola:	Canola, trigo, semilla de nabo, avena y sorgo.
Granel Mineral:	Cemento en cabotaje, fertilizante mineral, urea, concentrado de zinc, azufre, pellet de hierro, yeso y nitrato de potasio.
Carga Contenerizada:	Leche en polvo, productos perecederos, ropa y calzado, productos químicos, electrónicos, electrodomésticos, electrónicos y tequila.

En la tabla 1.1, se presenta la serie histórica de movimientos de buques en el período 2001-2015, por tipo de carga movilizada (obtenida a partir de la Ficha Técnica del Proyecto de “Dragado de Mantenimiento del Puerto de Manzanillo 2017”, UI de la SHCP). En ella, se puede percibir el crecimiento anual en los últimos años, a excepción del año 2009 en el cual se presentaron condiciones económicas difíciles a nivel mundial.



AÑO	GENERAL SUELTA	GENERAL CONTENERIZADA	GRANEL AGRÍCOLA	GRANEL MINERAL	PETRÓLEO Y DERIVADOS	OTROS	SUBTOTAL
2001	266	704	26	128	128	10	1,262
2002	265	823	25	134	9	0	1,256
2003	248	952	16	152	1	0	1,369
2004	273	936	17	150	0	0	1,376
2005	265	1,113	16	164	0	0	1,558
2006	263	1,272	22	178	0	0	1,735
2007	238	1,269	21	163	0	0	1,691
2008	220	1,257	18	169	0	0	1,664
2009	212	1,083	18	165	0	0	1,478
2010	263	1,262	24	168	0	0	1,717
2011	242	1,362	25	192	0	0	1,821
2012	213	1,313	36	197	167	0	1,926
2013	224	1,289	35	209	137	0	1,894
2014	255	1,260	32	182	206	0	1,935
2015	270	1,370	41	149	246	0	2,076

Tabla 1. 1. Historial, movimiento de buques por tipo de carga en el Puerto de Manzanillo (2001-2015).

Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

De la misma manera, en la tabla 1.2, se muestra el historial del volumen por tipo de carga manejada en el puerto, en los años 2010-2015.

AÑO	CARGA GENERAL SUELTA (Ton)	CARGA GENERAL CONTENERIZADA (TEU'S)	GRANEL MINERAL (Ton)	GRANEL AGRÍCOLA (Ton)	PETRÓLEO Y DERIVADOS (Ton)	OTROS FLUIDOS (Ton)
2010	1,500,704	12,017,085	4,731,708	895,313	4,731,708	3,055,284
2011	1,384,709	14,629,003	5,294,315	912,417	5,294,315	3,241,155
2012	1,301,063	16,151,915	5,973,368	1,319,850	5,973,368	2,534,235
2013	1,379,332	16,317,575	6,902,941	1,190,194	6,902,941	1,916,137
2014	1,606,938	18,902,651	5,117,714	1,125,511	5,117,714	2,700,057
2015	1,634,651	18,404,678	5,205,974	1,144,922	5,205,974	2,746,622

Tabla 1. 2. Historial, volumen por tipo de carga en el Puerto de Manzanillo (2010-2015).

Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

Los modernos buques de gran capacidad que transportan decenas de miles de toneladas, siguiendo con una tendencia a escala mundial, requieren de una capacidad considerable de almacenamiento y desalojo. Buques de mayor capacidad hacen necesario garantizar las profundidades de las áreas de agua del puerto, por lo que se requiere dragado de construcción y posteriormente de mantenimiento en las zonas de navegación, de maniobras y de operaciones, así como la construcción de instalaciones mayores en tierra, a efecto de poder proporcionar servicios portuarios cada vez más eficientes.



Debido a que el calado máximo de las embarcaciones que llegan al puerto es el factor primordial para determinar las profundidades que son necesarias, el dragado de mantenimiento es de importancia primordial.

En la tabla 1.3, se muestra el número de embarcaciones que arribaron al puerto en el periodo 2010-2015, clasificadas por su calado, observándose la disminución paulatina pero constante de aquellas de menor calado y el aumento en las de mayores dimensiones.

CALADO	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 - 1.99 metros	0	0	0	0	0	0
2 - 2.99 metros	0	0	1	0	0	0
3 - 3.99 metros	0	0	0	0	0	0
4 - 4.99 metros	0	0	6	2	1	1
5 - 5.99 metros	0	0	21	15	16	22
6 - 6.99 metros	0	7	85	59	48	50
7 - 7.99 metros	0	13	143	115	101	97
8 - 8.99 metros	0	38	299	225	211	235
9 - 9.99 metros	0	303	333	283	330	329
10 - 10.99 metros	0	188	355	314	300	299
11 - 11.99 metros	0	388	305	247	208	291
12 - 12.99 metros	222	464	258	308	282	358
13 - 13.99 metros	0	194	108	245	268	250
14 - 14.99 metros	1310	218	4	75	142	118
15 - 15.99 metros	185	8	8	6	28	25
16 - 16.99 metros	0	0	0	0	0	1
TOTAL	1,717	1,821	1,926	1,894	1,935	2,076

Tabla 1. 3. Historial, número de buques que arribaron al Puerto de Manzanillo por calado (2010-2015).

Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

A fin de que las embarcaciones y las terminales puedan operar en condiciones adecuadas de agitación por oleaje, el puerto cuenta con un conjunto de obras de protección, mediante la reducción o disminución de la altura de las olas por efecto de la difracción.

En la tabla 1.4, se muestran las obras de protección con las que cuenta el puerto y algunas de las características más representativas de las mismas.



NOMBRE	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	LONGITUD (m)	ANCHO DE CORONA (m)	ALTURA CORONA (m)	ESTRUCTURA
Rompeolas	1960	700	7.5	+ 3.00	Roca y concreto simple
Protección marginal terminal de cruceros	2009	340	5.0	+ 2.50	Roca
Escollera norte	1965	300	10.0	+ 3.00	Roca y concreto simple
Escollera sur	1965	100	14.0	+ 3.00	Roca y concreto simple
Protección marginal norte	1965	400	3.0	+ 3.00	Roca
Protección marginal sur	1965	250	3.0	+ 3.00	Roca
Protección marginal Patio 15	2004	160	5.0	+ 2.00	Roca
Dren Interlagunar	2009	724	Plantilla 55.0	Profundidad 55.1	Tablestaca Metálica

Tabla 1. 4. Obras de protección.

Fuente: Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Manzanillo 2012-2017. API Manzanillo, 2017.



CAPÍTULO 2. DRAGADO

El dragado es el retiro, movimiento y/ o excavación de suelos cubiertos o saturados de agua, en donde el producto extraído se compone generalmente por rocas, arenas finas y materia orgánica. Dicha operación se realiza en zonas de maniobrabilidad en puertos y accesos al mismo, para aumentar la sección hidráulica de cauces de ríos y para otro tipo de trabajos en cuerpos de agua diferentes.

Algunos de los objetivos del dragado son conseguir y preservar profundidades, rectificar o mantener la sección de canales y áreas navegables, obtener materiales de buena calidad para rellenos, sanear terrenos inadecuados y eliminar materiales contaminantes o contaminados.

Dragado de construcción

Se realiza para disponer de áreas de agua con mayor profundidad, para el caso de obras de ampliación de áreas de navegación en puertos, su aplicación se sustenta en el constante crecimiento mundial de las embarcaciones comerciales y turísticas, así como en las necesidades de optimizar los embarques del comercio internacional, lo que a su vez demanda nuevas y mejores terminales con la capacidad de recibir embarcaciones de mayor tamaño (COLÍN, 2011).

En lo que se refiere al dragado de construcción en ríos y lagunas, los trabajos pueden tener por objetivo aumentar el área hidráulica en ciertas secciones, lo cual permite facilitar el desfogue de agua, evitando posibles inundaciones ante avenidas extraordinarias y otros fenómenos meteorológicos.

Debido a la creciente demanda en el puerto y la insuficiencia de las áreas de navegación para el arribo de las nuevas embarcaciones, en el año de 2014 se realizó un trabajo de ampliación mediante un proyecto de dragado de construcción, el cual permitió aumentar la profundidad de las áreas navegables. En la tabla 2.1, se muestran los proyectos de dragado de construcción realizados desde el año 2014.

CONTRATO	RUBRO	CONTRATISTA	m ³ DRAGADO DE CONSTRUCCIÓN	MONTO EJERCIDO
API-MAN-OP-12-14	Dragado de construcción en canales de navegación y zonas de atraque, en el puerto interior de San Pedrito, Manzanillo, Colima.	SEMAR	691,213.78	\$ 105,681,990.00
API-MAN-OP-07-16	Dragado de construcción y dragado de mantenimiento en el puerto de Manzanillo.	Mexicana de Dragados, S.A. de C.V.	107,952.76	\$ 77,690,037.00

Tabla 2. 1. Historial, proyectos de dragado de construcción en el Puerto de Manzanillo.

Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.





Figura 2. 1. Croquis de dragado de construcción en el Puerto Interior de San Pedrito, Manzanillo, Col.
Fuente: Estudio técnico. Cartera Pública de Inversión, SHCP, 2017.





Figura 2. 2. Croquis de dragado de construcción en el Puerto Interior de San Pedro, Manzanillo, Col.
Fuente: Estudio técnico. Cartera Pública de Inversión, SHCP, 2017.



En las figuras 2.1 y 2.2, se muestra el plano general del Puerto de Manzanillo, donde se destacan las áreas que se sometieron a trabajos de dragado de construcción en los años 2014 y 2016. En la figura 2.1 se resaltan en color púrpura las dársenas y los canales de navegación del puerto; la profundidad de dichas áreas de agua es de 17 m.

Una vez finalizados los trabajos del dragado de construcción, se deben de prever los futuros trabajos de mantenimiento, mismos que se deberán realizar en distintas zonas con el propósito de mantenerlas y preservarlas en óptimas condiciones. Ya que, de no ser así, las profundidades y calados no serán suficientes para que el puerto pueda brindar los servicios que actualmente la API Manzanillo ofrece.

Dragado de mantenimiento

Tiene su origen en la necesidad de corregir el relieve y el azolvamiento derivado del transporte litoral y los aportes de material proveniente de escurrimientos terrestres, con el fin de preservar la profundidad de las vías navegables o cuerpos de agua (COLÍN, 2011).

En la tabla 2.2, se muestra el historial de los proyectos de dragado de mantenimiento que se han llevado a cabo en el puerto de Manzanillo desde el año 2012. En dicho historial se destacan los dos proyectos de dragado de mantenimiento emergente (sombreados en azul) que se tuvieron que hacer debido a fenómenos naturales.

Es importante resaltar que en tan sólo 5 años (2012-2017) se han extraído en proyectos de dragado de mantenimiento casi 650 mil m³ de sedimentos en el puerto, sin considerar los proyectos de dragado emergente. Dichos proyectos se llevaron a cabo con una inversión total de poco menos de 140 millones de pesos.

De la misma manera, si se consideran los proyectos de dragado de mantenimiento emergente, se llega a un volumen aproximado de 900 mil m³ de sedimentos en el puerto y a una inversión total de casi 210 millones de pesos.



PROYECTO	CONTRATO	DESCRIPCIÓN	VOLUMEN DRAGADO (m ³)	PRECIO UNITARIO (\$/m ³)	IMPORTE DEL CONTRATO
1209J3B0001	API-MAN-OP-01-12	Dragado de mantenimiento en los muelles en el tramo No. 3 de la Banda "A", tramos 14 y 15 de las Bandas "C" y "D" respectivamente y en áreas operativas de la Terminal Pesquera, en el Puerto de Manzanillo.	80,500.00	\$ 133.22	\$ 10,723,900.00
1309J3B0003	API-MAN-OP-05-13	Dragado de mantenimiento emergente 2013 del Puerto Interior de Manzanillo, Colima.	183,789.29	\$ 217.71	\$ 40,013,683.09
1309J3B0006	API-MAN-OP-03-14	Dragado de mantenimiento en el puerto interior de San Pedrito, Manzanillo, Colima.	216,464.83	\$ 206.46	\$ 44,691,329.71
1309J3B0006	API-MAN-OP-13-14	Dragado de mantenimiento para los muelles 14 y 15 del recinto portuario, Manzanillo Colima.	45,771.58	\$ 206.46	\$ 9,450,000.00
1309J3B0006	API-MAN-OP-28-15	Dragado de mantenimiento emergente en el puerto interior de San Pedrito, Manzanillo, Colima.	67,874.46	\$ 492.79	\$ 33,448,086.32
1609J3B0002	API-MAN-OP-07-16	Dragado de mantenimiento en el puerto de Manzanillo 2016.	122,998.33	\$ 228.05	\$ 28,049,769.16
1709J3B0001	--	Dragado de mantenimiento en el puerto de Manzanillo 2017.	175,000.00	\$ 244.90	\$ 42,857,994.00

Tabla 2. 2. Historial, proyectos de dragado de mantenimiento en el Puerto de Manzanillo.

Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017. Cartera Pública de Inversión, SHCP.



Con base en la Ficha Técnica del Proyecto de “Dragado de Mantenimiento del Puerto de Manzanillo 2017”, se estima que cada año se deben de realizar trabajos de dragado de mantenimiento en las zonas que se especifican en la tabla 2.3.

NOMBRE	PERIODICIDAD	PROFUNDIDAD (m)	CALADO (m)
Puerto Interior			
Canal de navegación, plantilla, dársena de maniobras sur, dársena de maniobras norte.	Anual	17	16
Banda "A"			
Tramo No. 2, Tramo No. 3.	Anual	16	15
Tramo No. 3.	Anual	16	15
Banda "B"			
Tramo No. 4, Tramo No. 5, Tramo No. 6.	Anual	16	15
Banda "C"			
Tramo No. 7, Tramo No. 8, Tramo No. 9.	Anual	16	15
Tramo No. 10, Tramo No. 11, Tramo No. 12.	Anual	16	15
Tramo No. 13, Tramo No. 14.	Anual	16	15
Banda "D"			
Tramo No. 15.	Anual	16	15

*Tabla 2. 3. Periodicidad de los trabajos de dragado de mantenimiento.
Fuente: Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017*

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el dragado de mantenimiento se requiere hacer cada año durante el último trimestre, debido a que la temporada de huracanes ya ha finalizado y ya no existen fenómenos naturales que afecten la profundidad en las distintas áreas navegables.

Estos trabajos de mantenimiento se realizan de manera periódica, aunque existen ocasiones en que las condiciones climatológicas fuerzan al puerto a realizar nuevos trabajos de mantenimiento, los cuales se denominan proyectos de dragado de mantenimiento emergente o extraordinarios.

De no realizar estos trabajos de mantenimiento, se pueden presentar problemas que van desde una leve acumulación de sedimentos en el fondo marino, obstrucción a la navegación de las embarcaciones, reducción del calado e incluso pérdida de la maniobrabilidad de buques y embarcaciones de gran tamaño.



Lo anterior afectaría en la operatividad y eficiencia del puerto, pues se reducirían los sitios de atraque con el calado oficial establecido, obligando al puerto a habilitar y/o utilizar otras posiciones de atraque destinadas a otras embarcaciones y usos, propiciando retrasos en el servicio, incremento en los costos de operación, desagrado de los clientes e incluso perder la preferencia de los mismos.



Figura 2. 3. Croquis de dragado de mantenimiento en el Puerto Interior de San Pedrito, Manzanillo, Col.
Fuente: Estudio técnico. Cartera Pública de Inversión, SHCP, 2017.



En la figura 2.3, se muestra el plano general del Puerto de Manzanillo, donde se destacan las áreas que se sometieron a trabajos de dragado de mantenimiento en el año 2017. En dicha figura, se resalta en color azul claro las dársenas y los canales de navegación del puerto cuya profundidad resultante fue 17 m, mientras que en color café se resaltan los puestos de atraque del puerto, los cuales fueron dragados para mantener una profundidad de 16 m.

Descarga del material dragado

El material dragado puede ser depositado en agua o en tierra. La selección del lugar, tipo y método para depositarlo depende entre otras consideraciones de las características fisicoquímicas del material dragado, la cantidad de material, las restricciones ambientales y la disponibilidad de áreas cercanas que pudiesen ser utilizadas como zonas de descarga o bancos de materiales.

La descarga en agua o en tierra puede hacerse en áreas confinadas o áreas sin confinamiento. La descarga en tierra del material de dragado en áreas confinadas es el método más seguro y el que menos impactos ambientales presenta. Así mismo, la descarga en áreas confinadas es siempre recomendada cuando el material dragado requiere un tratamiento posterior y/o se busca evitar afectaciones ambientales en zonas cercanas.

La descarga del material dragado en agua normalmente es la opción más económica. Sin embargo, cada día hay mayores restricciones ambientales a este tipo de descarga. La descarga en agua en áreas confinadas es requerida cuando es necesario evitar que el material descargado sea llevado a otras zonas por efecto principalmente de las corrientes.

En el puerto de Manzanillo el material dragado se descarga en mar abierto, el cual en ocasiones se encuentra contaminado; este material vuelve a entrar al puerto de manera natural por causa del transporte litoral.

Usos del material dragado

De acuerdo con Aguilar, J. y Esteban, V. (2001), más del 90% de los sedimentos procedentes de los proyectos de dragado que se realizan para restablecer las condiciones de navegación adecuadas son materiales naturales, no contaminados y susceptibles de ser aprovechados para diferentes usos. El resto está constituido por materiales con contaminación de origen industrial, agrícola o urbana, que requerirán un estudio de sus consecuencias medioambientales para su vertido.



Los principales usos productivos que se le puede dar a los materiales dragados no contaminados son:

- › Uso en obras públicas
 - ✦ Creación de tierra firme y mejora de terrenos
 - ✦ Rellenos, sustituciones y recubrimientos
 - ✦ Regeneración y creación de playas
 - ✦ Construcción de diques y presas de tierra
 - ✦ Empleo como materiales de construcción
 - ✦ Construcción de puertos y/o aeropuertos

- › Usos en agricultura y pesca
 - ✦ Creación y mejora de tierra vegetal
 - ✦ Acuicultura
 - ✦ Mejora de recursos pesqueros

- › Usos en medio ambiente
 - ✦ Regeneración y creación de zonas húmedas
 - ✦ Creación de islas de nidificación

Para el caso del puerto de Manzanillo, el material resultante de los trabajos de dragado se puede colocar en las cercanías del puerto para la construcción, conservación y mantenimiento de playas, así como para la construcción de patios de almacenamiento, mobiliario urbano y atractivos turísticos.



CAPÍTULO 3. CONDICIONES GENERALES DEL SITIO DE PROYECTO Y CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DRAGADO

Condiciones físicas y oceanográficas

Para el diseño de cualquier proyecto de ingeniería, es importante conocer las condiciones físicas donde se desarrollará dicho proyecto y en el caso de las obras marítimas, no es la excepción. Las condiciones físicas más importantes para el dimensionamiento de las obras marítimas como el viento, el oleaje, las variaciones de marea, las corrientes marinas, etc.

Las condiciones físicas normales se refieren a las cotidianas, sin considerar la presencia de fenómenos extraordinarios.

Dichas condiciones físicas se pueden distinguir en dos grupos: las meteorológicas y las oceanográficas.

Dentro de las variables meteorológicas, se contemplan las características de vientos y del clima en general. Por su parte, las oceanográficas consideran el oleaje, las corrientes marinas y las mareas.

De acuerdo con el Manual de Dimensionamiento Portuario publicado por la SCT, se tiene una zonificación nacional de acuerdo con las condiciones físicas de cada región, la cual se muestra en la figura 3.1.

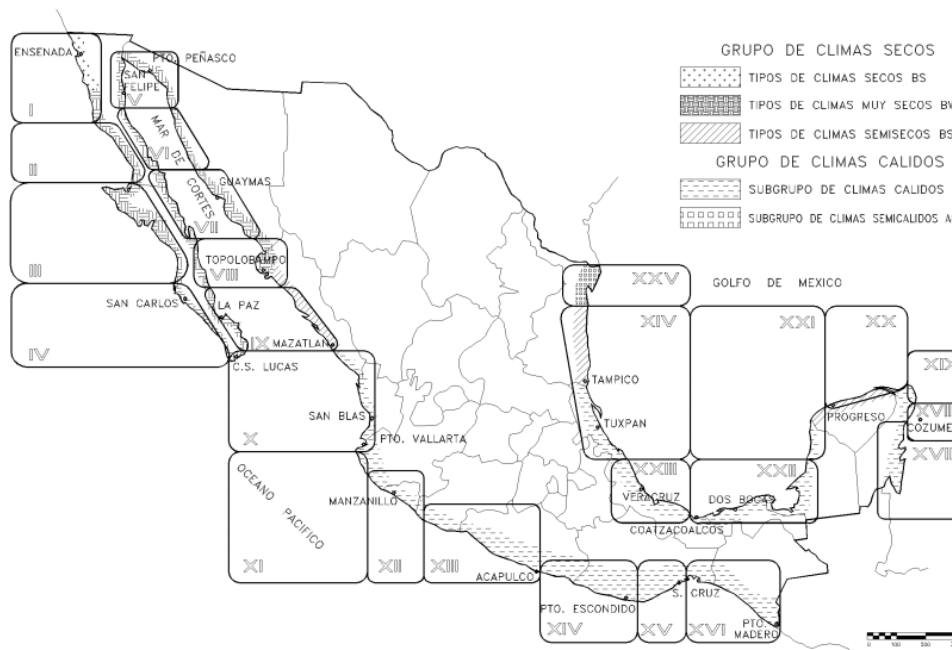


Figura 3. 1. Zonificación de acuerdo con las condicionantes físicas.
Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.



Particularmente para el puerto de Manzanillo (Zona XII), se observa que es una zona donde transitan huracanes en dirección paralela a la costa y hacia el Noroeste.

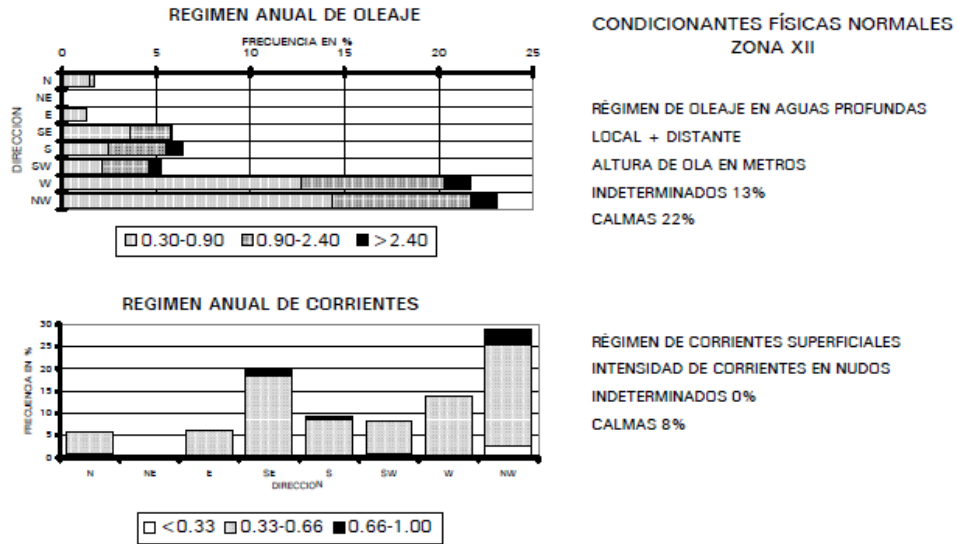


Figura 3. 2. Régimen anual de oleaje y régimen anual de corrientes.
Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.

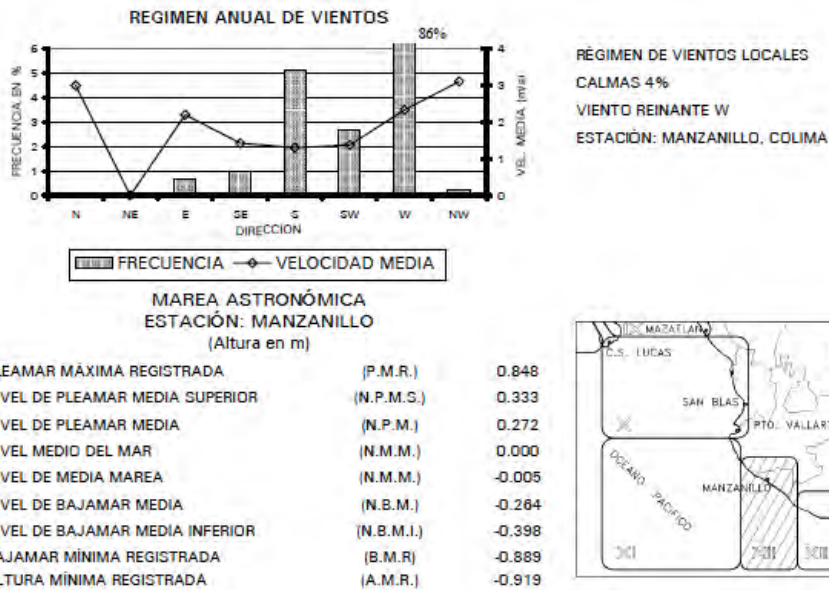


Figura 3. 3. Régimen anual de vientos y niveles de marea.
Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.

Como se puede apreciar en el régimen de oleaje en aguas profundas, el oleaje más frecuente proviene del Noroeste con una frecuencia de alrededor del 23% del tiempo; en segundo lugar, sigue el oleaje procedente del Oeste con una frecuencia de aparición cercana al 22%. Es importante destacar que en dicha figura se muestra la existencia de oleaje con alturas mayores de 2.40 m.

De la misma manera, el régimen anual de corrientes presenta la presencia de la corriente costera del Pacífico Mexicano, con dirección hacia el Noroeste y una frecuencia cercana al 28%.

El régimen anual de vientos, indica que el viento que proviene del Oeste posee una frecuencia de ocurrencia del 86%, mientras que los vientos del Sur y Suroeste son los que le siguen. En cuanto a la velocidad media del viento, los vientos del oeste alcanzan velocidades de 2.5 m/s, mientras que los del Sur y Suroeste rondan en los 2.0 m/s.

Posteriormente, se presentan los niveles de referencia de la marea en Manzanillo, a partir de los datos registrados en mareógrafo. El rango de marea entre la pleamar media y bajamar media es de 0.53 m.

A su vez, la SEMARNAT menciona en la Manifestación de Impacto Ambiental del *Proyecto Piloto para el Mejoramiento del Habitad Marino y las Pesquerías Ribereñas de la Zona Costera de Manzanillo, Colima, México.*, que el régimen de mareas para el Puerto de Manzanillo queda comprendido en el intervalo (0.25, 1.5) que corresponde al tipo mixto semidiurno, en otras palabras, ocurren dos pleamares y dos bajamares con gran diferencia en rango y la hora en que se presentan. El rango medio es de 0.7 m en cada día de marea.

La frecuencia del oleaje en esta zona se comporta de manera estacional; olas menores o iguales a 2.75 m de altura provienen del Oeste y son predominantes en un 22% durante todo el año; olas de más de 2.75 m de altura llegan del Norte y Noroeste durante el invierno y las provenientes del Sur y Suroeste durante el verano, esto último ocurre en conjunción de los ciclones. Las alturas máximas calculadas de los oleajes producidos por los ciclones son del orden de 9 m. La altura de la ola varía de 0.5 m a 2.7 m y con período de 5 a 23 segundos.

La altura de ola que se considerará para el cálculo del transporte litoral del puerto de Manzanillo será de 0.7 m (altura del oleaje normal), pues se considera una altura representativa para las condiciones que se presentarán durante la mayor parte del año. Del mismo modo, el periodo de la ola se tomará de 8 segundos.

Con base al análisis de refracción de oleaje presentado en el *Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Manzanillo, Colima*, se sabe que el oleaje del sur es el que se presenta principalmente al interior de las bahías de Manzanillo y Santiago, aunque con una reducción de energía considerable. La Punta Campos, al Sur de la Ciudad de Manzanillo, genera una sombra casi general sobre la bahía de Manzanillo, por lo que se observa oleaje con índices de



refracción muy bajos (cerca de 0.5). Por otra parte, en el extremo Sur, en las proximidades de Punta Campos, se presentan confluencias de oleajes moderados y altos, que son los que afectan la erosión presente en la Laguna de Cuyutlán.

En la figura 3.4, se muestra el mapa de vulnerabilidad de acuerdo con la refracción del oleaje, en donde se indican las zonas de erosión y acreción, así como los puntos de impacto y su magnitud.



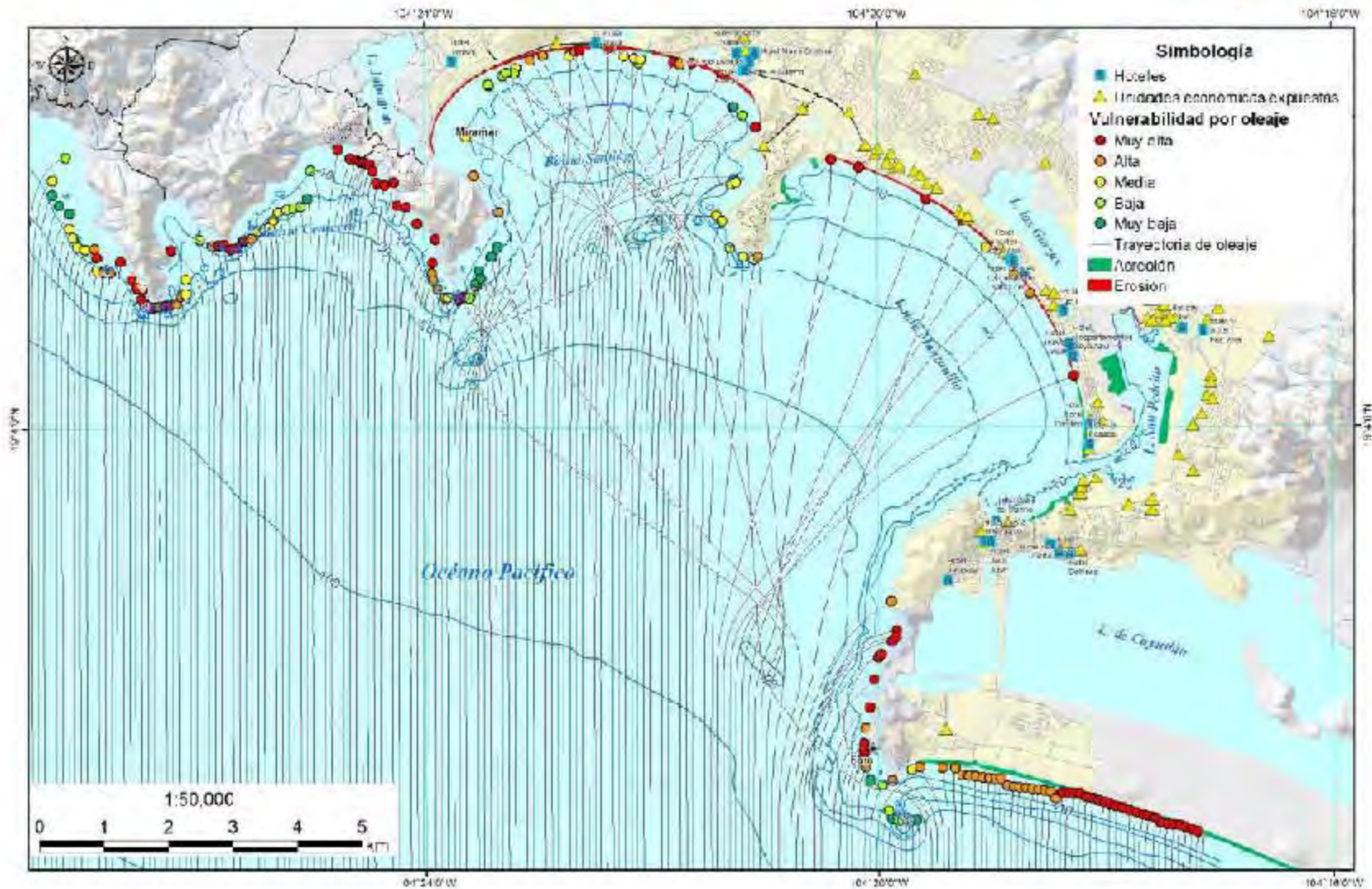


Figura 3. 4. Mapa de vulnerabilidad según con el indicador de refracción del oleaje (Elaborado por ANIDE).
Fuente: Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Manzanillo, Colima. SECTUR. 2018.



Erosión y azolve costero

La erosión y el azolve son dos importantes procesos físicos que afectan al municipio de Manzanillo y consecuentemente al puerto. El proceso de erosión es el que de manera natural llega a dominar en la línea de costa. Por el contrario, el proceso de azolve o acreción es de tipo antropogénico, relacionado principalmente con la construcción de obras marítimas y costeras. Para el caso del puerto de Manzanillo, la acreción está relacionada principalmente con las obras de protección del puerto y por la presencia de las terminales marítimas dentro del mismo.

Con base al análisis del cambio de la línea de costa presentado en el Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Manzanillo, Colima; se determinó que dentro del recinto portuario se presenta el proceso de azolve o acreción (como se observa en la figura 3.5), debido a la morfología de la costa, la dirección de incidencia del oleaje y, también por la tranquilidad de este dentro de las zonas de agua del puerto.

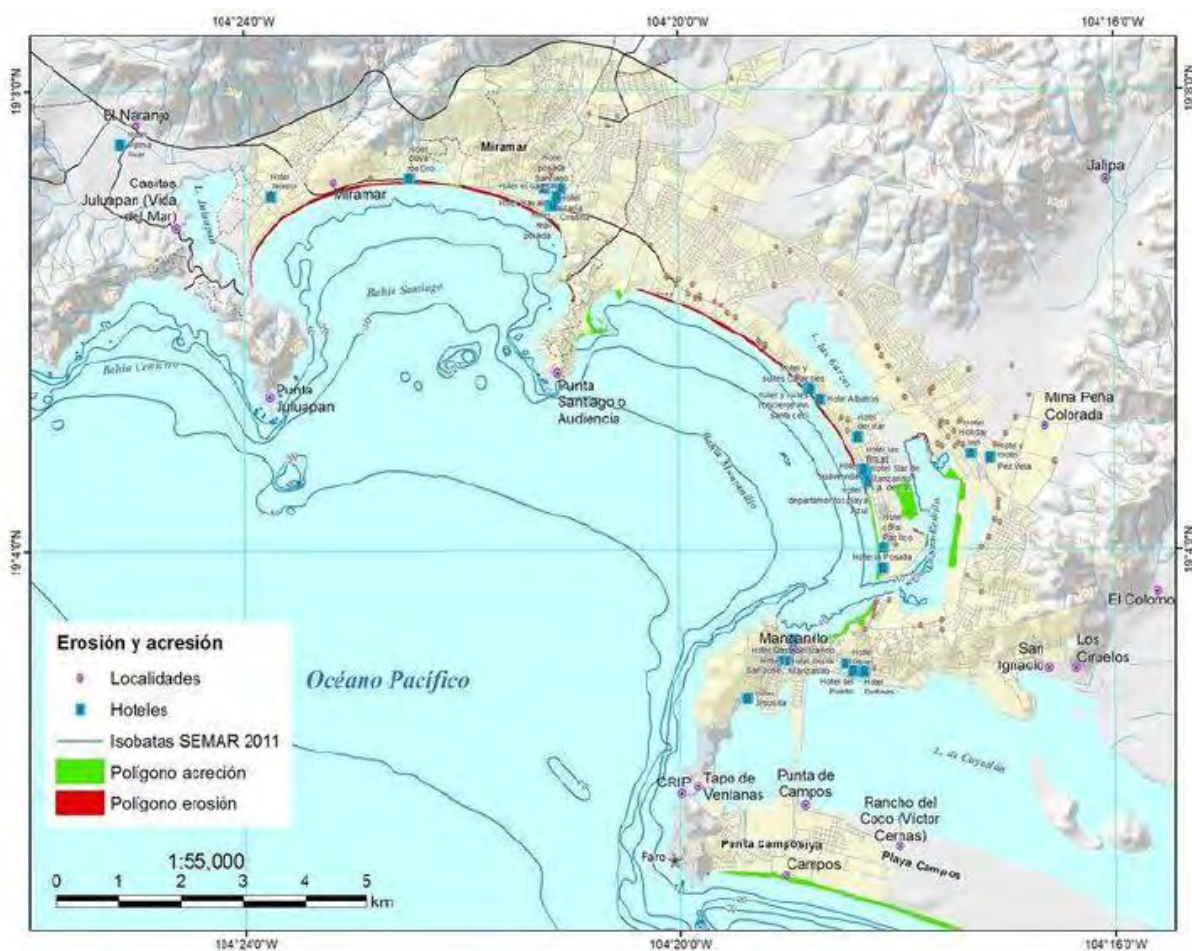


Figura 3. 5. Mapa de erosión y acreción del municipio de Manzanillo, periodo 1965-2013 (Elaborado por ANIDE).
Fuente: Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Manzanillo, Colima. SECTUR. 2018.



Cuerpos de agua cercanos

Colindante a la bahía de Manzanillo se tiene a la Laguna de Las Garzas, la cual se comunica directamente y desemboca al puerto interior de la API Manzanillo; al centro del recinto colinda con la Laguna Tapeixtles; en la parte oeste de la bahía de Santiago se encuentra la Laguna Juluapan; la Laguna Cuyutlán se encuentra a 8 km al sur de la bahía de Manzanillo, se divide en cuatro vasos de los cuales solo 3 tienen tomas directas de agua de mar.

- › *Laguna o Estero Juluapan.* Recibe agua de las corrientes superficiales, pues actualmente la boca o punto de comunicación con el mar se encuentra cerrado. De acuerdo con la descripción que hizo el Instituto Oceanográfico de Manzanillo (IOM) en 1984, la Laguna de Juluapan está localizada en un extremo de una planicie aluvial, limitada al Suroeste, Norte y Noroeste por afloramientos de rocas ígneas intrusivas y al Sureste por una barra arenosa que la separa de la Bahía de Santiago, con la cual se comunica a través de una estrecha boca. La Laguna de Juluapan en una época es un cuerpo de agua con una superficie de 150 hectáreas, dependiendo un 20 al 30% de escurrimiento pluvial.
- › *Laguna de Tapeixtles.* Esta laguna era parte integral de configuración morfológica de la Laguna de San Pedrito, la cual fue seccionada en los años setentas para dar paso a un tramo carretero que uniera el casco urbano de Manzanillo con los poblados de Salahua y Santiago quedando en la porción Este la Laguna de Tapeixtles y en la Norte nació la Laguna de Las Garzas. Cuenta con una superficie de aproximada de 80 hectáreas, bordeada por mangles y tule en algunas porciones. Cuenta con comunicación con el puerto interior mediante un par de compuertas y recibe escurrimientos de agua durante la época de lluvias.
- › *Laguna de Las Garzas.* La comunicación entre la Laguna de San Pedrito y la Laguna de Las Garzas es a través de una compuerta de 2 metros por donde pasa el agua de la marea, aunque se mantienen características de un sistema dulce alrededor de esta compuerta se presentan condiciones salobres. La Laguna de Las Garzas también recibe agua dulce de los arroyos cercanos. La laguna solo tiene agua de manera intermitente, llenándose a su máxima capacidad en época de lluvias y secándose casi en su totalidad en época de sequía. Recibe también aguas grises de la planta de tratamiento de aguas negras de la comunidad de Salahua.

La longitud aproximada de la laguna de Las Garzas es de 2.5 km y su parte más ancha mide 0.6 km, presentando una forma casi rectangular, cuenta con una superficie de captación de 150 hectáreas. En diciembre de 1980 se determinó una superficie de agua de 86.225 has (COCOMABA, 1982).

La profundidad máxima que presentaba en 1982 era de 0.5 m con un promedio de 0.40 m, actualmente es de 0.20 m (Patiño-Barragán, Meyer-Willerer, Galicia Pérez, Lezama Cervantes, & Lara Chávez, 2016).





Figura 3. 6. Laguna de Las Garzas Puerto de Manzanillo, Col.
Fuente: Fotografía en sitio, febrero 2018.

- › *Laguna de Cuyutlán.* Se encuentra ubicada en la porción central de la línea costera de la entidad, posee una superficie aproximada de 68 km², su longitud es de 30 km en sentido paralelo del litoral y su ancho varía entre 0.5 y 3 km. A pesar de sus aportaciones de agua dulce, la concentración de sales es similar a la del mar; con la evaporación se aprovecha para la explotación de salinas. La Laguna de Cuyutlán se divide en 4 vasos y tres de éstos tienen tomas de agua de mar.

En la figura 3.7, se muestra la ubicación geográfica de los cuerpos de agua cercanos al puerto de Manzanillo, Col.

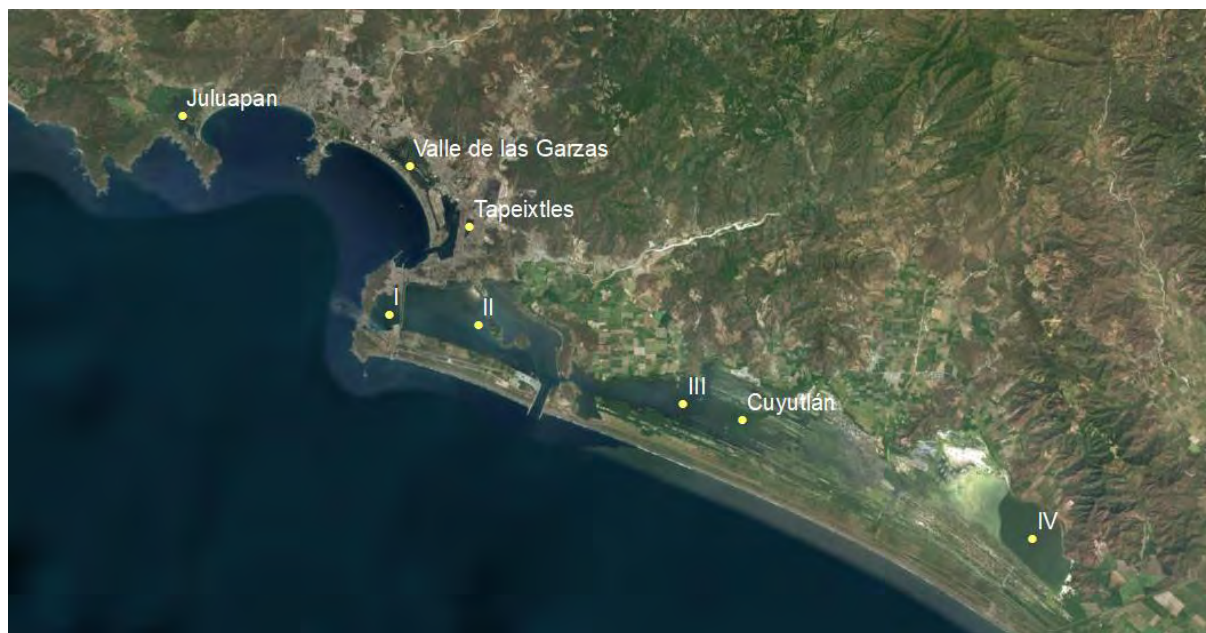


Figura 3. 7. Lagunas costeras cercanas al Puerto de Manzanillo, Col.
Fuente: Fotografía satelital, ArcGis 2017.



Suelo

En el área de la ciudad de Manzanillo, se encuentran numerosos depósitos aluviales, los cuales están constituidos por gravas, arenas y limos. A lo largo de la costa se encuentran grandes depósitos de arenas con distintas granulometrías, las cuales separan las lagunas de Tapeixtles, San Pedrito, Las Garzas y Cuyutlán del mar. Desde la formación de estas lagunas se depositaron arcillas con alto contenido de materia orgánica y turbas.

La variedad de suelos se debe principalmente por la litología y el tipo de procesos que se presentan en la zona.

Los procesos costeros que modifican las características de las playas dejan huella en el tamaño y en la composición de sus sedimentos. De tal manera que en procesos de erosión costera las playas son angostas, con pendientes fuertes y están compuestas de arenas gruesas y gravas. En contraste, las playas en acreción son más extensas, con pendientes suaves y están compuestas por arenas medias. De ahí que la determinación de la granulometría de los sedimentos de playa sea una herramienta para dilucidar los procesos de acreción o erosión y las condiciones de energía presentes en la playa por el oleaje y la corriente litoral (Bolongaro Crevenna Recaséns, 2018, pág. 17).

Por su tamaño en el litoral de Manzanillo, el tipo de material predominante es la arena; la arena fina representa el 42%, las arenas medias el 39%, las arenas gruesas el 15% y un 4% las arenas muy finas. La presencia de arenas gruesas se puede asociar con zonas de alta energía, playas expuestas y fuentes cercanas de sedimentos contrarias a los sedimentos finos comunes en zonas de baja energía, protegidas y procedencia de sedimentos de zonas lejanas (Bolongaro Crevenna Recaséns, 2018, pág. 71).

Así que, las características generales del material a dragar serían:

- › Tipo de arena: arena media (0.25 – 0.5 mm)
- › Diámetro medio de la partícula: 0.329 mm
- › Composición mineralógica de las arenas: feldsarenitas (53%), cuarzoarenitas (31%) y subfeldsarenitas (16%).



Transporte Litoral

El transporte litoral es definido como el volumen de arena que es transferido a través de una sección de playa por unidad de tiempo. Algunos de los factores que gobiernan dicho proceso son; la textura y densidad del material playero, el perfil de la playa, el ángulo de incidencia del oleaje respecto a la línea de la costa y la altura de este (Macdonel Martinez, 1992, pág. 86).

Uno de los aspectos de mayor interés en la Ingeniería de Costas es sin duda alguna el problema relativo a la cuantificación del transporte litoral producido por la acción del oleaje sobre una playa arenosa. Respuesta a dicho problema, diferentes investigadores han tratado de encontrar una expresión que permita calcular la cantidad de material que es transportado por el oleaje, sin embargo, los resultados obtenidos dejan mucho que desear ya que los valores que se obtienen por la aplicación de las diferentes expresiones presentan variaciones de gran consideración que no permiten la aplicación de ninguno de ellos (Macdonel Martinez, 1992, pág. 86).

Por otra parte, la obtención de los datos necesarios para la evaluación del transporte litoral en la mayoría de los casos es muy difícil y costosa por la falta de equipo apropiado, teniéndose que recurrir a datos generales limitados que no permiten tener una idea completa del problema. (Macdonel Martinez, 1992, pág. 86)

Pese a lo anterior, las expresiones matemáticas que describen el transporte litoral, tiene aplicaciones si no cuantitativas, sí cualitativas, indicándonos el orden de magnitud de los volúmenes que se mueven en los diferentes puntos de la zona costera.

Si se requiriera de mayor precisión, los resultados que se obtienen de dichas expresiones tendrán que ser verificados en el sitio de interés, mediante la construcción de obras de retención de azolves y sedimentos, tales como espigones, zanjas, dragados o bien por medio de mediciones directas.

Las propiedades y características más relevantes para la estimación del volumen del material sedimentado son: Tamaño de partícula, Forma de la partícula, Densidad y Velocidad de caída.

Los primeros intentos para relacionar el transporte litoral con las características del oleaje o las condiciones meteorológicas son debidos a Munch-Petersen, que propuso para la zona del mar Báltico, la siguiente expresión:

$$Q = KV^2\rho vDsena\alpha$$

En donde:

Q , Capacidad de transporte del oleaje generado por el viento actuante.

V , Velocidad del viento.

ρv , Frecuencia del mismo en porcentaje del periodo considerado.

D , Duración de la acción del viento.

α , Ángulo que forma la dirección del viento con la línea de la playa.



Posteriormente esta expresión fue retomada por Knaps de la siguiente manera:

$$Q = KV^3\rho v\sqrt{D}\text{sen } \alpha \text{ cos } \alpha$$

Habiendo intentos adicionales para tratar de expresarla en función de las características directas del oleaje en cuanto a su amplitud, periodo, tiempo de acción y ángulo de incidencia.

Después de varios años y de varios investigadores interesados en desarrollar ecuaciones para la estimación del transporte de litoral, Larrás propone que dicho transporte sea evaluado con la siguiente expresión:

$$Q_s = KgH_0^2Kr^2T\text{sen } \frac{7}{4} \alpha$$

Donde el coeficiente K, se define de la siguiente manera:

$$K = 1.8x10^{-6} \left(\phi_{50}^{-\frac{1}{2}} \right) \frac{L_0}{H_0}$$

Las otras variables se describen a continuación:

K, Función adimensional que depende de la relación de esbeltez del oleaje y de las características del material de la playa.

ϕ_{50} , Diámetro medio de la partícula, en mm.

L_0 , Longitud de la ola en aguas profundas, en m.

H_0 , Altura de la ola en aguas profundas, en m.

Q_s , Gasto sólido por unidad de tiempo, en m³/s.

Kr , Coeficiente de refracción

T , Periodo de ola, en s.

α , Ángulo de incidencia del oleaje.

Otros investigadores han tratado de expresar al transporte litoral, haciendo una analogía con el movimiento de sedimentos en un cauce, al considerar que la corriente litoral que produce el oleaje tiene las mismas características y puede ser tratada con la expresión clásica del transporte sólido de los ríos.

En las costas mexicanas se han realizado algunos trabajos tendientes a evaluar el transporte litoral mediante la construcción de espigones de retención que permiten la cubicación de los materiales transportados en función de la evolución de la línea de playa (Macdonel Martinez, 1992, pág. 94).

Siguiendo varios criterios y complementándolos con datos estadísticos fue posible estimar para el caso de Puerto Vallarta, Jalisco; evaluar un transporte litoral de 83,000 m³/año para oleajes



formadores de 1 metro, con un periodo de 11 segundos y un diámetro medio de 0.25 mm. Tales valores fueron comprobados mediante la construcción de un espigón de 180 metros de longitud cuyo control a lo largo de un año permitió además el poder determinar las escalas de tiempo morfológicas para un estudio en modelo reducido que permitió diseñar la obra adecuada para evitar el azolvamiento a dicho puerto y el sistema de espigones para protección y defensas de las playas erosionadas (Macdonel Martinez, 1992, pág. 94).

En Salina Cruz, Oaxaca, lugar en el cual existe un fuerte problema de azolve del puerto se hicieron evaluaciones similares, las cuales resultaron en la cuantificación de un volumen de 750,000 m³/año cuya verificación fue posible debido a los dragados continuos que se realizan en el interior de la dársena portuaria y canal de acceso (Macdonel Martinez, 1992, pág. 94).

Para fines prácticos, el cálculo del transporte litoral se realizará con el método de Larrás, pues se ha utilizado con frecuencia en los problemas de estimación del transporte litoral de las diferentes costas del país, obteniendo resultados aceptables.

De acuerdo con el derrotero mexicano digital de la Secretaría de Marina; todas las playas que se localizan en las Bahías de Santiago y Manzanillo, como son Miramar, Olas Altas, Salahua, La Boquita, Playa azul y Brisas están compuestas por arenas. Las playas de Olas Altas y Miramar son consideradas playas arenosas, cuya composición se define como la acumulación de sedimentos de origen mineral que son aportados por la erosión de puntas y acantilados, y por el transportado de los arroyos. Playas como La Boquita están constituidas por gravas, formadas por la fragmentación de las rocas de los acantilados y formaciones rocosas cercanas, con tamaños de partículas de 2 a 64 milímetros.



*Figura 3. 8. Vista panorámica de la playa, Bahía de Manzanillo, COL.
Fuente: Fotografía en sitio, febrero 2018.*

Características de los sedimentos y material acarreado de ríos y otros cuerpos de agua

El agua de los ríos acarrea partículas finas en suspensión, tales como arcillas y limos, cuyo análisis se efectúa para determinar las distintas fracciones del material fino contenido en dicha agua.

Los materiales resultantes de la desintegración mecánica y de la descomposición química de las rocas forman una gran variedad de suelos que pueden ser residuales o transportados. Los primeros quedan cerca del lugar en que se formaron o yacen sobre la roca de la cual se derivan. Los transportados han sido llevados por la acción del agua y del viento lejos de las rocas o suelos que los proceden y se depositan en otro sitio. Los suelos y los sedimentos son parte de las partículas transportadas, que después de cierto acarreo se depositan finalmente a lo largo de cauces, lagos o lagunas, en el mar o en las partes bajas de la cuenca. Están constituidos por una gran variedad de partículas que difieren entre sí en tamaño, forma y densidad, y se clasifican en suelos o sedimentos no cohesivos y cohesivos, según sea su comportamiento mecánico de resistencia a esfuerzos tangenciales y de la que oponen a ser arrastrados y transportados por una corriente de agua (Sotelo Ávila, 2002, pág. 662).

El suelo o sedimento no cohesivo friccionante se conoce también como material granular y se forma de grano gruesos o partículas sueltas, como las arenas y gravas. El peso de las partículas es la fuerza principal que resiste a las fuerzas de arrastre y sustentación producidas por el flujo. En cambio, el suelo o sedimento cohesivo se forma de partículas de grano muy fino tales como los minerales de arcilla, que se mantienen unidas entre sí por la fuerza de cohesión, la cual se opone a que las partículas se separen del conjunto del que forman parte. Por su tamaño, el peso de la partícula es bastante menor que la fuerza de cohesión, pero ésta es capaz de resistir a las fuerzas de arrastre y sustentación causadas por el flujo.

Factores tales como la densidad, tamaño, forma y velocidad de caída son los más importantes de las partículas aisladas de un sedimento no cohesivo cuando se expone a la acción de un flujo, pero no son suficientes; pues el comportamiento dinámico de la partícula individual es muy diferente del que muestra cuando forma parte de un gran conjunto (Sotelo Ávila, 2002, pág. 663).

Densidad de la partícula. Es el cociente ρ_s de la masa sólida de la partícula y el volumen que ocupa, esta característica depende de la densidad que tienen los minerales que constituyen a la partícula.

El granito es la roca madre o fuente de origen de los sedimentos, ya que forma aproximadamente el 95% de la parte superior de la corteza terrestre, si bien en su mayor parte no está al descubierto. Su desintegración mecánica la convierte en un conjunto de fragmentos o granos sueltos de feldespato y cuarzo, que son acarreados por los ríos en forma de gravas y arenas. Después, por acción química, parte del feldespato se convierte finalmente en arcilla, caso contrario del cuarzo el cual es más resistente.



Tamaño. El tamaño de la partícula es una de las propiedades más importantes del sedimento, pero no es fácil de definir con una sola dimensión, a menos que la partícula sea esférica o cúbica. Dado que las partículas naturales tienen formas irregulares muy diversas, nunca alcanzan la forma esférica como para medir solamente su diámetro, esto dificulta su clasificación, siendo necesario el uso de técnicas estadísticas y de laboratorio para describir adecuadamente su tamaño. Los principales criterios para precisarlo se basan en alguna de las definiciones que se mencionan a continuación.

El *diámetro nominal* de una partícula es el que tiene una esfera de igual volumen que la partícula. No interviene su forma ni su densidad y por ello, las que difieren en dichas propiedades pueden tener el mismo diámetro nominal. Esta definición es más útil en el estudio del transporte de partículas gruesas.

El *diámetro de cribado* es la amplitud que tiene la abertura de la malla por la cual se hace pasar la partícula, sin tomar en cuenta su forma real ni su densidad. Las partículas naturales muestran siempre desgaste o redondez y su diámetro de cribado es aproximadamente el 90% del diámetro nominal. Comúnmente se utiliza para definir el tamaño de partículas mayores de 0.062 mm, como las arenas y las gravas. Las mallas para el cribado se designan de acuerdo con su abertura exacta en mm, siendo muy importante que se ordenen para que las partículas pasen por aberturas de mayor a menor amplitud.

El *diámetro de sedimentación o equivalente* es el que tiene una esfera de igual densidad y velocidad de caída que la partícula de que se trata, al caer ambas en el mismo líquido a una temperatura conocida. Su valor estándar corresponde al obtenido con una densidad relativa de una esfera de 2.65, cayendo junto con la partícula en agua destilada a 24°C de temperatura. Este diámetro se emplea con frecuencia para definir el tamaño de partículas muy finas, como limos y arcillas, y se determina a partir de su velocidad de caída mediante la ley de Stokes.

Se ha observado que el tamaño de 0.062 mm es el máximo que puede tener una partícula para caer dentro del agua siguiendo la ley de Stokes, ya que un diámetro mayor provoca turbulencias en la caída que alteran mucho el cumplimiento de dicha ley. El tamaño mencionado corresponde a un límite natural entre los limos y las arenas, y en muchos casos, define la frontera entre el material arrastrado y el transportado permanentemente en suspensión.

Las partículas con tamaño menor de 0.2 micras constituyen la ultra-arcilla o coloide y pueden permanecer en suspensión indefinidamente (excepto cuando forman grumos) ya que su peso influye poco. Por lo que su proceso de sedimentación tampoco obedece la ley de Stokes.

Por tal motivo es que el tamaño de las partículas sedimentarias, como las gravas y las arenas, se obtiene normalmente midiéndolo en forma directa mediante la criba de muestra y cuando se trata de limos y arcillas, mediante el proceso de sedimentación.



Actualmente existen varios criterios para clasificar las partículas por su tamaño, en el caso de los suelos se utiliza frecuentemente el sistema unificado de clasificación (SUC) y en el caso de los sedimentos en los ríos es más común la clasificación propuesta por la American Geophysical Union, misma que se presenta en la tabla 3.1.

Grupo	Clase	Tamaño en mm	
Bolos	muy grandes	2048	- 4096
	grandes	1024	- 2048
	medianos	512	- 1024
	pequeños	256	- 512
Cantos	grandes	128	- 256
	pequeños	64	- 128
Grava	muy gruesa	32	- 64
	gruesa	16	- 32
	mediana	8	- 16
	finas	4	- 8
	muy fina	2	- 4
Arena	muy gruesa	1	- 2
	gruesa	0.5	- 1
	mediana	0.25	- 0.5
	finas	0.125	- 0.25
	muy fina	0.062	- 0.125
Limo	Stokes		
	grueso	0.031	- 0.062
	mediano	0.016	- 0.031
	fino	0.008	- 0.016
Arcilla	gruesa	0.002	- 0.004
	mediana	0.001	- 0.002
	finas	0.0005	- 0.001
	muy fina	0.00024	- 0.0005

Tabla 3. 1. Clasificación de los materiales sedimentarios, según American Geophysical Union.
Fuente: Sotelo Ávila, Gilberto. Hidráulica de Canales. 2002.

La permanente conexión entre la Laguna de Las Garzas y el Puerto de Manzanillo es un medio perfecto para el transporte de materiales suspendidos en el agua. Cuando existen variaciones en los niveles de marea, el agua del mar tiende a entrar al vaso de la laguna agitando los materiales depositados y poniéndolos en recirculación, los cuales llegan a entrar al recinto portuario.

Por esta conexión, la API Manzanillo manifiesta que la mayoría de los sedimentos que se encuentran en el fondo del puerto provienen de la Laguna de Las Garzas.



CAPÍTULO 4. EQUIPOS DE DRAGADO Y METODOLOGÍAS EMPLEADAS

Selección de los equipos de dragado

La elección de los equipos, así como de los procedimientos adecuados para realizar los trabajos de dragado dependen de varios factores tales como las características del terreno, calados, zona y volumen a dragar, tiempo del proyecto, sitio de vertido, entre otros.

A continuación, se mencionan algunos de los factores que se deben de tomar en cuenta, para la elección del equipo de dragado; de acuerdo con la “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”.

- › Ubicación y emplazamiento
- › Características del terreno
- › Homogeneidad del terreno
- › Calados requeridos
- › Profundidades máximas
- › Geometría de la zona a dragar
- › Tiempo y volumen por dragar
- › Distancia de vertido o descarga de material dragado
- › Características del lugar de descarga
- › Clima marítimo y condiciones oceanográficas

Es importante mencionar que en muchas ocasiones el equipo adecuado para llevar a cabo dichos trabajos no se encuentra disponible en el equipo y/o maquinaria con la que cuentan los contratistas, ya que no cuentan con dicho equipo o porque éste se encuentra ocupado en otros sitios o trabajos de dragado, o si el equipo se encuentra muy lejos al sitio de interés. Por estas razones es que muchas veces los trabajos de dragado se realizan con el equipo disponible y no con los equipos más adecuados.

Condiciones marítimas

A pesar de que las dragas son equipos de gran tamaño, factores como el oleaje, las corrientes y el oleaje repercuten directamente en la operatividad de dichos equipos.

Uno de los factores más importantes del clima marítimo es la altura de ola, misma que limita la operación de las dragas, de tal forma que, dependiendo de la altura de ola que se presente en el lugar o sitio a dragar y del equipo que se esté utilizando se tendrán las siguientes limitaciones.

- Las dragas estacionarias pueden trabajar con una altura de ola $H_s \leq 1 m$ y éstas se deben refugiar en puerto cuando $H_s \geq 2 m$.
- Las tuberías flotantes tienen que ser retiradas cuando $H_s \geq 2 m$.
- Las dragas de succión en marcha son operativas con $H_s \geq 2.5 m$.



Así mismo, la velocidad de las corrientes afecta la operatividad de los equipos de dragado a partir de 1 m/s, siendo así que su acción debe de ser tomada en cuenta para la instalación de las tuberías flotantes.

Otro punto importante que se debe de considerar es que las corrientes provocan la dispersión de los sólidos en suspensión, por tal motivo, las dragas de succión disminuyen significativamente su eficiencia y consecuentemente el rendimiento de las mismas.

Mecanismos de dragado

Comúnmente se pueden identificar tres mecanismos de dragado:

- Que el material fluya por gravedad hacia un lugar donde exista una fuerza de succión.
- Excavación por erosión.
- Excavación por acción mecánica de corte.

En la práctica no suele emplearse un solo mecanismo, sino una combinación de estos.

Clasificación de los equipos de dragado

Las dragas se clasifican de acuerdo con el principio que utilizan para realizar la extracción de los materiales deseados. De tal forma que se tienen:

- Dragas hidráulicas
- Dragas mecánicas
- Dragas combinadas

Dragas hidráulicas

El principio general de las dragas hidráulicas es mezclar los sedimentos con agua para formar un líquido el cual es succionado con la ayuda de bombas centrífugas, posteriormente es bombeado y transportado a través de tuberías y finalmente es depositado en un área preestablecida.

Enseguida se mencionan algunos equipos de dragado hidráulico y su funcionamiento.



› Draga Dustpan

La forma del cabezal de succión se asemeja al de una aspiradora, de allí se originó su nombre (en inglés).

La operación de dragado se realiza desde una barcaza y mediante un cabezal que se baja desde la proa; la draga produce una succión mediante bombas centrífugas, al mismo tiempo que ayuda a la formación de la mezcla de agua y material lanzando chorros de agua desde el cabezal.

El material se transporta por medio de tuberías y se descarga en el sitio previsto para la disposición de material dragado. Este tipo de draga son muy eficientes para retirar materiales no consolidados con pequeños espesores y en grandes áreas.

Es un equipo recomendado para la ejecución de dragados de mantenimiento en puertos.



Figura 4. 1. Draga Dustpan.

Fuente: Universitat Politècnica de València. Dragas Dustpan.

› Draga por inyección de agua

El dragado por inyección de agua trata de aprovechar al máximo las fuerzas de la naturaleza produciendo las mínimas perturbaciones, esta es la técnica de dragado hidráulico más característico.



Este equipo busca diluir el material sedimentario por medio de chorros de agua a presión. El material diluido fluye como una corriente por encima del fondo original hacia zonas de mayor profundidad. La distancia de transporte depende de la pendiente del fondo, la densidad y composición del material, tal que materiales finos pueden permanecer en suspensión un largo tiempo y ser transportados por las corrientes marinas varios kilómetros, mientras que para materiales como las arenas para ser transportadas deben ser movidas en cada paso, pero solo a pequeñas distancias

Para realizar el dragado, la draga cuenta con un cabezal provisto de boquillas que lanzan chorros de agua los cuales baja hasta el fondo mediante dos pistones hidráulicos o cabrestantes.

Generalmente este tipo de dragas son autopropulsadas. Cuando se van a iniciar los trabajos de dragado se baja el cabezal para que se apoye en el fondo, inmediatamente de inicia la inyección de agua con un gasto del orden de 10,000 m³/hora a una presión de 1 a 1.5 kg/cm². El buque se desplaza lentamente hacia adelante y va arrastrando la pluma de sedimento, la velocidad de desplazamiento de estos equipos es de 1 a 2 nudos.

También puede utilizarse como herramienta complementaria de tareas de dragado efectuadas por equipos convencionales como las dragas de succión por arrastre. Usualmente una draga por inyección de agua se utiliza en conjunto con una draga de succión por arrastre, con el fin de mejorar el rendimiento de la draga de succión por arrastre.



*Figura 4. 2. Dragas por inyección de agua.
Fuente: DRAVOSA. Dragas de inyección de agua.*

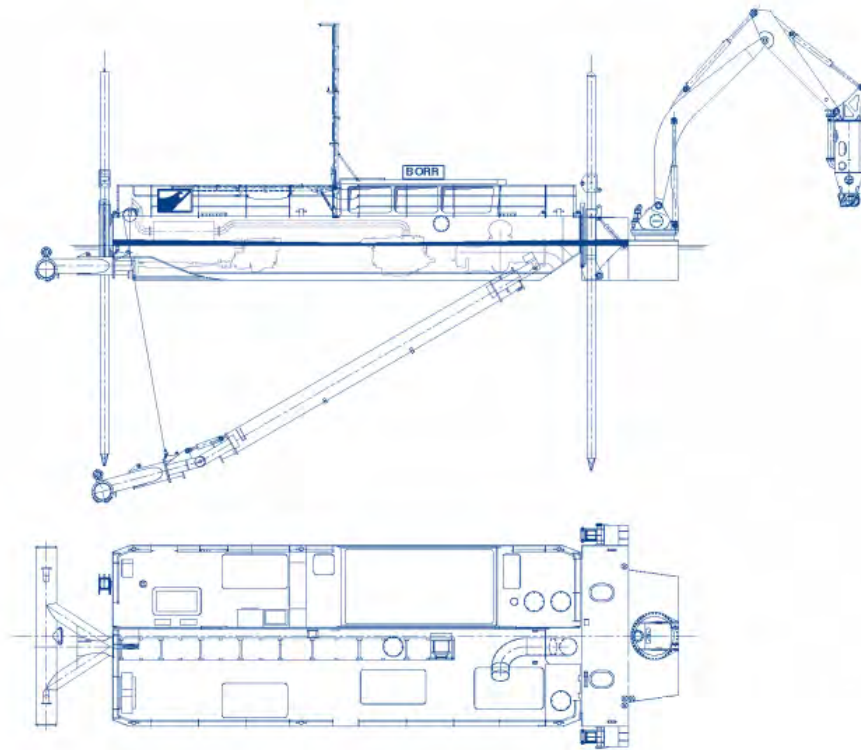


Figura 4. 3. Arreglo general de una draga por inyección de agua.
Fuente: DRAVOSA. Dragas de inyección de agua.

› Draga de succión simple

La draga de succión simple consiste en un barco equipado con bombas centrífugas, que tiene un tubo de succión que desciende hasta el fondo y que mediante la succión que producen dichas bombas se eleva la mezcla de agua con material sedimentario hasta la superficie. Esta operación se realiza cuando el barco se encuentra fondeado.

La profundidad por alcanzar depende de la longitud del tubo de succión y para incrementarla, la bomba puede ser instalada sobre dicho tubo de succión. Algunas dragas cuentan con cántara propia donde descargan el material, algunas otras descargan el material en barcazas o transportarlo mediante una tubería.

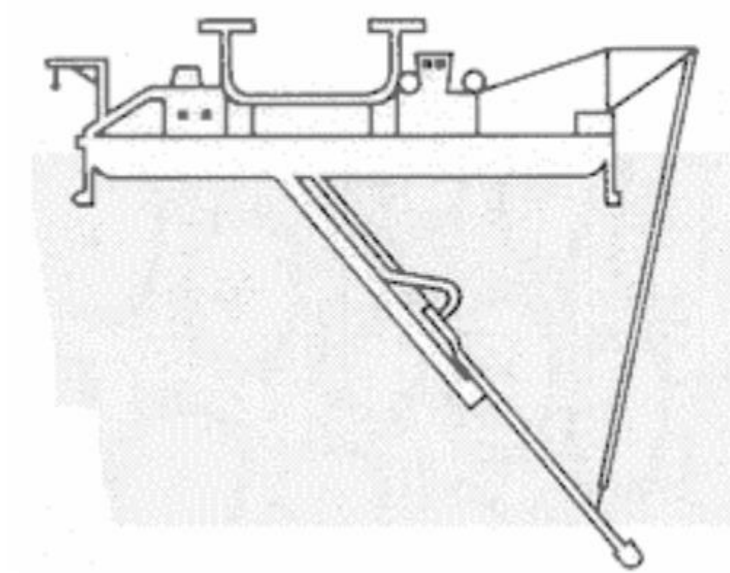


Figura 4. 4. Croquis, draga de succión simple.

Fuente: Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria. Ingeniería de dragado.

› Dragas de succión por arrastre

Las dragas de succión por arrastre (TSHD) son barcos autopropulsados que tienen cántaras en las que se coloca el material dragado. La operación de dragado se realiza mediante tubos de succión ubicados a los costados de la draga que se bajan hasta ponerlos en contacto con el fondo. La succión de la mezcla de agua y sedimento se efectúa mediante bombas centrífugas que están ubicadas en la bodega del buque o bien, en el tubo de succión para aumentar la profundidad de dragado. Con la finalidad de incrementar la capacidad para disgregar el material del fondo, al cabezal de dragado se pueden adicionar dientes o chorros de agua de baja o alta presión. El dragado se efectúa con la draga navegando a bajas velocidades.

Estos equipos son muy flexibles en lo que refiere a los tipos de material que pueden dragar; las posibilidades de disposición del material dragado y de la posibilidad de trabajar tanto en aguas protegidas como no protegidas.





Figura 4. 5. Croquis, draga de succión por arrastre.

Fuente: Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Náutica. Cálculo del equipo de dragado necesario para una draga de succión de 1,000 m³ de capacidad de cántara.

› Dragas de succión estacionaria

Realizan el dragado a través de una tubería instalada sobre una estructura rígida. La eficiencia de dragado de estos equipos aumenta considerablemente si se instala adicionalmente un cortador en el extremo de la tubería de succión.

En el mercado hay un gran número de dragas de cortador de tamaños y potencias muy distintas, desde las más pequeñas, adecuadas para dragar en los embalses de presas y en los ríos, que son desmontables y de fácil transportación, hasta las de gran porte que son capaces de dragar rocas de 50 MPa de resistencia a compresión simple e impulsar el material a través de una tubería a una distancia de 25 km. Además, pueden dragar hasta profundidades de 30 m.

Dependiendo del tamaño y modelo de la draga de succión, normalmente se pueden obtener rendimientos de 500 m³/día hasta 100,000 m³/día.



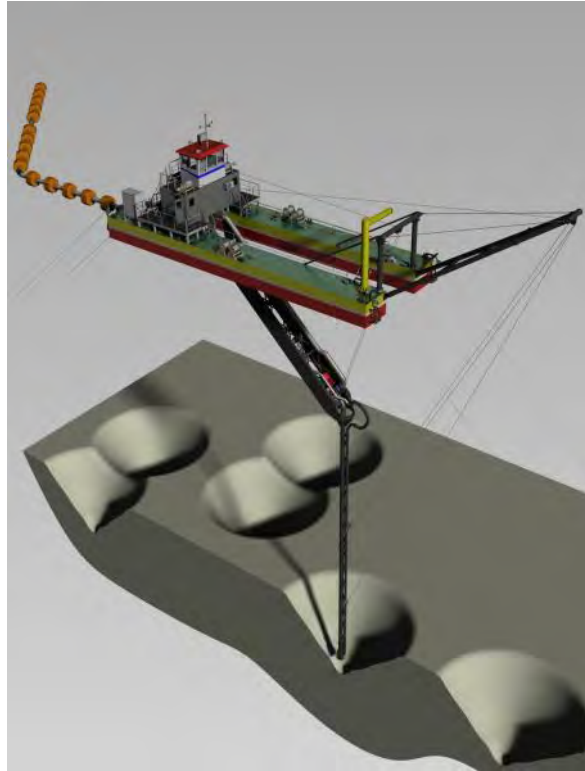


Figura 4. 6. Draga de succión estacionaria.

Fuente: Universitat Politècnica de València. Draga de succión estacionaria.

› Dragas de succión en marcha

Estos equipos realizan el dragado a través de una tubería de succión instalada sobre una embarcación, que dispone de una cántara para contener los materiales dragados. Para su operación requieren un calado mínimo de 5 m, pudiendo alcanzar en determinados casos los 12 m. Los grandes equipos pueden alcanzar una profundidad de dragado de hasta 100 m. Dragan avanzando a una velocidad aproximada de 2 nudos (1 m/s) y alcanzan velocidades de 12 nudos (6 m/s) durante la transportación del material.

Son dragas muy eficaces en el caso de materiales sueltos. Hay equipos modernos que llevan incorporado un sistema que inyecta agua a alta presión desde el cabezal de dragado, permitiendo disgregar y succionar rocas blandas.

Con dragas de gran porte se alcanzan rendimientos de 100,000 m³/día, en el caso de arenas.



Figura 4. 7. Draga de succión en marcha.
Fuente: DAMEN. Draga de tolva de succión en marcha 650.

Dragas mecánicas

Las dragas mecánicas utilizan en principio el mecanismo de corte para penetrar el suelo; estas dragas emplean equipos similares a los que se utilizan para movimientos de suelos en tierra firme. A diferencia de las dragas hidráulicas, el material se extrae con muy poca perturbación y con una mínima dilución, por lo que la eficiencia de estas dragas es alta, desde el punto de vista del porcentaje de extracción sin provocar demasiadas afectaciones en el medio.

› Dragas de cuchara de almejas

La draga de cuchara de almejas está compuesta por una grúa que sostiene mediante cables, una cuchara de almejas montada sobre una barcaza. La cuchara se deja caer hasta el fondo donde penetra por su propio peso; se cierra y por efecto de corte excava el material del fondo. Se eleva verticalmente la cuchara llena y el material se deposita sobre una o varias barcasas ubicadas a un costado de la draga, las cuales son las que llevan el material extraído al sitio de descarga.

Una ventaja de las dragas de cuchara es su capacidad para dragar en aguas relativamente profundas, pues la limitación de la profundidad alcanzable está dada por la capacidad del tambor del guinche. Generalmente, estas dragas no son propulsadas y se mantienen en posición con un campo de anclas o a veces con pilones; sin embargo, existen dragas de cuchara instaladas sobre



una embarcación de barcaza autopropulsada con zona habilitada para depositar el material dragado.

Estos equipos son muy versátiles y pueden colocar los materiales que transporta en el fondo marino, en banquetas, utilizarse para enrase, etc.

Las dragas de cuchara pueden dragar arenas, algunos tipos de arcillas, gravas, cantos rodados y rocas partidas, no obstante, son poco efectivas para dragar limos finos pues tienden a volcarse en la elevación de la cuchara.

Pueden trabajar únicamente cuando se tiene una altura de ola menor a 1 m y son capaces de operar con poco calado.

Posee un rendimiento inferior a los 1,500 m³/día.



Figura 4. 8. Draga de cuchara de almejas.

Fuente: Universitat Politècnica de València. Draga de succión estacionaria.

› Dragas tipo retroexcavadora (Bakhoe)

La draga tipo retroexcavadora está conformada por una retroexcavadora como las utilizadas en trabajos de tierra firme, montada sobre una barcaza habitualmente no autopropulsada, la cual se mantiene en posición mediante pilones. El material se excava del fondo y se coloca en barcasas.



Estos equipos presentan algunas limitaciones con las profundidades a dragar, sin embargo, existen nuevos modelos que están aumentando la profundidad de dragado.

Las dragas tipo retroexcavadora pueden dragar un gran rango de materiales, tales como arenas, arcillas, gravas, cantos rodados y roca fracturada.



*Figura 4. 9. Draga tipo retroexcavadora.
Fuente: DRAVOSA. Dragas de retroexcavación.*

› Dragas tipo pala (Dipper)

Están constituidas por una pala de empuje frontal instalada sobre una barcaza. Esta última dispone de un sistema de *spuds* situados uno a la banda de babor, otro en la banda de estribor a la altura del tercio delantero de la barcaza y un tercero centrado en la popa. Los *spuds* combinados con un conjunto de cabrestantes sujetos a anclas permiten:

1. Movimientos de la barcaza mediante pasos alternados de los *spuds* y movimientos de cabrestantes.
2. Cargar parte del peso de la barcaza sobre el terreno a través de los *spuds*, lo que ofrece una reacción a la acción de la pala que no se tendría en el caso de estar dicha barcaza a flote.

3. Reducir las escoras de la barcaza ante la acción del oleaje y del movimiento de las cargas, facilitando los giros de las máquinas que se hacen sobre un mecanismo a modo de corona que no admite grandes inclinaciones.

Estas dragas son capaces de dragar rocas duras y materiales muy compactados, sin embargo, tienen algunas limitaciones en lo que se refiere a las profundidades a dragar.

Las capacidades de los cazos de las palas se determinan en función de la máquina que las acciona y del terreno a excavar, variando entre 5 y 25 m³. De tal manera que los rendimientos oscilen entre 2,000 y 6,000 m³/día, estando condicionados por la naturaleza del terreno.



*Figura 4. 10. Draga tipo pala.
Fuente: Dragado en puertos marítimos.*

› Dragas de cangilones o de rosario

Las dragas de cangilones son de un diseño muy antiguo, y tiempo atrás tenían una participación muy importante en la flota de dragado de Europa. La draga utiliza para extraer el material del fondo una cadena de cangilones que gira indefinidamente, también se conoce como rosario de cangilones. Al girar la cadena, los cangilones excavan el material del fondo, lo elevan con el cangilón en posición vertical hasta la parte superior de la escalera y luego vuelcan el material en una rampa al rotar el cangilón. El material extraído se descarga en barcazas para ser transportado al sitio de disposición.

La draga de cangilones puede ser utilizada para dragar un amplio rango de materiales, incluyendo rocas blandas. Pueden ser autopropulsadas, aunque actualmente han caído en desuso debido a su mínima producción en comparación de otros equipos de dragado, su uso obstaculiza el tráfico de buques y son muy ruidosas durante su operación.

Alcanzan profundidades de dragado entre 20 y 30 m, siempre y cuando trabajen con alturas de ola significante menores a 1 m. Los rendimientos son muy variables dependiendo del material a extraer; oscilando entre 2,500 y 10,000 m³/día, para roca blanda y terreno suelto respectivamente.

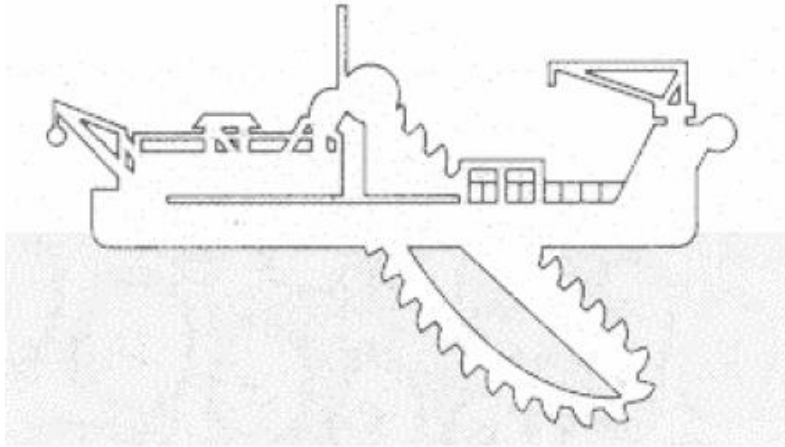


Figura 4. 11. Arreglo general de una draga tipo rosario.
Fuente: Escuela de Graduados en Ingeniería Portuaria. Ingeniería de dragado.



Figura 4. 12. Dragado tipo rosario.
Fuente: Dragado en puertos marítimos.

Dragas combinadas

Este tipo de dragas son aquellas que combinan acciones mecánicas e hidráulicas para realizar las tareas de dragado.

- › Draga de succión con cortador (CSD)

La draga de cortador consiste en un barco que aloja las bombas centrífugas para producir la succión de la mezcla de agua y sedimento, y una estructura en forma de marco denominada escalera que se baja hasta el fondo y que sostiene un eje con un cortador que gira en sentido normal al eje del tubo de succión. Este cortador es el responsable de la disgregación del material que al mismo tiempo es transportado por la corriente de agua generada por la succión.

La draga trabaja en forma estacionaria desplazándose hacia un lado y hacia el otro a medida que va realizando el corte. La draga se mantiene en posición mediante pilones. El material dragado se transporta mediante tuberías hasta la superficie y desde allí se impulsa mediante cañerías hasta el lugar de descarga.

Las dragas de succión con cortador tienen una producción muy elevada y pueden dragar todo tipo de materiales y son especialmente aptas para el dragado de rocas duras.



*Figura 4. 13. Cortador de la draga.
Fuente: DRAVOSA. Dragas de cortador.*



Figura 4. 14. Draga de succión con cortador.
Fuente: DRAVOSA. Dragas de cortador

› Draga de succión con cortador vertical

Es una draga idéntica a la draga de succión con cortador, con la única diferencia que el cortador rota en sentido del eje del tubo de succión. Esta draga representa una tecnología relativamente moderna y se utiliza con frecuencia en emprendimientos mineros.

› Otras dragas

Existen algunas dragas que no responden precisamente a las características mencionadas anteriormente, sin embargo, realizan esta tarea, algunos de estos equipos son: Rastra de fondo y Arado. Ambos equipos trabajan bajo el principio de arrastre.

En la tabla 4.1, se relacionan algunos de los distintos tipos de draga con la naturaleza de los terrenos que pueden dragar.



TIPO DE TERRENO	TIPO DE DRAGA					
	CUCHARA	PALA	ROSARIO	SUCCIÓN ESTACIONARIA	SUCCIÓN ESTACIONARIA CUTTER	SUCCIÓN EN MARCHA
Arena compacta		•	•		•	•
Arena suelta			•	•	•	•
Arena fangosa	•		•	•		•
Fangos	•		•	•		•
Arcilla suelta	•		•		•	
Arcilla plástica	•	•	•		•	
Arcilla compacta		•	•		•	
Arena con grava	•	•	•		•	•
Rocas sin voladura		•	•		•	
Rocas (previa voladura)	•	•	•			

Tabla 4. 1. Tipo de terreno/ Tipo de draga

Fuente: Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Madrid, España.

En las tablas 4.2 y 4.3 se muestran las ventajas y desventajas de los distintos tipos de dragas.



DRAGAS MECÁNICAS		
	VENTAJAS	DESVENTAJAS
DRAGAS DE CUCHARA	Requieren poco calado	Hs < 1 m
	Pueden trabajar en zonas muy localizadas	Bajo rendimiento
	Pueden trabajar en las proximidades de estructuras	Costo elevado
	Gran precisión	No dragan terrenos heterogéneos
	Pueden dragar en terrenos emergidos abriendo canal	
	Flexibles en cuanto a la profundidad de dragado	
	Facilidad para instalar barreras anticontaminantes	
DRAGAS DE PALA	Requieren poco calado	Hs < 1 m
	Pueden trabajar en zonas muy localizadas	Costo elevado
	Pueden trabajar en las proximidades de estructuras	Pocas unidades
	Pueden dragar en terrenos emergidos abriendo canal	
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	
	Muy aptas para dragados en zanja	
	Facilidad para instalar barreras anticontaminantes	
DRAGAS DE ROSARIO	Alta precisión	Hs ≤ 1 m
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	Operación de montaje lenta (varios días)
	Aptas para dragados en zanja	Existen pocas unidades
	Enrasan banquetas	Requieren calado mínimo aproximado de 6 m
		Son muy ruidosas

Tabla 4. 2. Ventajas y desventajas de las dragas mecánicas.

Fuente: Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Madrid, España.



DRAGAS DE SUCCIÓN		
	VENTAJAS	DESVENTAJAS
DRAGAS ESTACIONARIAS SIN CORTADOR	Gran variedad de modelos	Hs < 1 m
	Buenos rendimientos	Muy limitadas en cuanto al tipo de terreno
	Bajo coste	Requieren instalar tubería
	Fácil movilización	
DRAGAS ESTACIONARIAS CON CORTADOR	Gran variedad de modelos	Hs < 1 m
	Alto rendimiento	Requieren instalar tubería
	Versátiles en cuanto al tipo de terreno	Retirar tubería Hs > 2 m
	Bajo coste	
DRAGAS DE SUCCIÓN EN MARCHA	Adecuadas para verter en recinto	
	Alto rendimiento	No aptas para dragados localizados
	No requiere instalación	Requieren amplias zonas para maniobrar
	Bajo coste	Calado mínimo en torno a 5 m
	Tren de dragado completo	No adecuadas para fangos
	Autopropulsadas	
	Equipos modernos	
Buen control del dragado		
Pueden trabajar con Hs < 2.5 m		

Tabla 4. 3. Ventajas y desventajas de las dragas de succión.
Fuente: Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Madrid, España.

En la actualidad existen diversos equipos y maquinaria de dragado, sin embargo, las dragas tienen un alto índice de ocupación por lo que su uso debe de contemplarse y gestionarse con basta anticipación.

Equipos auxiliares

Los equipos auxiliares más utilizados en los trabajos de dragado son:

- › *Barcazas*; embarcaciones que cuentan con una cántara de carga, en la cual se deposita el material dragado para ser transportado hasta el sitio de descarga. Estas embarcaciones pueden ser autopropulsadas y tener diferentes formas de descarga del material, siendo la más habitual la apertura por fondo.



- › *Embarcaciones de usos múltiples*; embarcaciones que realizan diversas funciones, tales como la instalación de tuberías flotantes, fondeo y fijación de anclas, obtención de batimetrías, transporte de personal, entre otras.
- › *Estaciones de rebombeo (Boosters)*; se pueden utilizar bombas adicionales cuando la potencia de la bomba instalada en la draga no sea suficiente para impulsar el material hasta el sitio de descarga.
- › *Elevadores*; se pueden utilizar equipos de elevación del material cuando la altura donde se deba colocar dicho material es superior a la del medio de transporte de llegada.



CAPÍTULO 5. ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES

Estimación de volúmenes y evaluación económica

Para evaluar económicamente la viabilidad de los proyectos de dragado, se debe de especificar un costo unitario, el cual permita cuantificar de una manera sencilla el costo que tendrá el proyecto a realizar.

Dicho costo está en función del volumen a extraer, el tipo de draga (capacidad y rendimiento), uso de equipos auxiliares, dificultad de movilización de los equipos auxiliares y de dragado, maniobrabilidad de los operadores y de la colocación del material extraído.

En la práctica, el volumen dragado en una zona se calcula mediante una comparación de batimetrías: batimetría inicial vs. batimetría final. Para fines de estimaciones de pago, se calcula el volumen dragado de la manera descrita anteriormente, sin embargo, ¿qué pasa con el volumen de material acarreado que se acumula durante el periodo de dragado?, pues como dicho material se va acumulando al mismo tiempo que se desarrollan los trabajos de dragado, éste se draga; por lo anterior, ese volumen no entra en la cuantificación y por ende este volumen “extra” no se paga; así las empresas de dragado experimentadas saben que deben de incluir ese volumen extra en los costos indirectos de su presupuesto.

Para obtener las batimetrías suele utilizarse una lancha e instrumentos electrónicos para el sondeo y posicionamiento de las profundidades obtenidas y así determinar la configuración del fondo marino, considerando los cambios y variaciones de marea.

Para los propósitos del presente trabajo, se parte del volumen medio anual obtenido de los registros de la cartera de proyectos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (véase, tabla 2.2. Historial proyectos de dragado de mantenimiento en el Puerto de Manzanillo), el cuál es de 128,147 m³ de material a dragar. Este volumen se obtuvo sin considerar los volúmenes de dragado de los proyectos emergentes. Para fines prácticos, el volumen se redondeará a 130,000 m³.

Como se menciona en el capítulo 3, la mayoría de los sedimentos que se encuentran en el fondo del recinto portuario provienen de la Laguna de Las Garzas; bajo esta consideración, se procedió a estimar los volúmenes de transporte litoral y proveniente de la laguna, respectivamente.



Cuantificación del transporte litoral

De acuerdo con la fórmula de Larrás, el volumen de sedimentos marinos que entra al puerto (provenientes del mar) cada segundo se puede estimar de la siguiente manera:

$$Q_s = KgH_0^2Kr^2Tsen\frac{7}{4}\alpha$$

definido el coeficiente K , como:

$$K = 1.8x10^{-6}\left(\phi_{50}^{-\frac{1}{2}}\right)\frac{L_0}{H_0}$$

Donde el subíndice 0, significa que las características del oleaje son en aguas profundas; $T = 8 s$, $H_0 = 0.7 m$ y mediante la relación de dispersión de la teoría lineal del oleaje L_0 vale:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$L_0 = \frac{9.81 * 8^2}{2\pi}$$

$$L_0 = 99.93 m$$

Con base al estudio granulométrico presentado en el Diagnóstico de la vulnerabilidad ante el cambio climático del destino turístico de Manzanillo, Colima.; se tiene que el diámetro medio de la partícula en la zona de estudio es de 0.329 mm (arena media), de tal manera que el valor de K , resulta:

$$K = 1.8x10^{-6}\left(\phi_{50}^{-\frac{1}{2}}\right)\frac{L_0}{H_0}$$

$$K = 1.8x10^{-6}\left(0.329^{-\frac{1}{2}}\right)\frac{99.93}{0.7}$$

$$K = 4.48x10^{-4}$$

De acuerdo con el estudio de Simulación numérica de olas en el interior del Puerto de Manzanillo del Instituto Mexicano del Transporte, se determinó que en el sitio de estudio la dirección del oleaje incidente que predomina proviene del Sur-Suroeste (200°), de tal manera que, considerando la línea de costa coincidente con el Norte, el ángulo de incidencia del oleaje es de 20°, aproximadamente.



Teniendo todos los datos requeridos para aplicar la fórmula de Larrás, se tiene que el volumen de sedimentos transportados por segundo es:

$$Q_s = KgH_0^2Kr^2Tsen\frac{7}{4} \alpha$$

$$Q_s = 4.48 \times 10^{-4} * 9.81 * 0.7^2 * 0.5^2 * 8 * sen\left(\frac{7}{4} * 20\right)$$

$$Q_s = 0.0024 \text{ m}^3/\text{s}$$

Esto quiere decir que llegan poco más de 213 m³ de sedimentos diarios a la zona de interés. Lo anterior representa un volumen anual de 77,900.21 m³ de sedimentos. Sin embargo, no todo este volumen de arena penetra al recinto portuario, ya que existen escolleras que protegen la boca y desvían los sedimentos hacia la zona exterior contigua.

De igual manera, en el cálculo anterior solamente se considera un diámetro de partícula, por lo que para que el resultado de la fórmula de Larrás sea válido, se requiere tener mucha certeza en la determinación del mismo.

Para la estimación del volumen del transporte litoral se considerará un volumen 20% menor al calculado, debido a que no todo el volumen del transporte litoral entrará al puerto por el efecto de los rompeolas y de él, no todo será dragado, por lo que resulta en 62,320.17 m³.

El cálculo de sedimentos por transporte litoral nos ayuda a darnos una idea del volumen de material playero que entraría al puerto o bien a la bahía de Manzanillo de manera natural y, para fines de estimación del volumen a dragar real, se deberá de efectuar un levantamiento batimétrico de la zona antes, durante y después de los trabajos de dragado, a fin de obtener un cálculo preciso.

Sin embargo, el transporte litoral no es el único proceso físico presente en el puerto de Manzanillo, pues su vecindad con la Laguna de Las Garzas le comparte una aportación extra de sedimentos. Al comparar el volumen determinado por transporte litoral, con el obtenido de los dragados de mantenimiento efectuados en los últimos años, se concluye que los volúmenes aportados por la Laguna de Las Garzas son aún mayores que los aportados del transporte litoral.

El volumen medio anual dragado es de 130,000 m³ y el volumen de sedimentos por transporte litoral es de aproximadamente 62,320 m³, se deduce que el volumen aproximado de sedimentos que se dragan provenientes de la Laguna de Las Garzas es de 67,680 m³.

Como parte de las obras compensatorias de la API Manzanillo, se construyó un dique (figuras 5.1 y 5.2) que regula el acceso y desagüe de la Laguna de Las Garzas hacia el puerto, a fin de retener el material y que no afecte a las áreas de agua del puerto.



Este dique tiene un efecto secundario, pues evita la oxigenación de las aguas de la laguna y el libre tránsito de los peces y otros organismos. Para compensar parcialmente esta afectación, se tiene contemplada la construcción del Parque Metropolitano dentro de la Laguna de Las Garzas, por lo cual sería relevante realizar una simulación del flujo que existirá si se va a quitar dicho dique, a fin de conocer las condiciones que se tendrán en un futuro.



*Figura 5. 1. Estado actual del dique.
Fuente: Fotografía en sitio, febrero 2018.*



*Figura 5. 2. Estado actual del dique.
Fuente: Fotografía en sitio, febrero 2018.*

Con ese fin se efectuó una sencilla simulación del tránsito de mareas, la cual podría determinar la posibilidad de erosión o deposición del material entre el puerto y la Laguna de Las Garzas, considerando un volumen de dragado anual aproximado de 67,680 m³.

Tránsito de mareas

Antes de describir la simulación numérica del tránsito de mareas, es conveniente mencionar algunos conceptos y definiciones que intervienen en ella:

- Prisma de marea (Ω): Volumen de agua que entra o sale de un estuario en un ciclo de marea.
- Transporte litoral (μ). Es el volumen de arena que es transferido a través de una sección de playa por unidad de tiempo.
- Ω/μ : Factor de estabilidad, entre más grande más estable será el estuario y no habrá erosión de este.

Análisis del funcionamiento hidráulico del canal

Para realizar el funcionamiento hidráulico del canal, se deben de conocer las dimensiones y material de canal que conecta la Laguna de Las Garzas y el recinto portuario, el área de la laguna, área, perímetro y radio hidráulico del canal, pendiente hidráulica y los niveles de variación de la marea.

En la figura 5.3, se muestra la Laguna de Las Garzas y los ejes de las secciones de estudio.





Figura 5. 3. Vista en planta de la Laguna de Las Garzas y las secciones de estudio.
Fuente: Imagen satelital.

El área aproximada de la Laguna de Las Garzas es de 855,705 m². La cual se obtuvo al trazar el polígono de la laguna en el programa de Google Earth.

Por otra parte, con base en el Programa Nacional de Desarrollo Portuario, se tiene que la sección transversal del canal interlagunar es como se muestra en la figura 5.4.

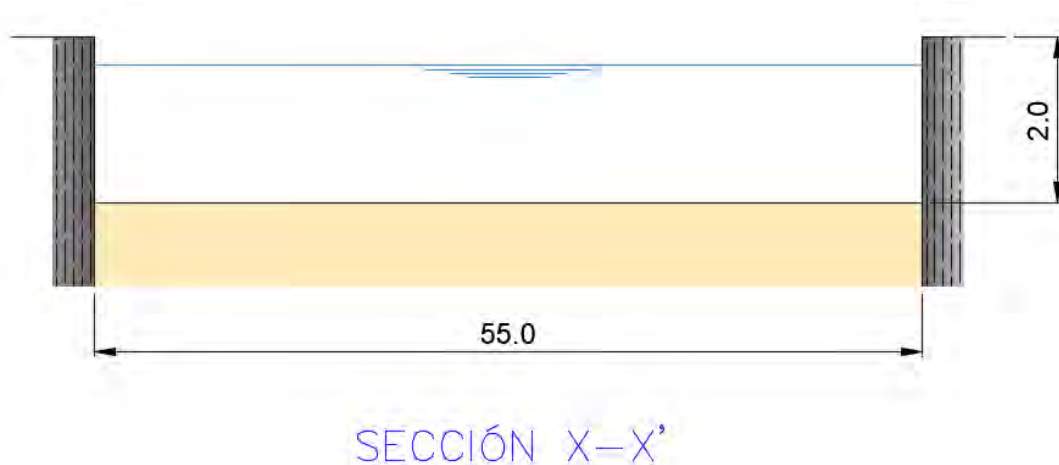


Figura 5. 4. Croquis. Sección transversal del canal interlagunar.
Fuente: Elaboración propia con datos del PNDP 2017.

El canal interlagunar se construyó por parte de la Gerencia de Ingeniería de la API Manzanillo, como parte de las obras de protección que posee el puerto, esto con la finalidad y propósito de brindarle a la Laguna de Las Garzas una conexión con el mar y así evitar la posibilidad de que la laguna se seque, manteniendo el intercambio de aguas con el mar, por efecto de la variación de mareas.

El ancho del canal es de 55.0 m con una profundidad media de 2.0 m; tiene una longitud de 724.32 m y está construido con tablestacas, por lo que el canal está compuesto por material sedimentario en el fondo y con paredes metálicas. En la figura 5.5, se muestra la vista en perfil del canal interlagunar, el cual conecta el puerto con la laguna.

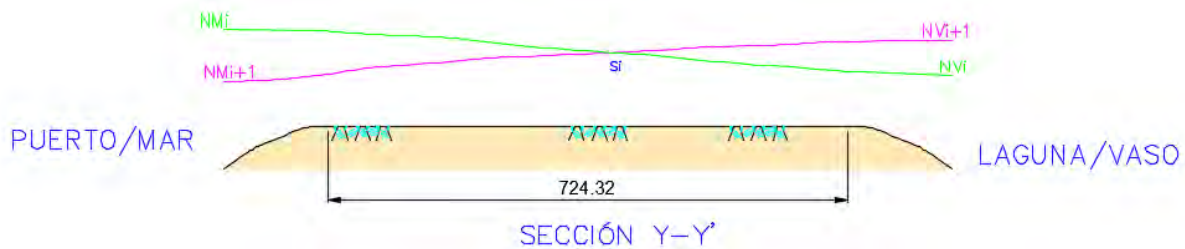


Figura 5. 5. Croquis. Vista en perfil del canal interlagunar.
Fuente: Elaboración propia con datos del PNDP 2017.

De acuerdo con los coeficientes de Manning presentados en el libro de Hidráulica de canales de Sotelo Ávila, G., se tiene que para canales revestidos con metal/metal corrugado el coeficiente n de Manning va de 0.021 hasta 0.030, para fines de cálculo (considerando un moderado grado de oxidación de la tablestaca) se utilizará un coeficiente de Manning igual a 0.027.

Para el fondo del canal, se considera un canal excavado o dragado en línea recta sin vegetación, cuyo coeficiente de Manning se propone de 0.030, ello debido al azolve presente en el canal.

Por medio de la ecuación de Horton y Einstein (1933), se tiene que el coeficiente de Manning equivalente para este canal es:

$$n_{eq} = \left(\frac{\sum Pn^{1.5}}{P} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$n_{eq} = \left(\frac{2 * 0.027^{1.5} + 55 * 0.03^{1.5} + 2 * 0.027^{1.5}}{59} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$n_{eq} = 0.0298$$

Para el tránsito de mareas se utilizaron los registros de pleamares y bajamares de la estación Manzanillo, Col., de la Secretaría de Marina Armada de México para el mes de febrero de 2017.

Conocidas las condiciones de marea, las características generales del canal y de la laguna, se procede al cálculo mediante las siguientes ecuaciones.

S_i , pendiente hidráulica en el instante t_i . $S_i = \frac{NM_i - NV_i}{L}$

NM_i , nivel del mar en el instante t_i .

NV_i , nivel del vaso (laguna) en el instante t_i

L , longitud del canal interlagunar.

V_i , velocidad media en el instante t_i . $V_i = \frac{1}{n} Rh^{2/3} S_i^{1/2}$

Rh , del canal interlagunar.

Q_i , gasto que entra o sale del vaso (laguna). $Q_i = V_i a$

a , área transversal del canal.

A , área del vaso (laguna).

Si estas características son representativas de un intervalo Δt , $\Delta t = t_{i+1} - t_i$.

Ω_i , El volumen de agua que entra o sale en el intervalo. $\Omega_i = Q_i \Delta t_i$

ΔNV_i , sobreelevación o reducción del nivel del agua en el vaso en el intervalo Δt . $\Delta NV_i = \frac{\Omega_i}{A}$.

NV_{i+1} , nivel del agua en el vaso (laguna) en el instante t_i . $NV_{i+1} = NV_i + \Delta NV_i$

S_{i+1} , pendiente hidráulica en el instante t_i . $S_{i+1} = \frac{NM_{i+1} - NV_{i+1}}{L}$

Per Brun dice que, si el cociente del prisma de marea con el transporte litoral neto es mayor a 150, se considera que el canal y el vaso (laguna), son estables en todo el ciclo de marea analizado, es decir, no hay sedimentación ni erosión.

Para el tránsito de mareas aquí analizado se considera que el transporte litoral neto es el volumen de sedimento dragado proveniente de la Laguna de Las Garzas (67,680 m³).

En las tablas 5.1, 5.2, 5.3, y 5.4, se muestran los resultados del tránsito de mareas.



Estación: MANZANILLO, COL.													Febrero, 2017		
DÍA	ti (hr)	NMi (m)	NVi (m)	Si	¿entra o sale?	Vi (m/s)	Qi (m³/s)	+ - Qi	Δti (s)	Qi (m³)	ΔNVi (m)	Qi (m³/máx/min)	Qi (m³/ciclo)	Qi/Mn	
1	0														
	4														
	5:13:00	0.200000	0.200	0.00000	estable	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.000				
	8	0.333402	0.200	0.00018	entra	0.69	75.88	75.88	10,020	760,326.15	0.889				
	10:51:00	0.470000	1.089	-0.00085	sale	1.49	163.39	-163.39	10,260	-1,676,412.49	-1.959	-916,086.34		136,253.63	2.01
	12	0.400303	-0.871	0.00175	entra	2.13	234.21	234.21	14,400	969,618.10	1.133				
	16	0.157879	0.263	-0.00014	sale	0.61	67.22	-67.22	14,400	-967,931.27	-1.131				
17:27:00	0.070000	-0.869	0.00130	entra	1.83	201.27	201.27	5,220	1,050,653.15	1.228	1,052,339.97				
20	0.227115	0.359	-0.00018	sale	0.69	75.51	-75.51	9,180	-693,216.36	-0.810					
24	0.473570	-0.451	0.00128	entra	1.82	199.75	199.75	14,400	2,876,437.68	3.361					
0:16:00	0.490000	2.911	-0.00334	sale	2.94	323.23	-323.23	960	-310,301.08	-0.363	1,872,920.24		168,294.68	2.49	
4	0.316207	2.548	-0.00308	sale	2.82	310.37	-310.37	13,440	-4,171,326.97	-4.875					
6:04:00	0.220000	-2.327	0.00352	entra	3.01	331.55	331.55	7,440	2,466,701.41	2.883	-1,704,625.57				
8	0.266400	0.556	-0.00040	sale	1.02	111.78	-111.78	6,960	-778,012.38	-0.909					
11:04:00	0.340000	-0.353	0.00096	entra	1.57	172.99	172.99	11,040	1,909,769.82	2.232	1,131,757.44				
12	0.314748	1.879	-0.00216	sale	2.36	259.80	-259.80	3,360	-872,920.01	-1.020			-681,487.92	10.07	
16	0.206525	0.858	-0.00090	sale	1.52	167.74	-167.74	14,400	-2,415,410.59	-2.823					
17:21:00	0.170000	-1.964	0.00295	entra	2.76	303.52	303.52	4,860	1,475,085.25	1.724	-1,813,245.36				
20	0.275066	-0.241	0.00071	entra	1.36	149.17	149.17	9,540	1,423,120.74	1.663					
24	0.433656	1.423	-0.00137	sale	1.88	206.60	-206.60	14,400	-2,975,073.65	-3.477					
0:55:00	0.470000	-2.054	0.00348	entra	3.00	330.07	330.07	3,300	1,089,237.22	1.273	-462,715.70		2,313,059.85	34.18	
4	0.395575	-0.781	0.00162	entra	2.05	225.37	225.37	11,100	2,501,659.40	2.924					
8	0.299023	2.142	-0.00254	sale	2.56	282.06	-282.06	14,400	-4,061,662.83	-4.747					
12	0.202471	-2.604	0.00388	entra	3.16	348.06	348.06	14,400	5,012,067.52	5.857					
12:31:00	0.190000	3.253	-0.00423	sale	3.31	363.60	-363.60	1,860	-676,288.54	-0.790	2,775,775.55				
16	0.255156	2.463	-0.00305	sale	2.81	308.67	-308.67	12,540	-3,870,731.79	-4.523					
20	0.329976	-2.061	0.00330	entra	2.92	321.24	321.24	14,400	4,625,790.42	5.406					
24	0.404796	3.345	-0.00406	sale	3.24	356.24	-356.24	14,400	-5,129,800.79	-5.995					
2:25:00	0.450000	-2.650	0.00428	entra	3.33	365.78	365.78	8,700	3,182,286.65	3.719	-1,192,455.51		-3,560,721.35	52.61	
4	0.388710	1.069	-0.00094	sale	1.56	171.36	-171.36	5,700	-976,773.21	-1.141					
8	0.233871	-0.072	0.00042	entra	1.05	114.98	114.98	14,400	1,655,685.33	1.935					
12	0.079032	1.862	-0.00246	sale	2.52	277.45	-277.45	14,400	-3,995,221.92	-4.669					
12:45:00	0.050000	-2.806	0.00394	entra	3.19	351.13	351.13	2,700	948,043.96	1.108	-2,368,265.84				
16	0.192683	-1.699	0.00261	entra	2.60	285.71	285.71	11,700	3,342,790.28	3.906					
20	0.368293	2.208	-0.00254	sale	2.56	281.78	-281.78	14,400	-4,057,683.15	-4.742					
20:57:00	0.410000	-2.534	0.00406	entra	3.24	356.47	356.47	3,420	1,219,116.33	1.425	504,223.46		3,280,935.55	48.48	
24	0.390109	-1.109	0.00207	entra	2.31	254.40	254.40	10,980	2,793,272.57	3.264					
0:01:00	0.390000	2.155	-0.00244	sale	2.51	276.01	-276.01	60	-16,560.48	-0.019	2,776,712.09				
4	0.474806	2.136	-0.00229	sale	2.43	267.74	-267.74	14,340	-3,839,390.46	-4.487					
5:11:00	0.500000	-2.351	0.00394	entra	3.19	350.80	350.80	4,260	1,494,418.47	1.746	-2,344,971.99		-2,735,462.84	40.42	
8	0.297060	-0.605	0.00125	sale	1.79	197.29	-197.29	10,140	2,000,545.56	2.338					
12	0.008861	1.733	-0.00238	sale	2.48	272.81	-272.81	14,400	-3,928,398.66	-4.591					
13:14:00	-0.080000	-2.858	0.00383	entra	3.15	346.25	346.25	4,440	1,537,362.25	1.797	-390,490.85				
16	0.134558	-1.061	0.00165	entra	2.07	227.17	227.17	9,960	2,262,627.09	2.644					
20	0.444762	1.583	-0.00157	sale	2.02	221.66	-221.66	14,400	-3,191,850.73	-3.730					
20:35:00	0.490000	-2.147	0.00364	entra	3.07	337.37	337.37	2,100	708,477.39	0.828	-220,746.25		1,867,743.79	27.60	
24	0.384485	-1.319	0.00235	entra	2.47	271.16	271.16	12,300	3,335,289.20	3.898					
1:07:00	0.350000	2.579	-0.00308	sale	2.82	310.15	-310.15	4,020	-1,246,799.16	-1.457	2,088,490.04				
4	0.483077	1.122	-0.00088	sale	1.51	166.01	-166.01	10,380	-1,723,197.94	-2.014					
6:19:00	0.590000	-0.892	0.00205	entra	2.30	252.93	252.93	8,340	2,109,437.85	2.465	386,239.91		-1,546,769.28	22.85	
8	0.411499	1.573	-0.00160	sale	2.04	223.90	-223.90	6,060	-1,356,834.38	-1.586					
12	-0.012662	-0.013	0.00000	entra	0.00	0.39	0.39	14,400	5,568.65	0.007					
13:46:00	-0.200000	-0.006	-0.00027	sale	0.83	91.47	-91.47	6,360	-581,743.47	-0.680	-1,933,009.19				
16	0.039624	-0.686	0.00100	entra	1.61	176.97	176.97	8,040	1,422,859.13	1.663					
20	0.468800	0.977	-0.00070	sale	1.35	148.07	-148.07	14,400	-2,132,267.04	-2.492					
20:51:00	0.560000	-1.515	0.00286	entra	2.72	299.27	299.27	3,060	915,765.56	1.070	206,357.65		659,873.83	9.75	
24	0.398185	-0.445	0.00116	entra	1.73	190.75	190.75	11,340	2,163,140.52	2.528					
1:43:00	0.310000	2.083	-0.00245	sale	2.51	276.64	-276.64	6,180	-1,709,624.34	-1.998	453,516.18				
4	0.463168	0.085	0.00052	entra	1.16	127.73	127.73	8,220	1,049,977.26	1.227					
7:05:00	0.670000	1.312	-0.00089	sale	1.51	166.49	-166.49	11,100	-1,847,998.00	-2.160	-798,020.75		510,724.18	7.55	
8	0.549608	-0.847	0.00193	entra	2.23	245.56	245.56	3,300	810,345.64	0.947					
12	0.024263	0.100	-0.00010	sale	0.52	57.00	-57.00	14,400	-820,871.63	-0.959					
14:19:00	-0.280000	-0.860	0.00080	entra	1.44	158.19	158.19	8,340	1,319,270.91	1.542	1,308,744.92				
16	-0.062349	0.682	-0.00103	sale	1.63	179.24	-179.24	6,060	-1,086,198.84	-1.269					
20	0.454843	-0.587	0.00144	entra	1.93	212.09	212.09	14,400	3,054,152.18	3.569					
21:12:00	0.610000	2.982	-0.00327	sale	2.91	319.96	-319.96	4,320	-1,382,206.50	-1.615	585,746.85		433,336.42	6.40	
24	0.415298	1.367	-0.00131	sale	1.84	202.62	-202.62	10,080	-2,042,444.69	-2.387					
2:14:00	0.260000	-1.020	0.00177	entra	2.14	235.08	235.08	8,040	1,890,034.26	2.209	-152,410.43				
4	0.414182	1.188	-0.00107	sale	1.66	182.80	-182.80	6,360	-1,162,625.39	-1.359					
7:44:00	0.740000	-0.170	0.00126	entra	1.80	198.21	198.21	13,440	2,664,008.75	3.113	1,501,383.37		-78,980.91	1.17	
8	0.700281	2.943	-0.00310	sale	2.83	311.12	-311.12	960	-298,679.32	-0.349					
12	0.104496	2.594	-0.00344	sale	2.98	327.79	-327.79	14,400	-4,720,215.69	-5.516					
14:51:00	-0.320000	-2.922	0.00359	entra	3.05	335.14	335.14	10,260	3,438,530.73	4.018	-1,580,364.27				
16	-0.156940	1.096	-0.00173	sale	2.11	232.56	-232.56	4,140	-962,794.90	-1.125					
20	0.410224	-0.029	0.00061	entra	1.25	137.69	137.69	14,400	1,982,797.37	2.317					
21:33:00	0.630000	2.288	-0.00229	sale	2.43	267.52	-267.52	5,580	-1,492,762.39	-1.744	-472,759.93		171,759.51	2.54	
24	0.434951	0.544	-0.00015	sale	0.62	68.49	-68.49	8,820	-604,054.95	-0.706					
9	2:42:00	0.220000	-0.162	0.00053	entra	1.17	128.45	128.45	9,720	1,248,574.39	1.459	644,519.43			

Tabla 5. 1. Tránsito de mareas.

Fuente: Elaboración propia con datos del SEMAR 2017.



8	16	-0.156940	1.096	-0.00173	sale	2.11	232.56	-232.56	4,146	-962,794.90	-1.125						
	20	0.410224	-0.029	0.00061	entra	1.25	137.69	137.69	14,400	1,982,797.37	2.317						
	21:33:00	0.630000	2.288	-0.00229	sale	2.43	267.52	-267.52	5,580	-1,492,762.39	-1.744	-472,759.93	171,759.51	2.54			
	24	0.434951	0.544	-0.00015	sale	0.62	68.49	-68.49	8,820	-604,054.95	-0.706						
9	2:42:00	0.220000	-0.162	0.00053	entra	1.17	128.45	128.45	9,720	1,248,574.39	1.459	644,519.43					
	4	0.349231	1.297	-0.00131	sale	1.84	202.24	-202.24	4,680	-946,471.70	-1.106						
	8	0.746864	0.191	0.00077	entra	1.41	154.93	154.93	14,400	2,230,969.18	2.607						
	8:20:00	0.780000	2.798	-0.00279	sale	2.68	295.12	-295.12	1,200	-354,147.43	-0.414	930,350.05	457,786.12	6.76			
	12	0.210404	2.384	-0.00300	sale	2.78	306.30	-306.30	13,200	-4,043,147.45	-4.725						
	15:21:00	-0.310000	-2.341	0.00280	entra	2.69	296.07	296.07	12,060	3,570,583.52	4.173	-472,563.93					
	16	-0.216244	1.832	-0.00283	sale	2.70	297.32	-297.32	2,340	-695,722.87	-0.813						
	20	0.360742	1.019	-0.00091	sale	1.53	168.53	-168.53	14,400	-2,426,800.03	-2.836						
10	21:52:00	0.630000	-1.817	0.00338	entra	2.95	325.01	325.01	6,720	2,184,034.92	2.552	-938,487.98	-216,677.37	3.20			
	24	0.448868	0.735	-0.00040	sale	1.01	111.14	-111.14	7,680	-853,579.17	-0.998						
	3:10:00	0.180000	-0.262	0.00061	entra	1.26	138.19	138.19	11,400	1,575,389.77	1.841	721,810.61					
	4	0.196826	1.579	-0.00191	sale	2.22	244.21	-244.21	3,000	-732,637.22	-0.856						
	8	0.687289	0.722	-0.00005	sale	0.35	38.94	-38.94	14,400	-560,675.81	-0.655						
	8:53:00	0.780000	0.067	0.00098	entra	1.59	175.40	175.40	3,180	557,781.47	0.652	-735,531.57	245,347.44	3.63			
	12	0.306867	0.719	-0.00057	sale	1.21	133.38	-133.38	11,220	-1,496,502.35	-1.749						
	15:48:00	-0.270000	-1.030	0.00105	entra	1.65	181.10	181.10	13,680	2,477,381.36	2.895	980,879.01					
11	16	-0.242115	1.865	-0.00291	sale	2.74	301.60	-301.60	720	-217,149.65	-0.254						
	20	0.315587	1.612	-0.00179	sale	2.15	236.51	-236.51	14,400	-3,405,714.46	-3.980						
	22:11:00	0.620000	-2.368	0.00413	entra	3.26	359.15	359.15	7,860	2,822,910.50	3.299	-799,953.61	-228,398.42	3.37			
	24	0.465247	0.930	-0.00064	sale	1.29	141.70	-141.70	6,540	-926,736.00	-1.083						
	3:35:00	0.160000	-0.153	0.00043	entra	1.06	116.15	116.15	12,900	1,498,291.19	1.751	571,555.19					
	4	0.201787	1.598	-0.00193	sale	2.23	245.52	-245.52	1,500	-368,281.25	-0.430						
	8	0.602939	1.168	-0.00078	sale	1.42	156.17	-156.17	14,400	-2,248,880.39	-2.628						
	9:22:00	0.740000	-1.460	0.00304	entra	2.80	308.16	308.16	4,920	1,516,126.60	1.772	-1,101,035.04	-3,460,140.15	51.13			
12	12	0.377756	0.312	0.00009	entra	0.49	53.40	53.40	9,480	506,193.59	0.592						
	16	-0.172488	0.903	-0.00149	sale	1.96	215.48	-215.48	14,400	-3,102,889.91	-3.626						
	16:12:00	-0.200000	-2.723	0.00348	entra	3.00	329.99	329.99	720	237,591.21	0.278	-2,359,105.11					
	20	0.282540	-2.445	0.00377	entra	3.12	343.13	343.13	13,680	4,693,957.45	5.485						
	22:30:00	0.600000	3.040	-0.00337	sale	2.95	324.54	-324.54	9,000	-2,920,868.41	-3.413	1,773,089.04	351,155.21	5.19			
	24	0.476524	-0.373	0.00117	entra	1.74	191.50	191.50	5,400	1,034,109.53	1.208						
	3:58:00	0.150000	-0.835	-0.00095	sale	1.56	171.99	-171.99	14,280	-2,456,043.37	-2.870	-1,421,933.83					
	4	0.153037	-2.035	0.00302	entra	2.79	307.30	307.30	120	36,875.99	0.043						
13	8	0.517507	-1.992	0.00346	entra	2.99	329.10	329.10	14,400	4,738,987.67	5.538						
	9:47:00	0.680000	3.546	-0.00396	sale	3.20	351.74	-351.74	6,420	-2,258,139.23	-2.639	2,517,724.43	2,729,527.08	40.33			
	12	0.419280	0.907	-0.00067	sale	1.32	145.15	-145.15	7,980	-1,158,330.28	-1.354						
	16	-0.051191	-0.446	0.00055	entra	1.19	130.58	130.58	14,400	1,880,301.56	2.197						
	16:30:00	-0.110000	-1.751	-0.00257	sale	2.58	283.43	-283.43	1,800	-510,168.63	-0.596	211,802.65					
	20	0.266781	1.155	-0.00123	sale	1.78	195.79	-195.79	12,600	-2,467,003.74	-2.883						
	22:49:00	0.570000	-1.728	0.00317	entra	2.86	314.94	314.94	10,140	3,193,511.07	3.732	726,507.33					
	24	0.476921	2.004	-0.00211	sale	2.33	256.73	-256.73	4,260	-1,093,670.76	-1.278						
14	4	0.162287	0.726	-0.00078	sale	1.42	155.97	-155.97	14,400	-2,245,922.41	-2.625						
	4:17:00	0.140000	-1.899	0.00281	entra	2.70	296.64	296.64	1,020	302,576.07	0.354	-3,037,017.10					
	8	0.433926	-1.545	0.00273	entra	2.66	292.27	292.27	13,380	3,910,568.81	4.570						
	10:06:00	0.600000	3.025	-0.00335	sale	2.94	323.51	-323.51	7,560	-2,445,752.82	-2.858	1,464,815.99					
	12	0.420153	0.167	0.00035	entra	0.95	104.60	104.60	6,840	715,475.51	0.836						
	16	0.041527	1.003	-0.00133	sale	1.85	203.69	-203.69	14,400	-2,933,129.94	-3.428						
	16:39:00	-0.020000	-2.425	0.00332	entra	2.93	322.18	322.18	2,340	753,910.84	0.881	-1,463,743.58					
	20	0.273890	-1.544	0.00251	entra	2.55	280.11	280.11	12,060	3,378,093.36	3.948						
15	23:02:00	0.540000	2.404	-0.00257	sale	2.58	283.63	-283.63	10,920	-3,097,236.84	-3.620	280,856.52					
	24	0.469483	-1.216	0.00233	entra	2.45	269.70	269.70	3,480	938,541.08	1.097						
	4	0.177690	-0.119	0.00041	entra	1.03	113.14	113.14	14,400	1,629,251.26	1.904						
	4:31:00	0.140000	1.785	-0.00227	sale	2.42	266.47	-266.47	1,860	-495,630.91	-0.579	2,072,161.43					
	8	0.364797	1.206	-0.00116	sale	1.73	190.53	-190.53	12,540	-2,389,287.79	-2.792						
	10:15:00	0.510000	-1.586	0.00289	entra	2.73	300.80	300.80	8,100	2,436,477.78	2.847	47,189.99					
	12	0.380132	1.261	-0.00122	sale	1.77	194.99	-194.99	6,300	-1,228,440.65	-1.436						
	16	0.083289	-0.175	0.00036	entra	0.96	105.49	105.49	14,400	1,519,127.56	1.775						
16	16:35:00	0.040000	1.601	-0.00215	sale	2.36	259.55	-259.55	2,100	-545,047.58	-0.637	-254,360.67					
	20	0.287051	0.964	-0.00093	sale	1.55	170.91	-170.91	12,300	-2,102,143.34	-2.457						
	23:05:00	0.510000	-1.493	0.00277	entra	2.67	294.02	294.02	11,100	3,263,599.77	3.814	1,161,456.42					
	24	0.451935	2.321	-0.00258	sale	2.58	284.04	-284.04	3,300	-937,317.49	-1.095						
	4	0.198563	1.226	-0.00142	sale	1.91	210.56	-210.56	14,400	-3,032,004.87	-3.543						
	4:46:00	0.150000	-2.318	0.00341	entra	2.97	326.35	326.35	2,760	900,729.19	1.053	-3,068,593.17					
	8	0.310675	-1.265	0.00218	entra	2.37	260.78	260.78	11,640	3,035,500.25	3.547						
	10:12:00	0.420000	2.282	-0.00257	sale	2.58	283.52	-283.52	7,920	-2,245,503.77	-2.624	789,996.48					
16	12	0.323415	-0.342	0.00092	entra	1.54	169.44	169.44	6,480	1,097,962.22	1.283						
	16	0.108780	0.941	-0.00115	sale	1.72	189.57	-189.57	14,400	-2,729,778.79	-3.190						
	16:21:00	0.090000	-2.249	0.00323	entra	2.89	317.72	317.72	1,260	400,323.18	0.468						

15	20	0.312335	-1.781	0.00289	entra	2.73	300.58	300.58	13,140	3,949,613.86	4.616			
	22:55:00	0.490000	2.835	-0.00324	sale	2.89	318.12	-318.12	10,500	-3,340,303.22	-3.904	609,310.64	1,834,478.62	27.11
	24	0.433478	-1.069	0.00207	entra	2.31	254.64	254.64	3,900	993,107.46	1.161			
16	4	0.224783	0.092	0.00018	entra	0.69	75.78	75.78	14,400	1,091,248.12	1.275			
	5:03:00	0.170000	1.367	-0.00165	sale	2.07	227.30	-227.30	3,780	-859,187.60	-1.004	1,225,167.98		
	8	0.273759	0.363	-0.00012	sale	0.56	62.04	-62.04	10,620	-658,825.48	-0.770			
	9:53:00	0.340000	-0.407	0.00103	entra	1.63	179.56	179.56	6,780	1,217,418.68	1.423	558,593.21	1,679,331.68	24.81
	12	0.260191	1.016	-0.00104	sale	1.64	180.58	-180.58	7,620	-1,376,030.43	-1.608			
	15:59:00	0.110000	-0.592	0.00097	entra	1.58	174.11	174.11	14,340	2,496,768.91	2.918	1,120,738.48		
	16	0.110925	2.325	-0.00306	sale	2.81	309.16	-309.16	60	-18,549.86	-0.022			
17	20	0.332925	2.304	-0.00272	sale	2.65	291.66	-291.66	14,400	-4,199,888.72	-4.908			
	22:39:00	0.480000	-2.604	0.00426	entra	3.32	364.86	364.86	9,540	3,480,810.38	4.068	-737,628.19	-2,100,148.51	31.03
	24	0.425597	1.463	-0.00143	sale	1.92	211.65	-211.65	4,860	-1,028,605.85	-1.202			
	4	0.264403	0.261	0.00000	entra	0.10	11.45	11.45	14,400	164,855.18	0.193			
	5:21:00	0.210000	0.454	-0.00034	sale	0.93	102.63	-102.63	4,860	-498,769.64	-0.583	-1,362,520.31		
	8	0.261055	-0.129	0.00054	entra	1.18	129.73	129.73	9,540	1,237,602.11	1.446			
	8:59:00	0.280000	1.317	-0.00143	sale	1.92	211.61	-211.61	3,540	-749,092.16	-0.875	488,509.95	1,505,899.28	22.25
18	12	0.188225	0.442	-0.00035	sale	0.95	104.66	-104.66	10,860	-1,136,660.66	-1.328			
	14:54:00	0.100000	-0.886	0.00136	entra	1.88	206.33	206.33	10,440	2,154,050.00	2.517	1,017,389.33		
	16	0.156614	1.631	-0.00204	sale	2.29	252.26	-252.26	3,960	-998,960.28	-1.167			
	20	0.362483	0.464	-0.00014	sale	0.60	66.05	-66.05	14,400	-951,163.74	-1.112			
	22:17:00	0.480000	-0.648	0.00156	entra	2.01	220.65	220.65	8,220	1,813,737.82	2.120	-136,386.20	-1,139,345.42	16.83
	24	0.427667	1.472	-0.00144	sale	1.93	212.27	-212.27	6,180	-1,311,819.54	-1.533			
	4	0.305727	-0.061	0.00051	entra	1.14	125.89	125.89	14,400	1,812,761.94	2.118			
19	5:30:00	0.260000	2.057	-0.00248	sale	2.53	278.50	-278.50	5,400	-1,503,901.62	-1.758	-1,002,959.22		
	8	0.279231	0.300	-0.00003	sale	0.27	29.59	-29.59	9,000	-266,266.09	-0.311			
	8:06:00	0.280000	-0.012	0.00040	entra	1.02	112.20	112.20	360	40,391.35	0.047	-225,874.74	-1,150,110.99	16.99
	12	0.131034	0.036	0.00013	entra	0.58	64.20	64.20	14,040	901,347.20	1.053			
	14:23:00	0.040000	1.089	-0.00145	sale	1.93	212.77	-212.77	8,580	-1,825,583.45	-2.133	-924,236.25		
	16	0.135910	-1.045	0.00163	entra	2.05	225.72	225.72	5,820	1,313,703.75	1.535			
	20	0.373213	0.491	-0.00016	sale	0.65	71.21	-71.21	14,400	-1,025,382.69	-1.198			
20	21:48:00	0.480000	-0.708	0.00164	entra	2.06	226.40	226.40	6,480	1,467,103.57	1.714	1,755,424.63	-15,359.13	0.23
	24	0.419677	1.007	-0.00081	sale	1.45	159.20	-159.20	7,920	-1,260,884.70	-1.474			
	4	0.310000	-0.467	0.00107	entra	1.66	183.08	183.08	14,400	2,636,416.10	3.081			
	6:47:00	0.330000	2.614	-0.00315	sale	2.85	314.00	-314.00	10,020	-3,146,315.16	-3.677	-1,770,783.76		
	8	0.274225	-1.062	0.00185	entra	2.18	240.20	240.20	4,380	1,052,068.32	1.229			
	12	0.090854	0.167	-0.00011	sale	0.52	57.32	-57.32	14,400	-825,457.67	-0.965			
	14:12:00	-0.010000	-0.798	0.00109	entra	1.68	184.38	184.38	7,920	1,460,316.19	1.707	1,686,926.84	1,408,707.58	20.81
21	16	0.108389	0.909	-0.00111	sale	1.69	185.88	-185.88	6,480	-1,204,504.78	-1.408			
	20	0.371477	-0.499	0.00120	entra	1.76	193.80	193.80	14,400	2,790,752.19	3.261			
	21:39:00	0.480000	2.763	-0.00315	sale	2.85	313.88	-313.88	5,940	-1,864,466.67	-2.179	-278,219.25		
	24	0.414923	0.584	-0.00023	sale	0.78	85.37	-85.37	8,460	-722,202.80	-0.844			
	3:04:00	0.330000	-0.260	0.00081	entra	1.45	159.61	159.61	11,040	1,762,086.59	2.059	1,039,883.80	-1,175,721.27	17.37
	4	0.344933	1.799	-0.00201	sale	2.28	250.52	-250.52	3,360	-841,747.56	-0.984			
	6:49:00	0.390000	0.815	-0.00059	sale	1.23	135.49	-135.49	10,140	-1,373,857.51	-1.606	-2,215,605.07		
22	8	0.316109	-0.790	0.00153	entra	1.99	218.52	218.52	4,260	930,896.36	1.088			
	12	0.066335	0.298	-0.00032	sale	0.91	99.92	-99.92	14,400	-1,438,862.53	-1.681			
	14:11:00	-0.070000	-1.384	0.00181	entra	2.16	238.13	238.13	7,860	1,871,733.74	2.187	1,363,767.57	1,555,108.07	22.98
	16	0.071953	0.804	-0.00101	sale	1.62	177.70	-177.70	6,540	-1,162,130.71	-1.358			
	20	0.384512	-0.555	0.00130	entra	1.83	201.33	201.33	14,400	2,899,121.39	3.388			
	21:21:00	0.490000	2.833	-0.00324	sale	2.89	318.04	-318.04	4,860	-1,545,650.18	-1.806	191,340.50		
	24	0.399900	1.027	-0.00087	sale	1.50	164.54	-164.54	9,540	-1,569,678.08	-1.834			
23	2:21:00	0.320000	-0.807	0.00156	entra	2.01	220.58	220.58	8,460	1,866,077.04	2.181	296,398.95	727,715.37	10.75
	4	0.372847	1.374	-0.00138	sale	1.89	207.82	-207.82	5,940	-1,234,467.76	-1.443			
	7:02:00	0.470000	-0.069	0.00074	entra	1.39	152.54	152.54	10,920	1,665,784.18	1.947	431,316.42		
	8	0.390787	1.878	-0.00205	sale	2.30	253.32	-253.32	3,480	-881,558.24	-1.030			
	12	0.063009	0.847	-0.00108	sale	1.67	183.99	-183.99	14,400	-2,649,492.21	-3.096			
	14:14:00	-0.120000	-2.249	0.00294	entra	2.76	303.13	303.13	8,040	2,437,176.40	2.848	-1,093,874.06	-522,359.23	7.72
	16	0.037602	0.599	-0.00078	sale	1.42	155.69	-155.69	6,360	-990,213.87	-1.157			
24	20	0.394436	-0.558	0.00131	entra	1.84	202.75	202.75	14,400	2,919,602.46	3.412			
	21:11:00	0.500000	2.854	-0.00325	sale	2.90	318.75	-318.75	4,260	-1,357,873.76	-1.587	571,514.83		
	24	0.381304	1.267	-0.00122	sale	1.78	195.53	-195.53	10,140	-1,982,702.83	-2.317			
	2:10:00	0.290000	-1.050	0.00185	entra	2.19	240.49	240.49	7,800	1,875,798.20	2.192	-106,904.63	911,517.86	13.47
	4	0.382857	1.142	-0.00105	sale	1.65	181.04	-181.04	6,600	-1,194,832.84	-1.396			
	7:18:00	0.550000	-0.254	0.00111	entra	1.69	186.30	186.30	11,880	2,213,255.33	2.586	1,018,422.49		
	8	0.478511	2.332	-0.00256	sale	2.57	282.87	-282.87	2,520	-712,828.75	-0.833			
25	12	0.070000	1.499	-0.00197	sale	2.26	248.38	-248.38	14,400	-3,576,639.43	-4.180			
	14:21:00	-0.170000	-2.680	0.00347	entra	2.99	329.17	329.17	8,460	2,784,818.79	3.254	-1,504,649.38	-946,103.20	13.98
	16	-0.001796	0.574	-0.00079	sale	1.43	157.64	-157.64	5,940	-936,389.10	-1.094			
	20	0.405971	-0.520	0.00128	entra	1.82	199.95	199.95	14,400	2,879,312.25	3.365			
	21:13:00	0.530000	2.845	-0.00320	sale	2.87	316.07	-316.07	4,380	-1,384,376.97	-1.618	558,546.18		
	24	0.368567	1.227	-0.00118	sale	1.75	192.45	-192.45	10,020	-1,928,384.76	-2.254			
	2:13:00	0.240000	-1.027	0.00175	entra	2.13	233.84	233.84	7,980	1,866,033.09	2.181	-62,351.67	1,272,049.06	18.80
26	4	0.368400	1.154	-0.00108	sale	1.67	184.12	-184.12	6,420	-1,182,056.76	-1.381			
	7:38:00	0.630000	-0.228	0.00118	entra	1.75	192.39	192.39	13,080	2,516,457.49	2.941	1,334,400.73		

Tabla 5. 3. Tránsito de mareas. Continuación.
Fuente: Elaboración propia con datos del SEMAR 2017.



22	8	0.478511	2.332	-0.00256	sale	2.57	282.87	-282.87	2,520	-712,828.75	-0.833	-1,504,649.38	-946,103.20	13.98																				
	12	0.070000	1.499	-0.00197	sale	2.26	248.38	-248.38	14,400	-3,576,639.43	-4.180																							
	14:21:00	-0.170000	-2.680	0.00347	entra	2.99	329.17	329.17	8,460	2,784,818.79	3.254																							
	16	-0.001796	0.574	-0.00079	sale	1.43	157.64	-157.64	5,940	-936,389.10	-1.094																							
	20	0.405971	-0.520	0.00128	entra	1.82	199.95	199.95	14,400	2,879,312.25	3.365																							
23	21:13:00	0.530000	2.845	-0.00320	sale	2.87	316.07	-316.07	4,380	-1,384,376.97	-1.618	558,546.18	-62,351.67	1,272,049.06	18.80																			
	24	0.368567	1.227	-0.00118	sale	1.75	192.45	-192.45	10,020	-1,928,384.76	-2.254																							
	2:13:00	0.240000	-1.027	0.00175	entra	2.13	233.84	233.84	7,980	1,866,033.09	2.181																							
	4	0.368400	1.154	-0.00108	sale	1.67	184.12	-184.12	6,420	-1,182,056.76	-1.381																							
	7:38:00	0.630000	-0.228	0.00118	entra	1.75	192.39	192.39	13,080	2,516,457.49	2.941																							
24	8	0.584940	2.713	-0.00294	sale	2.76	303.09	-303.09	1,320	-400,074.79	-0.468	-1,676,567.83	-1,448,073.31	21.40																				
	12	0.093373	2.246	-0.00297	sale	2.77	304.79	-304.79	14,400	-4,389,019.92	-5.129																							
	14:33:00	-0.220000	-2.883	0.00368	entra	3.08	339.06	339.06	9,180	3,112,526.88	3.637																							
	16	-0.055000	0.754	-0.00112	sale	1.70	186.86	-186.86	5,220	-975,404.51	-1.140																							
	20	0.400172	-0.386	0.00109	entra	1.67	184.20	184.20	14,400	2,652,470.49	3.100																							
25	21:19:00	0.550000	2.714	-0.00299	sale	2.78	305.61	-305.61	4,740	-1,448,571.46	-1.693	228,494.52	255,960.24	1,586,787.73	23.45																			
	24	0.361205	1.021	-0.00091	sale	1.53	168.75	-168.75	9,660	-1,630,149.33	-1.905																							
	2:26:00	0.190000	-0.884	0.00148	entra	1.96	215.31	215.31	8,760	1,886,109.57	2.204																							
	4	0.329466	1.320	-0.00137	sale	1.88	206.78	-206.78	5,640	-1,166,240.04	-1.363																							
	8	0.685549	-0.043	0.00101	entra	1.61	177.30	177.30	14,400	2,553,172.64	2.984																							
26	8:03:00	0.690000	2.941	-0.00311	sale	2.83	311.70	-311.70	180	-56,105.12	-0.066	1,330,827.49	-1,417,828.30	-2,084,750.14	30.80																			
	12	0.146634	2.875	-0.00377	sale	3.12	343.19	-343.19	14,220	-4,880,104.43	-5.703																							
	14:53:00	-0.250000	-2.828	0.00356	entra	3.03	333.55	333.55	10,380	3,462,276.13	4.046																							
	16	-0.109924	1.218	-0.00183	sale	2.18	239.45	-239.45	4,020	-962,574.93	-1.125																							
	20	0.391839	0.094	0.00041	entra	1.03	113.47	113.47	14,400	1,633,934.76	1.909																							
27	21:30:00	0.580000	2.003	-0.00196	sale	2.25	247.83	-247.83	5,400	-1,338,281.68	-1.564	-666,921.85	594,367.95	1,373,753.52	20.30																			
	24	0.367066	0.439	-0.00010	sale	0.51	55.74	-55.74	9,000	-501,673.49	-0.586																							
	2:47:00	0.130000	-0.147	0.00038	entra	0.99	109.39	109.39	10,020	1,096,041.44	1.281																							
	4	0.256957	1.134	-0.00121	sale	1.77	194.52	-194.52	4,380	-852,016.42	-0.996																							
	8	0.674348	0.138	0.00074	entra	1.38	152.16	152.16	14,400	2,191,053.24	2.561																							
28	8:32:00	0.730000	2.698	-0.00272	sale	2.65	291.49	-291.49	1,920	-559,651.24	-0.654	779,385.58	-235,001.41	-1,185,638.67	17.52																			
	12	0.220297	2.044	-0.00252	sale	2.55	280.60	-280.60	12,480	-3,501,843.56	-4.092																							
	15:16:00	-0.260000	-2.048	0.00247	entra	2.53	277.79	277.79	11,760	3,266,842.15	3.818																							
	16	-0.162725	1.770	-0.00267	sale	2.63	288.81	-288.81	2,640	-762,465.69	-0.891																							
	20	0.367866	0.879	-0.00071	sale	1.35	148.50	-148.50	14,400	-2,138,414.28	-2.499																							
29	21:45:00	0.600000	-1.620	0.00307	entra	2.81	309.56	309.56	6,300	1,950,242.72	2.279	-950,637.25	724,796.35	-4,562.21	0.07																			
	24	0.385321	0.659	-0.00038	sale	0.99	108.66	-108.66	8,100	-880,174.16	-1.029																							
	3:12:00	0.080000	-0.370	0.00062	entra	1.27	139.32	139.32	11,520	1,604,970.51	1.876																							
	4	0.170256	1.506	-0.00184	sale	2.18	240.10	-240.10	2,880	-691,495.33	-0.808																							
	8	0.621538	0.698	-0.00011	sale	0.52	57.37	-57.37	14,400	-826,196.60	-0.966																							
30	9:03:00	0.740000	-0.268	0.00139	entra	1.90	208.55	208.55	3,780	788,333.37	0.921	-729,358.57	892,100.27	113,332.34	1.67																			
	12	0.308618	0.654	-0.00048	sale	1.11	122.02	-122.02	10,620	-1,295,826.37	-1.514																							
	15:41:00	-0.230000	-0.861	0.00087	entra	1.50	165.00	165.00	13,260	2,187,926.64	2.557																							
	16	-0.188000	1.696	-0.00260	sale	2.59	285.17	-285.17	1,140	-325,091.94	-0.380																							
	20	0.342526	1.316	-0.00134	sale	1.86	205.00	-205.00	14,400	-2,951,991.30	-3.450																							
31	22:01:00	0.610000	-2.134	0.00379	entra	3.13	344.12	344.12	7,260	2,498,315.31	2.920	-778,767.93	612,347.72	-230,452.03	3.41																			
	24	0.405799	0.786	-0.00052	sale	1.16	128.10	-128.10	7,140	-914,652.69	-1.069																							
	3:39:00	0.030000	-0.283	0.00043	entra	1.06	116.21	116.21	13,140	1,527,000.41	1.784																							
	4	0.069412	1.502	-0.00198	sale	2.26	248.63	-248.63	1,260	-313,272.43	-0.366																							
	8	0.519832	1.136	-0.00085	sale	1.48	163.01	-163.01	14,400	-2,347,412.39	-2.743																							
32	9:36:00	0.700000	-1.608	0.00319	entra	2.87	315.61	315.61	5,760	1,817,885.08	2.124	-842,799.75	252,398.72	765,428.32	11.31																			
	12	0.377113	0.517	-0.00019	sale	0.71	77.62	-77.62	8,640	-670,608.28	-0.784																							
	16	-0.161031	-0.267	0.00015	entra	0.61	67.63	67.63	14,400	973,882.49	1.138																							
	16:04:00	-0.170000	0.871	-0.00144	sale	1.93	211.98	-211.98	240	-50,875.49	-0.059																							
	20	0.320880	0.812	-0.00068	sale	1.32	145.54	-145.54	14,160	-2,060,877.77	-2.408																							
33	22:19:00	0.610000	-1.597	0.00305	entra	2.81	308.62	308.62	8,340	2,573,907.37	3.008	513,029.60	4:08:00	0.000000	0.795	-0.00110	sale	1.68	185.30	-185.30	480	-88,942.36	-0.104	-615,800.55	-27,111.98	0.40								
	24	0.433467	1.411	-0.00135	sale	1.87	205.43	-205.43	6,060	-1,244,889.48	-1.455																							
	3:39:00	0.030000	-0.283	0.00043	entra	1.06	116.21	116.21	13,140	1,527,000.41	1.784																							
	4	0.069412	1.502	-0.00198	sale	2.26	248.63	-248.63	1,260	-313,272.43	-0.366																							
	8	0.519832	1.136	-0.00085	sale	1.48	163.01	-163.01	14,400	-2,347,412.39	-2.743																							
34	9:36:00	0.700000	-1.608	0.00319	entra	2.87	315.61	315.61	5,760	1,817,885.08	2.124	-842,799.75	10:09:00	0.640000	-1.098	0.00240	entra	2.49	273.85	273.85	7,740	-2,119,633.15	2.477	588,688.57	399,230.17	5.90								
	12	0.377113	0.517	-0.00019	sale	0.71	77.62	-77.62	8,640	-670,608.28	-0.784																							
	16	-0.161031	-0.267	0.00015	entra	0.61	67.63	67.63	14,400	973,882.49	1.138																							
	16:04:00	-0.170000	0.871	-0.00144	sale	1.93	211.98	-211.98	240	-50,875.49	-0.059																							
	20	0.320880	0.812	-0.00068	sale	1.32	145.54	-145.54	14,160	-2,060,877.77	-2.408																							
35	22:19:00	0.610000	-1.597	0.00305	entra	2.81	308.62	308.62	8,340	2,573,907.37	3.008	513,029.60	12	0.423920	1.380	-0.00132	entra	1.85	203.09	-203.09	6,660	-1,352,569.00	-1.581	16	-0.043280	-0.201	0.00022	entra	0.75	82.55	82.55	14,400	1,188,648.60	1.389
	24	0.433467	1.411	-0.00135	sale	1.87	205.43	-205.43	6,060	-1,244,889.48	-1.455																							
	3:39:00	0.030000	-0.283	0.00043	entra	1.06	116.21	116.21	13,140	1,527,000.41	1.784																							
	4	0.069412	1.502	-0.00198	sale	2.26	248.63	-248.63	1,260	-313,272.43	-0.366																							
	8	0.519832	1.136	-0.00085	sale	1.48	163.01	-163.01	14,400	-2,347,412.39	-2.743																							
36	9:36:00	0.700000	-1.608	0.00319	entra	2.87	315.61	315.61	5,760	1,817,885.08	2.124	-842,799.75	16:24:00	-0.090000	1.188	-0.00176	sale	2.14	234.86	-234.86	1,440	-338,196.24	-0.395	20	0.315362	0.793	-0.00066	sale	1.30	143.54	-143.54	12,960	-1,860,273.60	-2.174
	12	0.377113	0.517	-0.00019	sale	0.71	77.62	-77.62	8,640	-670,608.28	-0.784																							
	16	-0.161031	-0.267	0.00015	entra	0.61	67.63	67.63	14,400	973,882.49	1.138																							
	16:04:00	-0.170000	0.871	-0.00144	sale	1.93	211.98	-211.98	240	-50,875.49	-0.059																							
	20	0.320880	0.812	-0.00068	sale	1.32	145.54	-145.54	14,160	-2,060,877.77	-2.408																							
37	22:19:00																																	

febrero de 2017 se considera estable el canal ni la laguna, ya que el prisma de marea es sumamente pequeño en comparación con el volumen aproximado de sedimentos.

En otras palabras, el material que es transportado de la laguna hacia el puerto por el canal es muy grande respecto al volumen de agua que transporta dicho material.

Lo anterior significa que si se retira el dique que actualmente está construido entrará mucho más material por parte de la laguna, lo que ocasionaría un incremento significativo en el volumen anual del material a dragar y consecuentemente la frecuencia de este.

Si el proyecto de la construcción del Parque Metropolitano dentro de la Laguna de Las Garzas se realiza y se elimina el dique, se podrían realizar dragados interlagunares, con el propósito de reducir la cantidad de sedimentos posibles dentro de la laguna, evitando que esos sedimentos entren directamente al puerto, pero, sobre todo, para tratar de sanear la laguna y regresarla hacia su estado inicial ambiental.

Con el fin de obtener datos más precisos acerca del volumen de transporte litoral y de los sedimentos que aporta la Laguna de Las Garzas al puerto, sería necesario elaborar estudios granulométricos, de geotecnia y de mecánica de materiales específicos en el sitio de interés, lo cual rebaza los propósitos del presente trabajo. Con ello, se tendrá mayor certeza de las características del material, del volumen de sedimentos que se deberán de dragar y se fundamentaría la estimación de volúmenes y características del material a dragar, bajo diferentes escenarios de manera más adecuada.



CAPÍTULO 6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Alternativa I.

Para realizar el dragado de mantenimiento en el puerto interior de Manzanillo, es necesaria la movilización inicial del equipo principal, y del equipo auxiliar. Se propone el uso como equipo principal una draga estacionaria de succión con cortador “CSD” y una draga de succión simple con tolva “TSHD”, la primera de estas, remueve el material del fondo marino en franjas de 50 m de ancho a partir del paramento de los muelles, y lo deposita a través de su tubería flotante, siendo temporalmente depositado en las zonas de transición o en las dársenas de ciaboga, poniéndolo en un sitio que sea alcanzable para la draga del tipo “TSHD”, misma que se encargará del transporte final al sitio de vertido en la zona autorizada para la descarga del mismo.

Para comenzar con las operaciones de dragado, la TSHD navegará hasta la zona de dragado, una vez en el sitio, la draga baja el tubo de succión y el cabezal de dragado hasta el fondo marino, se encienden las bombas y se inician los trabajos de dragado. Durante el dragado, el cabezal raspa sobre el fondo marino y afloja los sedimentos que pudieran estar consolidados. La mezcla de sedimentos y agua es succionada hasta arriba por el tubo de succión y es bombeado hasta la tolva. Durante el dragado, la draga navega lentamente, alcanzando velocidades de arrastre de pocos nudos.

En el sitio a dragar, la CSD mantiene su posición con los postes de patas y los dos cables laterales. La pata principal es arrojada al lecho marino, asegurando la popa de la draga. Durante el dragado, la CSD realiza un movimiento de pivoteo alrededor de la pata principal. Con el fin de crear el movimiento de balanceo requerido la draga despliega anclas laterales en ambos lados de la escalera del cortador, las cuales están conectadas con cables de acero a los cabestrantes laterales a bordo de la CSD, que al mismo tiempo se sumergen y se extraen. Dependiendo de la profundidad del agua y de la longitud, una CSD puede realizar un corte de entre 5 y 120 m de ancho. Para iniciar las obras de dragado, la escalera del cortador se baja. La cabeza del cortador rota, lo que provoca que el suelo del lecho marino se afloje. La bomba levanta una mezcla de suelo aflojado y agua, misma que es transportada a través de la tubería de succión hacia la bomba y la libera mediante el sistema de descarga.

El flujo de la mezcla puede ser:

- › Expulsado a través de una tubería a un área de saneamiento.
- › Expulsado a través de una tubería hacia un pontón esparcidor.
- › Expulsado a barcasas tolva.

La alternativa I, tiene contemplado dragar un volumen aproximado de 130,000 m³ de sedimentos, por medio del uso de equipo principal una draga estacionaria de succión con cortador “CSD” y una



draga de succión simple por arrastre con tolva “TSHD” en extracción utilizando grúa con almeja montada en un chalán. El costo de dragado se determina por metro cubico, el cual (de acuerdo con la Ficha Técnica del Proyecto de “Dragado de Mantenimiento del Puerto de Manzanillo 2017”) tiene un precio de \$245 pesos del 2018, lo que determina un monto total de inversión por \$31,850,000.00 pesos del 2018 más IVA. Este procedimiento tiene una vida útil de un año, a partir de que finalicen los trabajos de dragado de mantenimiento.

De la misma manera, se requiere de la elaboración de reportes y supervisiones de la obra respecto de la planeación, organización, dirección y control de los trabajos realizados para asegurar el logro de los objetivos y alcances del proyecto, incluyendo trabajos especializados como levantamientos batimétricos, descripción escrita de los trabajos, resultados, características generales y particulares que acontecieron en la ejecución del proyecto; los conceptos de reporte y supervisión ascienden a \$1,000,000.00 pesos del 2018 más IVA.

En la tabla 6.1, se presentan los principales costos de la alternativa I.

Volumen a dragar (m ³)	Vida útil	Costo de inversión	Costo de supervisión	TOTAL
130,000.00	1 año	\$ 31,850,000.00	\$ 1,000,000.00	\$ 32,850,000.00
IVA	-	\$ 5,096,000.00	\$ 160,000.00	\$ 5,256,000.00
TOTAL	1 año	\$ 36,946,000.00	\$ 1,160,000.00	\$ 38,106,000.00

Tabla 6. 1. Costos de la alternativa I.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

Alternativa II.

Se propone el dragado mediante el uso de equipo especializado en extracción, utilizando una draga de cuchara; este sistema se basa en la excavadora terrestre común de cucharón, dicha draga es montada en un extremo de un chaflán fijado por zancos.

Con un diseño desarrollado y un costo de construcción relativamente bajo, este equipo es una opción ideal para el dragado de construcción y el alta mar.

La alternativa II, tiene contemplado dragar un volumen aproximado de 130,000 m³ de sedimentos, por medio del uso de una draga de tipo cuchara, el costo de dragado se determina por metro cúbico, el cual (de acuerdo con la Ficha Técnica del Proyecto de “Dragado de Mantenimiento del Puerto de Manzanillo 2017”) tiene un precio de \$520 pesos del 2018, lo que determina un monto total de inversión por \$67,600,000.00 pesos del 2018 más IVA. Este procedimiento tiene una vida útil de un año, a partir de que finalicen los trabajos de dragado de mantenimiento.



De la misma manera, se requiere de la elaboración de reportes y supervisiones de la obra respecto de la planeación, organización, dirección y control de los trabajos realizados para asegurar el logro de los objetivos y alcances del proyecto, incluyendo trabajos especializados como levantamientos batimétricos, descripción escrita de los trabajos, resultados, características generales y particulares que acontecieron en la ejecución del proyecto; los conceptos de reporte y supervisión ascienden a \$1,000,000.00 pesos del 2018 más IVA.

Volumen a dragar (m ³)	Vida útil	Costo de inversión	Costo de supervisión	TOTAL
130,000.00	1 año	\$ 67,600,000.00	\$ 1,000,000.00	\$ 68,600,000.00
IVA	-	\$ 10,816,000.00	\$ 160,000.00	\$ 10,976,000.00
TOTAL	1 año	\$ 78,416,000.00	\$ 1,160,000.00	\$ 79,576,000.00

Tabla 6. 2. Costos de la alternativa II.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

Finalmente, dentro de ambas alternativas del proyecto, no existen costos adicionales de mantenimiento.

Justificación técnica y económica

Dado que el proyecto no tendrá impactos positivos y/o negativos en términos de capacidad por toneladas o por tipo de carga, ya que el proyecto solo contempla la limpieza de sedimentos del fondo del puerto por medio de dragado, por tanto, los únicos análisis comparativos que son inherentes al proyecto son:

- Método de dragado.
- Cantidad de sedimentos que se podrán retirar.
- Calado oficial resultante de la ejecución del proyecto.
- Monto total de inversión
- Vida útil.

Cabe destacar que el dragado de mantenimiento es sumamente importante, ya que, de no realizarse periódicamente, la cantidad de sedimentos en el fondo marino irían reduciendo la profundidad en el puerto y con ello se tendrían que realizar acciones correctivas como lo es reducir el calado oficial, lo que repercutiría en la oferta en términos de profundidad en el puerto, con lo que existirían también problemas con los tipos de buques y de las empresas que hacen uso de las instalaciones.

En la tabla 6.3, se muestran las principales conclusiones derivadas de cada una de las alternativas mencionadas anteriormente.



COMPARACIÓN	CONCEPTO	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II
TÉCNICA	Acción de solución	Dragado	Dragado
	Tipo de dragado	Dragado estacionario y dragado de succión	Dragado de cuchara
	Volumen a dragar (m ³)	130,000.00	130,000.00
	Tiempo de ejecución del dragado de mantenimiento	1 mes	3 meses
	Vida útil	1 año	1 año
	Tiempo completo del proyecto	1 año, 1 mes	1 año, 3 mes
	¿Mejor dragado para la problemática y el tipo de puerto?	Sí	No
ECONÓMICA	Costo unitario del dragado	\$245.00	\$520.00
	Costo total del dragado	\$31,850,000.00	\$67,600,000.00
	Costo de supervisión	\$1,000,000.00	\$1,000,000.00
	Costo total de inversión	\$32,850,000.00	\$68,600,000.00
	IVA	\$5,256,000.00	\$10,976,000.00
	Inversión más IVA	\$38,106,000.00	\$79,576,000.00
	¿Inversión menos costosa?	Sí	No

Tabla 6. 3. Comparación técnica y económica entre las alternativas.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Gerencia de Ingeniería, APIMAN, 2017.

Con base en la tabla 6.3, se puede decir que la alternativa I, consistente en el uso de dragas de succión, es la mejor opción para realizar los trabajos del dragado de mantenimiento en el puerto de Manzanillo, Col., sin embargo, quien tome la decisión final, será la contratista o empresa de dragado que resulte quedar a cargo de la realización de los trabajos.



CAPÍTULO 7. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS OBRAS DE DRAGADO

Impactos ambientales

Por muchos años las operaciones de dragado y descarga del material dragado fueron consideradas inofensivas para el ambiente. Sin embargo, en la década de los 60 estas operaciones comenzaron a considerarse como causantes de muchos problemas ambientales.

En general, se acepta que todos los métodos de dragado y descarga de material dragado tiene el potencial para generar ciertos impactos negativos al medio ambiente. Estos impactos generan cambios en las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas. La flora y la fauna que vive en las proximidades a la zona de dragado se ve afectada no sólo por la acción directa de dragado sino también por la transportación y la deposición del material extraído.

Los impactos más relevantes asociados a la descarga del material en tierra en áreas no confinadas son: ahogamiento o cobertura de la flora y de los organismos vivos presentes en la zona de descarga, contaminación de los suelos a través de la percolación de contaminantes presentes en el material dragado, contaminación de los cursos de agua, cierre de quebradas o cauces de agua y contaminación de las aguas subterráneas ([Landaeta, 2018, pág. 3](#)).

Para el caso de la descarga del material en aguas en áreas confinadas o no, los impactos más relevantes son: incremento en la turbidez, suspensión y distribución de contaminantes, disminución del oxígeno disuelto y ahogamiento o cobertura de los organismos vivos presentes en la zona de descarga ([Landaeta, 2018, pág. 3](#))

De los granos finos como limos, arcillas y coloides orgánicos que sean resuspendidos debido a la agitación del material sedimentado por medio del dragado, dependerá la magnitud del impacto físico en la calidad del agua, esto debido a la turbidez provocada ([Gordon 1974, Bohlen et al 1979, Álvarez y Flores 1991, Write 1976](#)).

De la misma manera, los impactos asociados a la turbidez dependerán de la cantidad y tamaño de las partículas en suspensión y del tiempo que estas permanezcan así. Del mismo modo, el tiempo que las partículas permanecen suspendidas depende de la velocidad de sedimentación, la cual se determina con la Ley de Stokes, la cual relaciona el diámetro y la densidad de la partícula.

Los impactos ambientales asociados al aumento de turbidez en el agua van desde la disminución de la entrada de luz a los organismos fotosintéticos hasta una disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua y la pérdida de fauna y flora de la zona.

Los potenciales impactos negativos generados son:



› Impactos sobre la calidad del agua.

Las operaciones de dragado y de descarga del material dragado tienen el potencial para provocar importantes cambios físicos y químicos sobre la calidad del agua.

Cambios físicos: durante y después del dragado y de la descarga del material dragado, los sedimentos del fondo son mecánicamente removidos y suspendidos en la columna de agua. Los sedimentos más pesados como gravas y arenas rápidamente se sedimentan, pero los finos como arcillas y limos permanecen en suspensión. Esos sedimentos finos son transportados por las corrientes y el oleaje, cubriendo grandes áreas, generando turbidez y por ende reducción de la penetración de luz necesaria para los procesos de fotosíntesis y cambios de calor en el agua (Landaeta, 2018, pág. 4).

Cambios químicos: los cambios de las características químicas del agua generados por el dragado y la descarga del material dragado son difíciles de estimar, monitorear y controlar debido a la naturaleza de los procesos y parámetros involucrados. Algunos de los parámetros que reflejan los cambios químicos sobre la calidad del agua, producto del dragado y la descarga son: la demanda de oxígeno, el aumento de nutrientes, presencia de trazas de metales pesados y pesticidas en la columna de agua y la modificación de los niveles de salinidad (Landaeta, 2018, pág. 4).

› Suspensión y distribución de sedimentos contaminados

El agua es el mayor vehículo de transporte de contaminantes y el medio en el cual esos contaminantes pueden desarrollar reacciones químicas y físicas. Usualmente, los sedimentos localizados en puertos y canales de navegación ubicados en las cercanías de grandes ciudades con complejos industriales o petroleros, altos volúmenes de tráfico comercial y descarga directa de aguas servidas presentan altos niveles de contaminación. Una de las causas de esta situación es la presencia de partículas de arcilla y limos con cargas negativas, las cuales tienden a absorber los contaminantes. En consecuencia, los procesos de dragado y descarga no incorporan nuevos contaminantes al medio acuático, sencillamente tienen el potencial para poner en suspensión y distribuir los sedimentos contaminados por las fuentes de contaminación anteriormente mencionadas (Landaeta, 2018, pág. 4).

Durante y después del dragado y descarga de suelos con contenido de arcillas y limos, tiende a producirse pérdida incontrolada de dichos sedimentos los cuales de contener contaminantes provocarán la contaminación de las áreas donde éstos se depositen. La extensión del área afectada está en función del contenido y la clase de los contaminantes, la velocidad de caída de las partículas, los mecanismos de transporte de sedimentos (corriente, oleajes y mareas) presentes en la zona, de la salinidad, temperatura y ph del agua (Landaeta, 2018, pág. 5).



› Impactos sobre peces, flora y otros organismos vivos

Los sistemas acuáticos son muy diversos, dinámicos y cambiantes en espacio y tiempo, por lo que, los cambios físicos y químicos generados durante y después del dragado y la descarga de material dragado pueden afectar la distribución de diferentes especies presentes. Durante el dragado y descarga se pueden producir cambios en los nutrientes y en la tasa de renovación del agua en el área de dragado y descarga, destrucción del efecto de la remoción de los suelos, cobertura de los organismos vivos por efecto de las descargas, altos niveles de turbidez, cambios de temperatura y de los contenidos de sal, los cuales pueden ser intolerados por muchas de las especies vivas en el área. De la misma manera, la suspensión de los sedimentos del fondo durante y después del dragado y de la descarga produce un enriquecimiento en los nutrientes presentes en la columna de agua, lo cual puede generar la presencia de mayor cantidad de especies y por ende una demanda mayor de oxígeno ([Landaeta, 2018, pág. 5](#))

De acuerdo con Jonh B. Herbich, 1992, los posibles impactos negativos sobre los peces y otros organismos vivos son:

- Migración de peces.
- Cambios en la demanda de oxígeno.
- Recolonización de las áreas afectadas por especies oportunistas que se adaptan a las nuevas condiciones.
- Interferencia con los procesos respiratorios de los peces.
- Interferencia con los procesos migratorios de los peces, por efecto de la turbidez.
- Destrucción de hábitats acuáticos.
- Cobertura de la vegetación.
- Ingestión y acumulación de contaminantes como pesticidas y metales pesados por parte de la biota.

› Cambios físicos del fondo acuático

Los ecosistemas acuáticos como sistemas integrales y dinámicos generan respuestas físicas a las alteraciones producidas por los procesos de dragado y descarga del material dragado. Las alteraciones en la topografía de los fondos acuáticos dragados, entre otros cambios, pueden modificar los patrones de flujo de las corrientes de las zonas afectadas. Esta situación genera cambios en los perfiles transversales y longitudinales de los canales, en otras palabras, los canales presentan dunas, contradunas y barras. La distribución de sedimentos que resulta de los cambios de patrones de circulación no siempre es predecible, por lo cual se pueden generar efectos indeseados y afectación en vías navegables y áreas de agua en los recintos portuarios ([Landaeta, 2018, pág. 6](#))



De acuerdo con el Manual de dimensionamiento portuario, los efectos o impactos que genera el dragado, producto de la remoción del material del fondo marino, son:

ACTIVIDAD	IMPACTOS AMBIENTALES	MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Dragado	Modificación del relieve, arrastre de sedimentos, azolves en áreas no contempladas. Modificación en la circulación del agua y sus características físico-químicas.	Determinar épocas y horarios de trabajo en función del conocimiento de los factores del medio y sus variaciones espaciales y temporales. Generación de modelos de dispersión
	Incremento de sólidos suspendidos, con afectación a organismos y órganos filtradores. Disminución de la entrada de luz reduciendo la actividad fotosintética. Reducción del oxígeno disuelto al incrementarse el área para la degradación de materia orgánica. Resuspensión de contaminantes y nutrientes.	Selección del tipo de draga adecuada que permita reducir la turbidez comúnmente generada, complementando con un manejo y operación adecuados. Evitar sumar contaminación por grasas, aceites, combustibles, basura, etc.
	Remoción de la biota bentónica.	
	Modificación de hábitats y comunidades con posibles daños a la pesca y economía regional.	Programas de trabajo que permitan operar y concluir en el menor tiempo posible.
	Modificación en la apariencia del agua con alteración de las actividades recreativas.	Análisis de dispersión y de las características de los sedimentos.
Vertido de materiales dragados en agua	Creación de bancos de sedimentos, con modificaciones en la batimetría, hidrodinámica local y características físico-químicas.	Acondicionamiento del sitio para disposición y descarga, en función de estudios hidrológicos y análisis de la composición y características físico-químicas de los sedimentos.
Vertido de materiales dragados en tierra	Alteración de la calidad del suelo, posible incremento de la erosión y alteración de la apreciación del paisaje afectando actividades recreativas.	

Tabla 7. 1. Impactos ambientales y medidas de mitigación en desarrollos portuarios.

Fuente: Manual de dimensionamiento portuario, SCT. 2018.



Otros impactos

Al movilizar el material depositado en el fondo marino se presenta la posibilidad de encontrar restos fósiles y arqueológicos de gran valor histórico en el sitio de dragado, por lo cual, antes de realizar un dragado (de construcción y de profundización de calados) se deben realizar acciones previas al inicio de dichos trabajos con el fin de detectar, extraer o preservar dichos restos.

Con base en la Ficha Técnica del Proyecto de “Dragado de Mantenimiento del Puerto de Manzanillo 2017”, no se consideran aspectos ambientales, pues se argumenta que los trabajos que se elaboran son de remoción de sedimentos acumulados de manera natural.

Debido a la agitación del material del fondo marino y la presencia de las corrientes marinas, se induce el transporte de sedimentos (suspendidos en el agua) en zonas aledañas al sitio de dragado, resultando seriamente afectadas, es por ello, que se requieren implementar medidas de prevención y mitigación de daños ambientales para dicha situación. Algunas de ellas son; el uso y colocación de barreras que impidan el paso de los sólidos, evitar derrames durante el transporte del material dragado al sitio oficial de descarga y suspendiendo los trabajos de dragado cuando el clima marítimo pueda arrastrar sólidos hacia las zonas protegidas.



CAPÍTULO 8. ALTERNATIVAS PARA MITIGAR LOS TRABAJOS DE DRAGADO Y OTRAS PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Debido a que los trabajos de dragado son permanentes, costosos y, además, producen daños ambientales, que en los peores casos son irreversibles e irreparables, se recomienda moderar el uso innecesario de esta práctica, así como explorar otras alternativas de solución que reduzcan la necesidad de estos trabajos.

En el caso particular del puerto de Manzanillo, se podría analizar lo siguiente:

- I. Construcción de una *trampa de sedimentos o trampa de arrastre de fondo* ubicada en la entrada del canal interlagunar, la cual retenga la mayor parte de los sedimentos transportados de la Laguna de Las Garzas evitando así que dichos sedimentos se depositen dentro del recinto portuario.
- II. Construcción de un canal/tanque colector donde se almacene un volumen definido de sedimentos y éste sea el único sitio donde se deban de dragar los azolves de la laguna.
- III. Construir un nuevo canal de comunicación entre la Laguna de Las Garzas y el océano pacífico, el cual funcione como un conducto en el que puede entrar y salir agua a la laguna y de esta forma también puedan salir los sedimentos de este cuerpo de agua al mar y no al puerto de Manzanillo.

Las propuestas mencionadas anteriormente, se enfocan en evitar que el material lagunar entre al puerto. Sin embargo, el material que se deposita en el interior del puerto como consecuencia del transporte litoral continuará presentándose. Por esta razón, se propone también una solución para controlar el ingreso de sedimentos debidos al transporte litoral.

- IV. Construcción de una *trampa de sedimentos* situada fuera del puerto, a fin de colectar los sedimentos producto del transporte litoral que pudieran entrar al puerto.

Con las propuestas anteriores se puede disminuir el uso o práctica del dragado de mantenimiento en el puerto de Manzanillo, sin embargo, la presencia de fenómenos meteorológicos extraordinarios impide que se suspenda completamente esta actividad, a pesar de ello, la implementación de alguna de estas propuestas disminuiría el número de veces que se tendría que realizar y, asimismo, los costos de cada uno de ellos podrían ser menores por tratarse de volúmenes más pequeños.

Los alcances del presente trabajo no abordan el análisis de las propuestas aquí mencionadas.



CONCLUSIONES

Debido el constante crecimiento del comercio internacional de nuestro país, los puertos mexicanos deben de adaptarse a los nuevos requerimientos en cuanto a instalaciones y eficiencia de los trabajos y servicios que ahí se realizan. De ahí que los trabajos de dragado resulten sumamente importantes para el continuo crecimiento y desarrollo de los puertos nacionales, ya que con el dragado de construcción se incrementa la profundidad y las dimensiones de las áreas de agua para permitir el acceso de embarcaciones de mayor tamaño y en el caso del dragado de mantenimiento, se conservan las condiciones de operatividad y seguridad del puerto.

Este último tipo de dragado resulta una actividad frecuente en los puertos, ya que como consecuencia de procesos naturales y fenómenos meteorológicos extraordinarios que ocasionan constantes azolves al interior de los puertos, por lo que, de no realizar dragado de mantenimiento, se verían en la necesidad de impedir el acceso a embarcaciones de mayor tamaño.

Para el Puerto de Manzanillo, se tiene previsto un dragado de mantenimiento de forma periódica y permanente (anual), a causa del transporte litoral, pero también, por la colindancia del puerto con la Laguna de Las Garzas, la cual se ha encargado de introducir sedimentos durante años.

Con base a los registros de dragado de mantenimiento de la Administración Portuaria Integral de Manzanillo se dragan aproximadamente 130,000 m³ de azolves al año; cerca del 45% (62,320 m³) de estos ingresan al puerto debido al transporte litoral y el otro 55% (67,680 m³) debido a la conexión con la Laguna de Las Garzas.

Como se menciona en el capítulo 5, de quitarse el dique que impide el libre flujo del agua de la laguna con el agua de mar, se tiene el riesgo de que el volumen estimado de sedimentos provenientes de la laguna sea sumamente mayor, para no tener esta situación, se recomienda hacer dragados interlagunares antes de quitar dicho dique, a fin de incrementar el área hidráulica de la laguna, brindándole mayor profundidad y capacidad de almacenar en sí misma los sedimentos que podrían entrar al puerto.

De acuerdo con los volúmenes de sedimentos estimados y con las características del sedimento, se propusieron dos alternativas para realizar los trabajos de dragado de mantenimiento, ambas con métodos diferentes y tipos de dragado, lo cual deriva en distintos costos por m³ de dragado.

La primera alternativa consiste en uso de dos dragas hidráulicas, una de succión con cortador y la segunda de tipo mecánica (draga de cuchara), complementada esta última con una barcaza y su respectivo arrastre. El costo por m³ de dragado, es de \$245 y \$520 pesos del 2018, respectivamente.



La alternativa seleccionada es la Alternativa I, pues es la opción que cuenta con el procedimiento de menor costo y con resultados eficientes para el dragado requerido. Adicionalmente, permitirá condiciones favorables para la operación normal en la API Manzanillo, agilizando los tiempos de traslado y acercamiento de las embarcaciones a la infraestructura en tierra.

Respecto a las condiciones ambientales, las operaciones de dragado y descarga del material descargado tienen el potencial para generar impactos negativos sobre las condiciones físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas. La turbidez es el cambio físico más importante generado sobre la calidad del agua durante y después del dragado y la descarga de este.

Los cambios químicos de la calidad del agua se pueden estimar con: la demanda de oxígeno, el aumento de nutrientes, presencia de trazas de metales pesados y pesticidas en la columna de agua, y de la modificación de los niveles de salinidad. Se recomienda elaborar un plan de mediciones de parámetros ambientales en las áreas de dragado, con el propósito de evaluar las afectaciones que tienen estos trabajos de dragado en las zonas aledañas.

Podrían existir otras alternativas de solución que, a un horizonte de mediano o largo plazos, se considera que reducirían de manera importante los costos del dragado de mantenimiento, las cuales se describen en el capítulo precedente y cuyo análisis no se contempla en este documento, por ser materia para un estudio específico al respecto.



REFERENCIAS

- Bolongaro Crevenna Recaséns, A. (29 de enero de 2018). SECTUR, Secretaría de Turismo. Obtenido de http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2018/01/10_Manzanillo.pdf
- BSL, O. L. (17 de febrero de 2018). Tipos de Buques. Obtenido de Broker Service and Logistic, BSL: http://www.bsl.com.mx/docspdf/tipo_de_buques.pdf
- Dravosa S.A. (21 de febrero de 2018). Dravosa. Obtenido de Equipos Dravosa: <http://dravosa.com/equipos/>
- Gobierno de España. (2008). Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Madrid: Puertos del Estado.
- Instituto Nacional de la Pesca., C. R. (28 de enero de 2018). SEMARNAT. Obtenido de Sistema Nacional de Trámites: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/col/estudios/2004/06CL2004PD014.pdf>
- Landaeta, C. J. (6 de febrero de 2018). Universidad de Murcia. Obtenido de Ecología: www.um.es
- López Gutiérrez, H. (1999). Operación, Administración y Planeación Portuarias. México: AMIP.
- Macdonel Martinez, G. (Octubre de 1992). Ingeniería de Ríos y Costas. Ciudad de México, Distrito Federal, México.
- Puertos de México, S. (11 de Julio de 2012). Programa Maestro de Desarrollo Portuario del Puerto de Manzanillo para el periodo 2012-2017, PMDP de Manzanillo. Manzanillo, Colima, México.
- Puertos Mexicanos, S. (6 de febrero de 2018). Manual de Dimensionamiento Portuario. Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/htm/nac.htm>
- Puertos Mexicanos, S. (22 de enero de 2018). Programa Nacional de Desarrollo Portuario. Obtenido de Secretaría de Comunicaciones y Transportes: <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/htm/nac.htm>
- Ramírez Magaña, Heriberto. (16 de febrero de 2018). Obtenido de SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público: <https://www.sistemas.hacienda.gob.mx/mippi/ControlServletPublic>



Rodríguez Vidal, C. (enero de 2003). Los buques petroleros. Barcelona, España.

SCT, S. d. (14 de Febrero de 2018). API Manzanillo. Obtenido de Puerto Manzanillo. Información General: <http://www.puertomanzanillo.com.mx/esps/0020207/informacion-general>

SEMAR, S. d. (25 de Enero de 2018). Secretaría de marina. Obtenido de Oceanografía : http://oceanografia.semar.gob.mx/Templates/grafnum_manzanillo.html

SHCP, S. d. (23 de Enero de 2018). SHCP Acciones y Programas. Obtenido de Cartera Pública de Inversión: <https://www.gob.mx/shcp/acciones-y-programas/cartera-publica-de-inversion-16287>

Sotelo Ávila, G. (2002). Hidráulica de canales. México: Limusa.

Suarez, M. (27 de Octubre de 2017). Manzanillo News Mx. Obtenido de <https://manzanillonews.mx/10-puertos-mas-importantes-de-mexico/>

Toledano V., N. (20 de febrero de 2018). Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de Notas. IMT.: <http://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=333&IdBoletin=120>

COLÍN, O. E. (2011). Conceptos Generales, Metodología, Y Sistemas De Control Para La Supervisión De Obras De Dragado Marítimo En Puertos.

Patiño-Barragán, M., Meyer-Willerer, A. O., Galicia Pérez, M. A., Lezama Cervantes, C., & Lara Chávez, B. (2016). Zona de mayor afectación en el puerto de manzanillo colima México, por eventos hidrometeorológicos intensos y su periodicidad. Revista de La Facultad de Ingeniería, 31(1), 114–132. <https://doi.org/10.21311/002.31.1.06>



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1. ELEMENTOS GENERALES DE UN PUERTO	11
FIGURA 1. 2. PARTES PRINCIPALES Y DIMENSIONES DE UN BARCO.	15
FIGURA 1. 3. CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN BUQUE DE CARGA GENERAL.	16
FIGURA 1. 4. BUQUE DE CARGA GENERAL.	16
FIGURA 1. 5. CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN BUQUE PORTACONTENEDORES.	17
FIGURA 1. 6. BUQUE PORTACONTENEDORES.	17
FIGURA 1. 7. CONFIGURACIÓN GENERAL DE UN BUQUE PETROLERO.	18
FIGURA 1. 8. BUQUE PETROLERO.	19
FIGURA 1. 9. TRANSBORDADOR RO. RO.	20
FIGURA 1. 10. TRANSBORDADOR DE PASAJEROS.	20
FIGURA 1. 11. CRUCERO.	21
FIGURA 1. 12. BUQUE GASERO.	21
FIGURA 1. 13. VELERO.	22
FIGURA 1. 14. REMOLCADOR.	22
FIGURA 1. 15. BUQUE PESQUERO.	23
FIGURA 1. 16. FACTORES PARA DETERMINAR LA PROFUNDIDAD.	24
FIGURA 1. 17. MAPA DEL SISTEMA PORTUARIO NACIONAL.	27
FIGURA 1. 18. UBICACIÓN DEL PUERTO DE MANZANILLO, COL.	28
FIGURA 1. 19. UBICACIÓN DE LAS TERMINALES. MAPA DEL PUERTO DE MANZANILLO.	30
FIGURA 2. 1. CROQUIS DE DRAGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL PUERTO INTERIOR DE SAN PEDRITO, MANZANILLO, COL.	36
FIGURA 2. 2. CROQUIS DE DRAGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL PUERTO INTERIOR DE SAN PEDRITO, MANZANILLO, COL.	37
FIGURA 2. 3. CROQUIS DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO EN EL PUERTO INTERIOR DE SAN PEDRITO, MANZANILLO, COL.	41
FIGURA 3. 1. ZONIFICACIÓN DE ACUERDO CON LAS CONDICIONANTES FÍSICAS.	44
FIGURA 3. 2. RÉGIMEN ANUAL DE OLAJE Y RÉGIMEN ANUAL DE CORRIENTES.	45
FIGURA 3. 3. RÉGIMEN ANUAL DE VIENTOS Y NIVELES DE MAREA.	45
FIGURA 3. 4. MAPA DE VULNERABILIDAD SEGÚN CON EL INDICADOR DE REFRACCIÓN DEL OLAJE (ELABORADO POR ANIDE).	48
FIGURA 3. 5. MAPA DE EROSIÓN Y ACRECIÓN DEL MUNICIPIO DE MANZANILLO, PERIODO 1965-2013 (ELABORADO POR ANIDE).	49
FIGURA 3. 6. LAGUNA DE LAS GARZAS PUERTO DE MANZANILLO, COL.	51
FIGURA 3. 7. LAGUNAS COSTERAS CERCANAS AL PUERTO DE MANZANILLO, COL.	51
FIGURA 3. 8. VISTA PANORÁMICA DE LA PLAYA, BAHÍA DE MANZANILLO, COL.	55



FIGURA 4. 1. DRAGA DUSTPAN.....	61
FIGURA 4. 2. DRAGA POR INYECCIÓN DE AGUA.	62
FIGURA 4. 3. ARREGLO GENERAL DE UNA DRAGA POR INYECCIÓN DE AGUA.	63
FIGURA 4. 4. CROQUIS, DRAGA DE SUCCIÓN SIMPLE.	64
FIGURA 4. 5. CROQUIS, DRAGA DE SUCCIÓN POR ARRASTRE.....	65
FIGURA 4. 6. DRAGA DE SUCCIÓN ESTACIONARIA.	66
FIGURA 4. 7. DRAGA DE SUCCIÓN EN MARCHA.	67
FIGURA 4. 8. DRAGA DE CUCHARA DE ALMEJAS.	68
FIGURA 4. 9. DRAGA TIPO RETROEXCAVADORA.	69
FIGURA 4. 10. DRAGA TIPO PALA.	70
FIGURA 4. 11. ARREGLO GENERAL DE UNA DRAGA TIPO ROSARIO.	71
FIGURA 4. 12. DRAGA TIPO ROSARIO.	71
FIGURA 4. 13. CORTADOR DE LA DRAGA.....	72
FIGURA 4. 14. DRAGA DE SUCCIÓN CON CORTADOR.....	73
FIGURA 5. 1. ESTADO ACTUAL DEL DIQUE.	81
FIGURA 5. 2. ESTADO ACTUAL DEL DIQUE.	81
FIGURA 5. 3. VISTA EN PLANTA DE LA LAGUNA DE LAS GARZAS Y LAS SECCIONES DE ESTUDIO.	83
FIGURA 5. 4. CROQUIS. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CANAL INTERLAGUNAR.....	83
FIGURA 5. 5. CROQUIS. VISTA EN PERFIL DEL CANAL INTERLAGUNAR.	84



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1. HISTORIAL, MOVIMIENTO DE BUQUES POR TIPO DE CARGA EN EL PUERTO DE MANZANILLO (2001-2015).	32
TABLA 1. 2. HISTORIAL, VOLUMEN POR TIPO DE CARGA EN EL PUERTO DE MANZANILLO (2010-2015).	32
TABLA 1. 3. HISTORIAL, NÚMERO DE BUQUES QUE ARRIBARON AL PUERTO DE MANZANILLO POR CALADO (2010-2015).....	33
TABLA 1. 4. OBRAS DE PROTECCIÓN.	34
TABLA 2. 1. HISTORIAL, PROYECTOS DE DRAGADO DE CONSTRUCCIÓN EN EL PUERTO DE MANZANILLO.	35
TABLA 2. 2. HISTORIAL, PROYECTOS DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO EN EL PUERTO DE MANZANILLO.....	39
TABLA 2. 3. PERIODICIDAD DE LOS TRABAJOS DE DRAGADO DE MANTENIMIENTO.....	40
TABLA 3. 1. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES SEDIMENTARIOS, SEGÚN AMERICAN GEOPHYSICAL UNION.	58
TABLA 4. 1. TIPO DE TERRENO/ TIPO DE DRAGA.....	74
TABLA 4. 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS DRAGAS MECÁNICAS.....	75
TABLA 4. 3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS DRAGAS DE SUCCIÓN.	76
TABLA 5. 1. TRÁNSITO DE MAREAS.	86
TABLA 5. 2. TRÁNSITO DE MAREAS. CONTINUACIÓN.....	87
TABLA 5. 3. TRÁNSITO DE MAREAS. CONTINUACIÓN.....	88
TABLA 5. 4. TRÁNSITO DE MAREAS. CONTINUACIÓN.....	89
TABLA 6. 1. COSTOS DE LA ALTERNATIVA I.	92
TABLA 6. 2. COSTOS DE LA ALTERNATIVA II.	93
TABLA 6. 3. COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA ENTRE LAS ALTERNATIVAS.....	94
TABLA 7. 1. IMPACTOS AMBIENTALES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN DESARROLLOS PORTUARIOS.....	98

