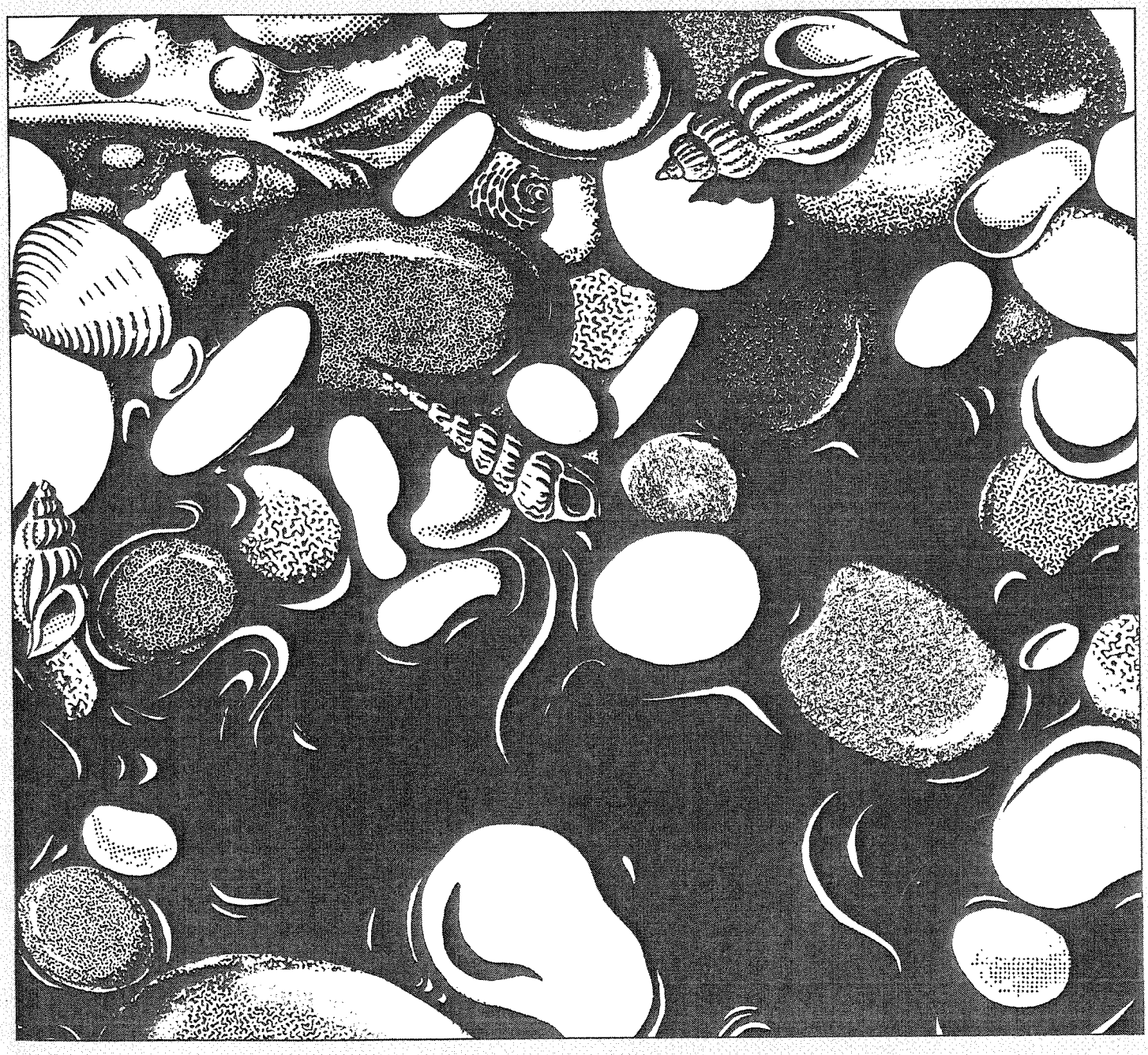
REACCION ANTE DERRAMES DE HIDROCARBURO EN EL MAR

THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LTD



REACCION ANTE DERRAMES DE HIDROCARBURO EN EL MAR

THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LTD

Publicado por primera vez en 1986 en forma de cinco folletos en inglés por
The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd., Londres

Esta edición espanol ha sido publicada en 1987 por
Witherby & Co. Ltd., Londres

© *The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd., London*

ISBN 0 948691 52 2

Este libro está dirigido a reflejar las mejores ténicas y prácticas disponibles para el momento de la publicación. Sin embargo, los autores y los editores no pueden hacerse responsables dado el caso que alguna de las técnicas y prácticas no resulte exitosa en algun incidente en particular. Cada situación de derrame será diferente y las téchnicas a ser utilizadas varían de acuerdo a las circunstancias.

Printed in England by
Witherby & Co. Ltd., London, EC1

PROLOGO

Este libro proporciona un examen extenso de los problemas que resultan de los derrames de hidrocarburo y examina las técnicas para el control de manchas de hidrocarburo. Por todo el libro se tiene la intención de proporcionar una guía práctica en base a la esperiencia obtenida por los autores debido a su participación en incidentes de derrames de hidrocarburos en todo el mundo.

Las secciones individuales de este libro complementan la información contenida en el paquete de adiestramiento "Reacción ante derrames de hidrocarburo en el mar" que comprende cinco vídeos y folletos de apoyo. La producción de estos vídeos fue patrocinada por la Organización Maritima Internacional, The International Tanker Owners Pollution Federation, la Comisión de las Comunidades Europeas y Video Marine International. Los cincos vídeos, los cuales duran 100 minutos en total, y los folletos de apoyo se venden por Videotel Marine International. Versiones en inglés, francés y español, en formatos de vídeo variados, están disponibles. Para obtener información adicional sobre el paquete de adestramiento, sirvase contactar a:

Videotel Marine International,
Ramillies House,
1/2 Ramillies Street,
London W1V 1DF,
UK.

Teléfono: (0171) 439 6301/5
Télex: 298596 VIDTEL G

Para información adicional sobre la reacción ante derrames de hidrocarburo en el mar, contactar a:

The International Tanker Owners Pollution Federation Ltd.,
Staple Hall,
Stonehouse Court,
87-90 Houndsditch,
London EC3A 7AX,
UK.

Teléfono: (0171) 621 1255 (5 lines)
Télex: 887514 TOVLOP G
Facsímil: (0171) 626 5913

CONTENIDO

	Página
I. EL DERRAME DE HIDROCARBURO	
Fuentes de hidrocarburos de petroleo	I.3
Destino de los derrames de hidrocarburo en el mar	I.5
Vigilancia aerea en el mar	I.13
Reconocimiento y cuantificación del hydrocarburo en las costas	I.18
Efecto de los derrames de hidrocarburo	I.21
Planificación de contingencia	I.28
Puntos a recordar	I.29
Bibliografia recomendada	I.30
II. CONTENCION Y RECUPERACION	
Contención	II.3
Recuperación	II.9
Operaciones costafuera	II.13
Operaciones costeras	II.16
Planificación de contingencia y adiestramiento	II.21
Puntos a recordar	II.21
Bibliografia recomendada	II.22
III. EL USO DE DISPERSANTES	
Caracteristicas de los dispersantes	III.3
Métodos de aplicación en el mar	III.7
Rociado de dispersante sobre las costas	III.16
Consideraciones ambientales	III.17
Planificación previa al derrame	III.18
Puntos a recordar	III.19
Bibliografia recomendada	III.20
IV. LIMPIEZA DE COSTAS	
Estrategia de limpieza	IV.3
Técnicas de limpieza	IV.5
Organización	IV.13
Eliminación del hidrocarburo y desperdicios	IV.14
Planificación de contingencia	IV.21
Puntos a recordar	IV.22
Bibliografia recomendada	IV.23

V. PLANIFICACION Y OPERACIONES

	Página
Alcance y contenido de los planes de contingencia	V.3
Estrategia	V.5
El plan operacional	V.11
Diez preguntas para evaluar los planes de contingencia	V.17
Bibliografía recomendada	V.18

I EL DERRAME DE HIDROCARBURO

El hidrocarburo entra al medio ambiente marino por una serie de rutas diferentes como resultado tanto de actividades humanas como de procesos naturales. Los accidentes de tanqueros y los reventones costafuera constituyen alrededor de 15% de la cantidad de hidrocarburo que entra a los océanos.

Esta parte del libro examina las diversas fuentes de hidrocarburo en el medio ambiente marino a fin de poder situar en perspectiva los derrames accidentales. También se describe el destino y los efectos de los derrames de hidrocarburo y se proporciona una guía general para el control de manchas de hidrocarburo y la cuantificación de la contaminación en el mar y la costa.

CONTENIDO

	Página
FUENTES DE HIDROCARBUROS DE PETROLEO	I.3
Pérdidas por Transporte	3
Derrames Accidentales de Tanqueros	4
Actividades de Exploracion Costafuera y Producción	4
Insumos Terrestres y Atmosféricos	4
Filtraciones Naturales y Erosión	4
DESTINO DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBURO EN EL MAR	I.5
Propiedades del Hidrocarburo	5
Procesos de Curtido por la Intemperie	6
Esparcimiento	6
Evaporación	7
Dispersión	7
Emulsificación	7
Disolución	8
Oxidación	8
Sedimentación	8
Biodegradación	9
Procesos Combinados	9
Predicción del Movimiento de la Mancha	11
VIGILANCIA AEREA EN EL MAR	I.13
Selección de Aeronaves	13
Patrón de Búsqueda	13
Apariencia del Hidrocarburo en el Mer	14
Detección Remota	14
Cuantificación Visual del Hidrocarburo Flotante	16
RECONOCIMIENTO Y CUANTIFICACION DEL HIDROCARBURO EN LAS COSTAS	I.18
Cuantificación del Hidrocarburo Atrapado	18
Procedimientos de Muestreo	20

	Página
EFFECTOS DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBURO	I.21
Impacto del Hidrocarburo sobre las Actividades Costeras	21
Actividades Recreacionales	21
Industria	21
Efectos Biológicos del Hidrocarburo	22
Impacto del Hidrocarburo sobre Hábitats Marinos Específicos	23
Mar Abierto y Lecho Marino	23
Costas	24
Tierras Pantanosas	24
Corales	25
Aves	26
Impacto del Hidrocarburo sobre las Pesquerías y Acuacultivos	26
PLANIFICACION DE CONTINGENCIA	I.28
PUNTOS A RECORDAR	I.29
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	I.30

FUENTES DE HIDROCARBUROS DE PETROLEO

Insumos mayores

Demanda mundial de hidrocarburo

El estimado más acertado del insumo total de hidrocarburo al medio ambiente marino, considerando todas las fuentes, es unos 3,2 millones de toneladas métricas al año. Con mucho, la mayor contribución proviene de las fuentes terrestres, principalmente en la forma de desechos municipales e industriales. Los derrames accidentales de barcos, junto con las actividades de exploración y producción costafuera representan unas 0,47 millones de toneladas métricas, lo cual es una cantidad relativamente pequeña si se considera la producción actual mundial de tres mil millones de toneladas métricas, la mitad de la cual es transportada por mar (Figura 1).

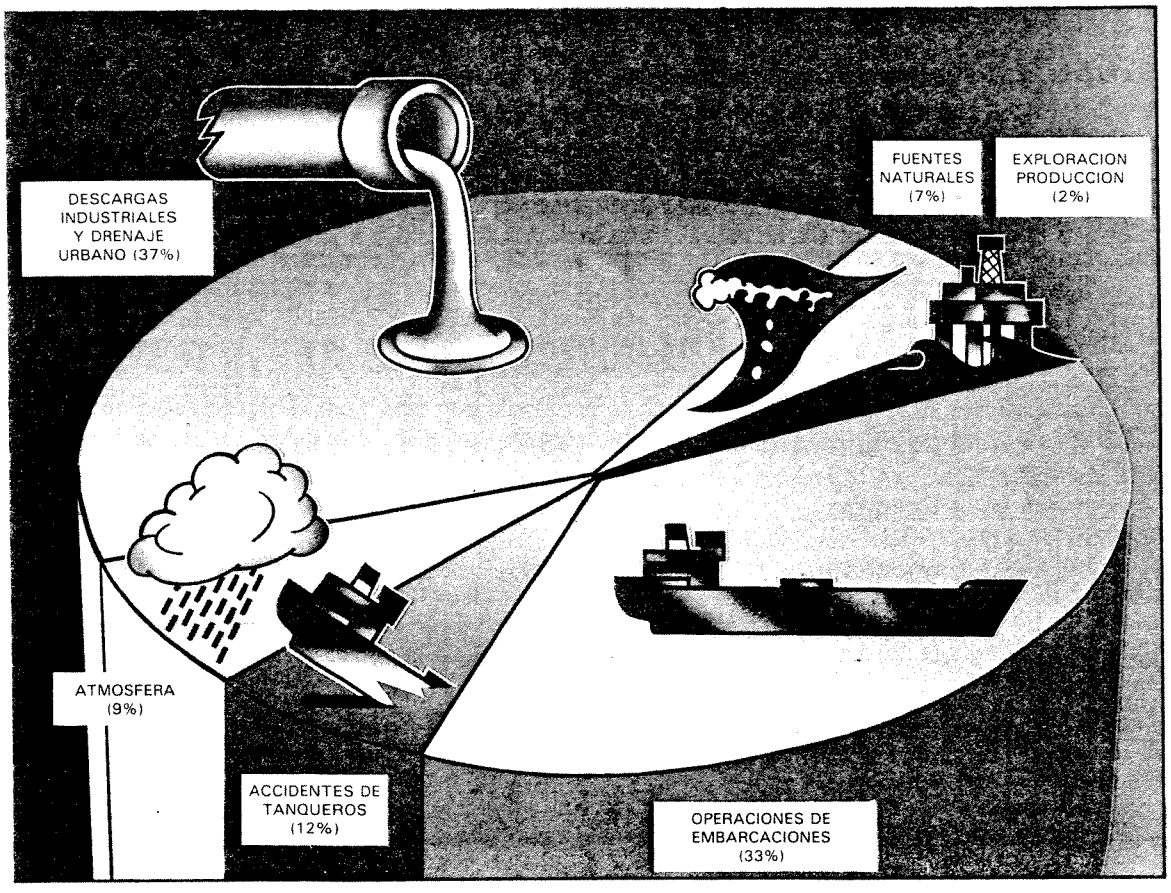


Figura 1:
Principales insumos de hidrocarburo al medio ambiente marino.

Pérdidas por Transporte

Descargas operacionales

Limitación de descargas

Del total de 1,47 millones de toneladas métricas que entran al mar cada año como resultado de las pérdidas durante el transporte, 0,7 millones de toneladas pueden ser atribuídas a los residuos de carga que permanecen a bordo después de la descarga. La cantidad de lo que se pega a la estructura interna de los tanques de carga depende principalmente del contenido de parafina y la viscosidad de la carga anterior, pero por lo general alcanza a un 0,4% de la capacidad de carga, es decir 800 toneladas en una carga de 200.000 TPM. Durante las operaciones de limpieza de tanques y des-lastre, mucho de esto puede caer al mar si no se toman precauciones para retener los residuos de crudo a bordo. Los desarrollos recientes tales como los Tanques de Lastre Segregados (Segregated Ballast Tank SBT) y los sistemas de Lavado con Crudo (Crudo Oil Washing COW), junto con los procedimientos establecidos de "Carga Encima" ("Load On Top" LOT), han reducido la contaminación operacional proveniente de los tanqueros. Se incluyen en las pérdidas por transporte las descargas de sentina y sedimentos de combustibles, que alcanzan las 300.000 toneladas anuales, generadas por todos los tipos de embarcaciones. Aunque las cantidades de desechos de hidrocarburo descargadas al mar provenientes de embarcaciones pueden ser controladas mediante una estricta supervisión, también se debe dar gran importancia a poder contar con instalaciones receptoras adecuadas de residuos, agua de lastre sucia y residuos grasosos de los espacios en las maquinarias.

Derrames Accidentales de Tanqueros

Operaciones rutinarias

Accidentes masivos

Los derrames accidentales de tanqueros constituyen aproximadamente unas 400.000 toneladas anuales. El análisis de los derrames de tanqueros ocurridos en todo el mundo muestran que la mayoría (un 75%) ocurre durante operaciones rutinarias tales como carga, descarga y carga de combustible. La mayoría de estos derrames son, sin embargo, relativamente pequeños: más del 92% son de menos de 7 toneladas (Tabla 1) y probablemente, en total, representan menos de 20.000 toneladas anuales. Comparativamente, los accidentes tales como colisiones y encalladuras significarán menos de un 10% de todos los derrames de tanqueros, pero una cuarta parte de estos son mayores de 700 toneladas (Tabla 1). De hecho, unos pocos accidentes masivos dan origen a la mayor parte del hidrocarburo derramado por lo que hay una variación anual considerable en esta cifra.

Tabla 1. Comparación de la Incidencia de Derrames de Hidrocarburo a Nivel Mundial ocasionados por Tanqueros, 1974-1985, como Resultado de Operaciones Rutinarias y Accidentes Mayores

	<7 (toneladas)	7-700 (toneladas)	>700 (toneladas)	Total
Carga/ Descarga	2236 (90%)	227 (9%)	11 (1%)	2474 (100%)
Abastecimiento de combustible	442 (95%)	22 (5%)	–	464 (100%)
Colisión	39 (17%)	134 (59%)	54 (24%)	227 (100%)
Encalladura	69 (25%)	134 (49%)	70 (26%)	273 (100%)
Total	2786 (81%)	517 (15%)	135 (4%)	3438 (100%)

Actividades de Exploración Costafuera y Producción de Hidrocarburo

Reventones

Pérdidas operacionales

Los mayores incidentes de contaminación, tales como los reventones, son poco frecuentes pero costituyen unas tres cuartas partes de las 50.000 toneladas perdidas anualmente en plataformas costafuera. El riesgo es menor durante la fase de producción que durante la de exploración, pero un reventón puede resultar en la pérdida de grandes volúmenes de hidrocarburo si el pozo no se controla rápidamente. Un número mucho mayor de derrames pequeños ocurre como resultado de operaciones rutinarias tales como descarga de agua de formación y eliminación de desechos de lodos de perforación con base de hidrocarburos.

Insumos Terrestres y Atmosféricos

Drenaje industrial y urbano

Escapes de vehículos

Los insumos terrestres provienen principalmente de las descargas de aguas de proceso de refinerías costeras y otras industrias; hidrocarburos de desecho llevados al mar por descargas de alcantarillado y ríos; drenajes urbanos de redes de carreteras. Comparativamente, la precipitación atmosférica de hidrocarburos de petróleo es probablemente menos significativa, pero la magnitud es difícil de estimar con exactitud en base global. La mayor porción de la contaminación marina proveniente de la atmósfera puede relacionarse con los escapes de los vehículos terrestres.

Filtraciones Naturales y Erosión

Erosión de sedimentos

Los insumos naturales son también difíciles de cuantificar o muestran una distribución irregular. Las filtraciones tienden a estar asociadas con regiones de actividad tectónica en márgenes oceánicas mientras que la erosión de los sedimentos expuestos ricos en nutrientes ocurre en localidades terrestres y por lo general forman parte de la afluencia de ríos.

DESTINO DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBURO EN EL MAR

Asimilación natural

A pesar de la introducción de muchas miles de toneladas de hidrocarburo a los océanos del mundo, existe poca evidencia de una acumulación de residuos de hidrocarburo en el mar. Esto es una buena indicación de que el ambiente marino es capáz de asimilar el hidrocarburo. Los derrames de hidrocarburo accidentales son por lo general de máxima preocupación ya que a menudo dan orígen a una contaminación conspícua aguda.

Persistencia del hidrocarburo en el mar

Cuando un hidrocarburo es derramado en el mar, sufre una serie de cambios físicos y químicos, algunos de los cuales llevan a su desaparición de la superficie del mar, mientras que otros hacen que persista. El período de tiempo depende principalmente de sus características físicas y químicas iniciales, así como de la cantidad de que se trate; las condiciones climáticas y del mar prevalecientes y si el hidrocarburo permanece en el mar o es arrastrado hacia la orilla.

Propiedades del Hidrocarburo

Tipos de hidrocarburo

Al considerar el destino del hidrocarburo derramado en el mar, con frecuencia se hace la distinción entre hidrocarburo no-persistente, que tiende a desaparecer rápidamente de la superficie del mar y los hidrocarburos persistentes, que por el contrario se disipan más lentamente y por lo general requieren de una reacción de limpieza. Los hidrocarburos no-persistentes incluyen gasolina, nafta, kerosen y diesel, mientras que la mayoría de los crudos y productos refinados pesados tienen diferentes grados de persistencia dependiendo de sus propiedades físicas y del tamaño del derrame.

Las principales propiedades físicas que afectan el comportamiento de un hidrocarburo derramado en el mar son la gravedad específica, las características de destilación, la viscosidad y el punto de fluidez.

Gravedad específica

La gravedad específica de un hidrocarburo es su densidad en relación al agua pura. La mayoría de los hidrocarburos son más livianos que el agua y tienen una gravedad específica por debajo de 1. La densidad del crudo y los productos de hidrocarburo por lo general se expresa en términos de gravedad API según la siguiente fórmula:

°API

$$°\text{API} = \frac{141.5}{\text{gravedad específica}} - 131.5$$

Además de determinar si el hidrocarburo flotará o no, su densidad también puede dar una indicación general de las demás propiedades del hidrocarburo. Por ejemplo, los hidrocarburos con una baja densidad específica (°API alto) tienden a ser ricos en componentes volátiles y altamente fluidos.

Características de destilación

Las características de destilación de un hidrocarburo describen su volatilidad. A medida que se eleva la temperatura de un hidrocarburo, diferentes componentes alcanzan a su vez su punto de ebullición y son destilados. Las características de destilación se expresan como las proporciones del hidrocarburo de origen que se destilan dentro de un rango dado de temperaturas.

Viscosidad

La viscosidad de un hidrocarburo es su resistencia al flujo. Los hidrocarburos de alta viscosidad fluyen con dificultad, mientras que aquellos con baja viscosidad son altamente móviles. Las viscosidades disminuyen a temperaturas mayores, de manera que la temperatura del agua de mar y el grado al cual el hidrocarburo puede absorber calor del sol son consideraciones importantes.

Punto de fluidez

El punto de fluidez es la temperatura por debajo de la cual el hidrocarburo no fluye. Si la temperatura del ambiente está por debajo del punto de fluidez, el hidrocarburo se comportará esencialmente como un sólido.

Procesos de Curtido por la Intemperie

Los cambios físicos y químicos por los cuales atraviesa el hidrocarburo derramado a veces se denominan curtido por la intemperie. Los diferentes procesos se muestran esquemáticamente en la Figura 2. Es muy importante en la preparación e implementación de planes de contingencia para la reacción ante un derrame, tener un conocimiento de estos procesos y de como interactúan para alterar la naturaleza y composición de los hidrocarburos con el tiempo. En ocasiones puede no ser necesario llevar a cabo una operación de limpieza y se puede predecir con cierta seguridad que el hidrocarburo derivará alejándose de recursos susceptibles o se disipará naturalemente antes de alcanzarlos. Sin embargo, con frecuencia será necesaria una reacción activa enfocada bien sea hacia la aceleración de los procesos naturales mediante el uso de dispersantes o limitando su esparcimiento mediante la contención.

Necesidad de reacción ante un derrame

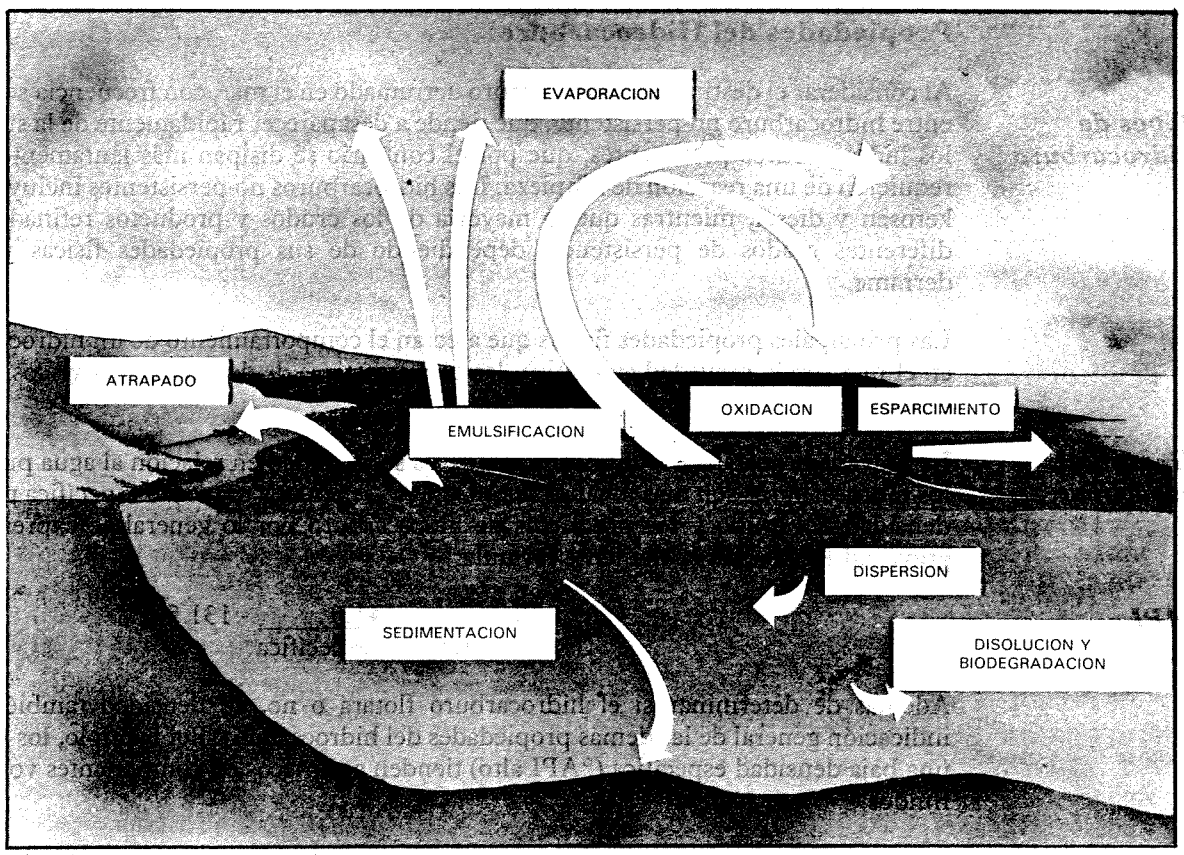


Figura 2:
Destino del hidrocarburo dispersado incluyendo los principales procesos de curtido por la intemperie.

Esparcimiento

El esparcimiento es uno de los procesos más significativos durante las etapas iniciales de un derrame. La fuerza de mayor empuje que impulsa el esparcimiento inicial del hidrocarburo es su peso. De ahí que un derrame grande instantáneo se esparcirá más rápidamente que una descarga lenta. Este esparcimiento ayudado por la gravedad es reemplazado rápidamente por los efectos de la tensión superficial. Durante estas etapas iniciales, el hidrocarburo se esparce como una mancha coherente y la rapidez se ve influenciada por la viscosidad del hidrocarburo. Los hidrocarburos con alta viscosidad sólo se esparcen lentamente y aquellos derramados a temperaturas por debajo de su punto de fluidez casi no se esparcen. Después de unas pocas horas, la mancha comienza a quebrarse y forma franjas estrechas o "hileras" paralelas a la dirección del viento. En esta etapa la fluidez del hidrocarburo es menos importante, ya que el esparcimiento futuro depende principalmente de la turbulencia de la superficie del mar. Las variaciones en la tasa de esparcimiento se deben a las diferencias en las condiciones hidrográficas prevalecientes tales como corrientes, corrientes de marea y velocidades del viento. Unas 12 horas después de un derrame, el hidrocarburo puede quedar esparcido dentro de un área de hasta 5 kilómetros cuadrados, limitando así la posibilidad de una limpieza efectiva en el mar. Es de notar que excepto en caso de derrames pequeños de hidrocarburos de baja viscosidad, el esparcimiento no es uniforme y hay grandes variaciones en el espesor de la mancha.

Esparcimiento inicial

Hileras

Desperdigamiento

Evaporación

Factores modificadores

La tasa y alcance de la evaporación está determinada principalmente por la volatilidad del hidrocarburo. Cuanto mayor sea la proporción de componentes con puntos de ebullición bajos, mayor será la evaporación. La tasa inicial de esparcimiento del hidrocarburo afecta la evaporación debido a que mientras más grande sea el área de superficie, más rápidamente se evaporarán los componentes livianos. El mar picado, la alta velocidad del viento y las temperaturas cálidas también aumentan la tasa de evaporación. En términos generales aquellos componentes con un punto de ebullición por debajo de 200°C se evaporarán dentro de un periodo de 24 horas en condiciones templadas.

Tasas de evaporación

Los derrames de productos refinados, tales como kerosén y gasolina pueden evaporarse por completo en unas cuantas horas y los crudos livianos pueden perder hasta un 40% durante el primer día. Por el contrario, los crudos pesados y los aceites combustibles sufren poca o ninguna evaporación. Cualquier residuo de hidrocarburo restante después de la evaporación tendrá una densidad y viscosidad mayor, lo cual afecta los procesos de curtido adicionales así como la escogencia de las técnicas de limpieza.

Riesgo de incendio y explosión

Cuando se derraman hidrocarburos extremadamente volátiles en áreas confinadas, puede existir un riesgo de incendio y explosión. La inflamabilidad del hidrocarburo a menudo ha hecho pensar en la posibilidad de prender fuego a las manchas en la superficie del mar. Aunque frecuentemente se pueden prender las manchas, especialmente de hidrocarburo recién derramado, es difícil mantener la combustión aún cuando se utilicen agentes que actúen como mecha, debido al poco grosor de la capa de hidrocarburo y al efecto refrigerante de la capa de agua por debajo. Los residuos restantes después de la combustión parcial son por lo general más problemáticos y difíciles de tratar que el hidrocarburo curtido por la intemperie.

Dispersión

Comportamiento de las gotas de hidrocarburo

Las olas y la turbulencia en la superficie del mar actúan sobre la mancha para producir gotas en una serie de tamaños. Las gotas pequeñas permanecen en suspensión, mientras que las más grandes se elevan de nuevo a la superficie, detrás de la mancha para formar nuevamente una mancha con otras gotas o esparcirse en una película muy delgada. Las gotas lo suficientemente pequeñas como para permanecer en suspensión se mezclan en la columna de agua y el área superficial mayor presentada por este hidrocarburo dispersado puede promover otros procesos tales como la biodegradación o sedimentación.

Influencia del estado de mar

La tasa de dispersión natural depende mayormente de la naturaleza del hidrocarburo y el estado del mar, ocurriendo más rápidamente en presencia de olas rompientes. El espesor de la mancha, que está relacionado con la cantidad derramada y el grado de esparcimiento, es un importante factor en la tasa de dispersión ya que gotas más pequeñas son producidas de películas finas.

Influencia de la viscosidad

Los hidrocarburos que permanecen fluidos y que pueden esparcirse sin ser obstaculizados por otros procesos de curtido, pueden dispersarse completamente en pocos días en condiciones de mar moderado. Por el contrario, los hidrocarburos viscosos o aquellos que forman emulsiones estables de agua-en-hidrocarburo tienden a formar depósitos gruesos en la superficie del mar que muestran poca tendencia a dispersarse. Dichos hidrocarburos pueden persistir por varias semanas.

Emulsificación

Persistencia

"Mousse"

Muchos hidrocarburos presentan una tendencia a absorber agua para formar emulsiones agua-en-hidrocarburo que puede aumentar el volumen del contaminante en un factor entre tres y cuatro. Estas emulsiones a menudo son extremadamente viscosas y como resultado de esto, los demás procesos que harían que el hidrocarburo se disipe se ven retardados. Esta es la principal razón para la persistencia de los crudos medianos y pesados en la superficie del mar. En condiciones de mar moderado a mar picado, la mayoría de los hidrocarburos forman emulsiones rápidamente; la estabilidad de estas depende de la concentración de asfaltenos. Los hidrocarburos con contenido de asfaltenos mayores de 0,5% tienden a formar emulsiones estables, a menudo denominadas "mousse de chocolate", mientras que es más probable que se dispersen los que contienen menos. Las emulsiones pueden separarse de nuevo en hidrocarburo y agua si son calentadas por la luz solar bajo condiciones de mar tranquilo o al estancarse en las costas.

Contenido de agua

La tasa a la cual ocurre la emulsificación es principalmente una función del estado del mar, aunque los hidrocarburos viscosos tienden a absorber agua más lentamente. En velocidades de fuerza de viento mayores a Beaufort 3, algunos hidrocarburos de baja viscosidad pueden incorporar entre 60% y 80% agua por volumen en unas 2-3 horas. Por contraposición los hidrocarburos sumamente viscosos pueden tardar hasta 10 horas o más en absorber 10% de agua en estas mismas condiciones y aún después de varios días el contenido de agua raras veces excede el 40%.

Cambio en las propiedades

La absorción de agua por lo general resulta en un cambio del color del hidrocarburo de negro a marrón, anaranjado o amarillo. A medida que la emulsión se desarrolla, el movimiento del hidrocarburo en las olas hace que las gotas de agua absorbidas en el hidrocarburo se hagen cada vez más pequeñas, resultando una emulsión cada vez más viscosa. A medida que la cantidad de agua absorbida aumenta, la densidad de la emulsión se aproxima a la del agua.

Disolución

Componentes solubles

La tasa y grado al cual un hidrocarburo se disuelve depende de su composición, grado de esparcimiento, temperatura del agua, turbulencia y grado de dispersión. Los componentes pesados del hidrocarburo se hacen virtualmente insolubles en el agua de mar, mientras que los componentes livianos, particularmente los hidrocarburos aromáticos tales como el benceno y tolueno son altamente solubles. Sin embargo, estos componentes también son los más volátiles por lo que se evaporan rápidamente, generalmente unas 10-1000 veces más rápido que por disolución. De ahí que las concentraciones de hidrocarburos disueltos raras veces exceden una parte por millón y la disolución no hace una contribución significativa en la remoción del crudo de la superficie marina.

Oxidación

Reacción con el oxígeno

Luz solar

Grumos de alquitrán

Los hidrocarburos pueden reaccionar con el oxígeno bien sea para desdoblarse en productos solubles o para formar alquitranes persistentes. Muchas de estas reacciones de oxidación son provocadas por la luz solar y aunque ocurren a lo largo de la vida de la mancha, el efecto sobre la disipación total es menor en relación a los demás procesos de curtido. Bajo la luz solar intensa las películas delgadas se disipan a tasas de no más de 0,1% por día. La oxidación de capas gruesas de hidrocarburos de alta viscosidad o emulsiones de agua-en-hidrocarburo es más probable que resulte en su persistencia y no su degradación. Esto es debido a la formación de compuestos de alto peso molecular que forman una capa protectora externa. Por ejemplo, los depósitos de alquitrán que a veces quedan atrapados en las costas como grumos de alquitrán, por lo general consisten de una costra externa sólida combinada con partículas de sedimento que rodean una parte interior suave, menos curtida.

Sedimentación

Crudos pesados

Efectos de la temperatura

Algunos hidrocarburos residuales pesados tienen gravedades específicas mayores de 1, por lo que se hundirán en aguas dulces o salobres. Sin embargo, muy pocos crudos son lo suficiente densos, o se curten a tal punto que sus residuos se hundan en agua de mar. El hundimiento por lo general se produce por la adhesión al hidrocarburo de partículas de sedimento o materia orgánica. Algunos crudos pesados, tales como los producidos en Venezuela así como la mayoría de los combustibles pesados y las emulsiones de agua-en-hidrocarburo, tienen gravedades específicas cercanas a 1, y de ahí que requieran de muy poca cantidad de material particulado para exceder la gravedad específica del agua de mar (cerca de 1,025). También es de esperarse que la temperatura afecte el comportamiento de un hidrocarburo con flotación neutra. Sobre un rango de 10°C de temperatura la densidad del agua de mar cambiará en 0,25%, mientras que las densidades del hidrocarburo cambian en un 0,5%. Un hidrocarburo que apenas flote durante el día puede sumergirse a medida que la temperatura baja y luego resurgir en agua más cálida.

Mecanismos de la sedimentación

Las aguas poco profundas a menudo están cargadas de sólidos en suspensión que proporcionan condiciones favorables para la sedimentación. En mar abierto esto es menos probable pero el zooplancton puede inadvertidamente absorber partículas de hidrocarburo al alimentarse, las cuales son incorporadas a las pelotillas fecales que caen al lecho marino.

Cubiertas de alquitrán

El hidrocarburo atrapado en costas arenosas a menudo se mezcla con sedimentos, y si la mezcla es después lavada de la playa, puede hundirse. En las playas de arena expuestas, la alta contaminación puede llevar a la acumulación de grandes cantidades de sedimentos en el hidrocarburo, formando densas cubiertas de alquitrán. Los ciclos estacionales de acumulación y erosión de sedimentos pueden causar que las capas de hidrocarburo sean enterradas y desenterradas sucesivamente. Las costas protegidas tienden a estar compuestas de sedimentos de grano fino y si el hidrocarburo es incorporado a estos, es probable que quede atrapado por largo tiempo.

Biodegradación

Micro-organismos

Oxígeno y nutrientes

El agua de mar contiene una serie de micro-organismos marinos tales como bacterias, hongos y levaduras que pueden utilizar el hidrocarburo como fuente de carbono y energía. Dichos micro-organismos están ampliamente distribuídos en el mar aunque tienden a ser más abundantes en aguas crónicamente contaminadas, tales como las que reciben descargas industriales o aguas de alcantarillado no tratadas. Los principales factores que afectan las tasas de biodegradación son la temperatura y la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo. Cada tipo de micro-organismo tiende a degradar un grupo específico de hidrocarburos, y mientras que existe un rango de bacterias que entre ellas pueden degradar la mayor parte de la amplia variedad de compuestos en el petróleo crudo, algunos componentes son resistentes al ataque. Aunque los micro-organismos no están siempre presentes en cantidades suficientes en mar abierto, cuando existen las condiciones adecuadas se multiplican rápidamente hasta que el proceso se ve limitado por la deficiencia de oxígeno o nutrientes.

Interfase Hidrocarburo/ agua

Tasas de biodegradación

Debido a que los micro-organismos viven en agua de mar, la biodegradacion sólo puede ocurrir en la interfase hidrocarburo/agua. El hidrocarburo atrapado en las costas por encima de la línea de marea alta se degrada por lo tanto muy lentamente y puede persistir durante muchos años. En el mar, la creación de gotas de hidrocarburo, bien sea por dispersión natural o química, aumenta el área interfacial disponible para la actividad biológica y por ende aumenta la degradación. La diversidad de factores que influyen sobre la biodegradación hace difícil predecir la tasa de remoción de hidrocarburo. En aguas templadas se han reportado tasas diarias entre 0,001 y 0,03 gramos por tonelada de agua de mar, pero pueden alcanzar hasta 0,5-60 gramos por tonelada de agua de mar en áreas crónicamente contaminados por hidrocarburo. Sin embargo, una vez que el hidrocarburo es incorporado a los sedimentos, las tasas de degradación se reducen enormemente debido a la falta de oxígeno y nutrientes.

Procesos Combinados

Los procesos de esparcimiento, evaporación, dispersión, emulsificación y disolución son de máxima importancia durante las etapas iniciales de un derrame, mientras que la oxidación, sedimentación y biodegradación son procesos a largo plazo que determinan el destino final del hidrocarburo.

Clasificación de hidrocarburos

Contenido de parafina

Debido a que los mecanismos de interacción entre los diferentes procesos de curtido por la intemperie no son bien comprendidos, a menudo se confía en los modelos empíricos basados en el tipo de crudo. Para este propósito es conveniente clasificar en cuatro grupos principales los hidrocarburos más transportados, de acuerdo aproximadamente a su gravedad específica (Tabla 2). Como regla general, mientras más baja sea la gravedad específica del hidrocarburo, será menos persistente. Sin embargo es importante destacar que algunos hidrocarburos aparentemente livianos se comportan más como pesados debido a la presencia de parafina. Los hidrocarburos con un contenido de parafina mayor de un 10% tienden a tener puntos de fluidez altos, y si la temperatura del ambiente está por debajo de ésta, el crudo se comportará como un sólido o un líquido altamente viscoso.

Concepto de vida-media

Tiempo y condiciones climáticas

Habiendo clasificado los hidrocarburos, una forma en que puede describirse su persistencia es en términos de la vida-media para cada grupo. Este es el tiempo que toma la remoción del 50% del hidrocarburo de la superficie del mar. Después de 6 vidas-medias, permanecerá poco más del 1% del hidrocarburo. Este modelo se muestra en la Figura 3, que también toma en consideración el efecto de la emulsificación sobre el volumen de hidrocarburo a través del tiempo. Las vidas-medias han sido seleccionadas en base a observaciones realizadas en el campo y tratan de dar una impresión de cómo la persistencia varia de acuerdo a las propiedades físicas del hidrocarburo. De la misma manera que ningún hidrocarburo tiene las propiedades exactas a las indicadas en los grupos dados en la Tabla 2, el tiempo y las condiciones climáticas también influenciarán la vida-media de una mancha. Por ejemplo, en muy mal tiempo, un hidrocarburo del Grupo 3 puede disiparse dentro de una escala de tiempo más apropiada para el Grupo 2. Por el contrario, en condiciones de frío y mar tranquilo, puede aproximarse a la persistencia de los hidrocarburos del Grupo 4.

Tabla 2. CLASSIFICACION DE LOS CRUDOS Y COMBUSTIBLES MAS CORRIENTES DE ACUERDO CON SU GRAVEDAD ESPECIFICA

Grupo I

Gravedad Específica < **0.8** (°API > **45**)

B Viscosidad cSt @ 15°C: **0.5-2.0**
C % ebullición por debajo de 200°C: **50-100%**
D % ebullición por encima de 370°C: **0%**

	B	C	D
Gasolina	0.5	100	0
Nafta	0.5	100	0
Kerosen	2.0	50	0

Grupo II

Gravedad Específica **0.8-0.85** (°API **35-45**)

A Punto de Fluidez °C
B Viscosidad cSt @ 15°C: **4 – sólido Promedio 8 cSt**
C % ebullición por debajo de 200°C: **10-48% Promedio 35%**
D % ebullición por encima de 370°C: **0-40% Promedio 30%**

Punto de Fluidez alto >5°C*

	A	B	C	D
Argyll	9	11	29	39
Amna	18	s	25	30
Arjuna	27	s	37	15
Auk	9	9	33	35
Estrecho Bass	15	s	40	20
Beatrice	12	32	25	35
Bunyu	18	s	29	12
Cormorant	12	13	32	38
Dunlin	6	11	29	36
Escravos	10	9	35	15
Es Sider	9	11	31	37
Mezcla Gippsland	15	s	40	20
Lucina	15	s	30	34
Liviano de Nigeria	9	s	35	27
Ninian	6	13	29	40
Qua Iboe	10	7	37	8
Rio Zulia	27	s	34	30
San Joaquín	24	s	43	20
Santa Rosa	10	4	34	27
Sarir	24	s	24	39
Seria	18	s	37	15
Thistle	9	9	35	38
Zuetina	9	9	35	30

*Estos hidrocarburos sólo se comportarían como del Grupo II a temperaturas ambiente por encima de su punto de fluidez. A temperaturas menores deben tratarse como los del Grupo IV.

Punto de Fluidez Bajo

	B	C	D
Abu Dhabi	7	36	31
Berri	9	36	35
Beryl	9	35	34
Rio Brass	4	45	17
Brega	9	38	32
Brent Spar	9	37	32
Ekofisk	4	46	25
Kirkuk	11	35	36
Kole Marine	11	46	35
Montrose	7	35	31
Murban	9	34	30
Murchison	7	36	20
Qatar Marine	9	36	33
Mezcla Sahara	4	36	23
Sirtica	7	36	27
Stratfjord	9	48	32
Zakum	7	44	31
		35	
Gasoil	5	34	–
		–	

Grupo III

Gravedad Específica **0.8-0.95** (°API **17.5-35**)

A Punto de Fluidez °C
B Viscosidad cSt @ 15°C: **8 – sólido Promedio 275 cSt**
C % ebullición por debajo de 200°C: **14-34% Promedio 25%**
D % ebullición por encima de 370°C: **28-60% Promedio 45%**

Punto de Fluidez Alto >5°C*

	A	B	C	D
Bakr	7	1500	14	60
Belayim (marino)	15	s	22	55
Cabinda	21	s	21	52
El Morgan	7	30	25	47
Mandij	9	70	21	53
Soyo	15	s	21	48
Mezcla Suez	10	30	24	49
Trinidad	14	s	23	28
Zaire	15	s	18	55

Punto de Fluidez bajo

	B	C	D
Arabe Liviano	14	30	40
Arabe mediano	25	29	45
Arabe pesado	55	25	49
Buchan	14	31	39
Champion Export	18	15	39
Flotta	11	34	26
Forcados	12	18	26
Forties	8	32	34
Irani pesado	25	29	36
Khafji	80	25	44
Kuwait	30	29	49
Maya	500	25	46
Nigeria medio	40	14	49
Santa Maria	250	22	40
Tia Juana liviano	2500	24	54
			45
Combustible mediano	1500-3000	–	–

*Estos hidrocarburos sólo se comportarian como los del Grupo III a temperatura ambiente por encima de su punto de fluidez. A temperaturas menores deben tratarse como a los hidrocarburos del grupo IV.

Grupo IV

Gravedad Específica > **0.95** (°API < **17.5**)
Punto de Fluidez > **30°C**

A Punto de Fluidez °C
B Viscosidad cSt @ 15°C: **1500 – sólido**
C % ebullición por debajo de 200°C: **3-24% Promedio 10%**
D % ebullición por encima de 370°C: **33-92% Promedio 65%**

	A	B	C	D
Bachaquero pesado	-20	5,000	10	60
Bahia	38	s	24	45
Boscan	15	s	4	80
Bu Attifil	39	s	19	47
Cinta	43	s	10	54
Cyrus	-12	10,000	12	66
Duri	14	s	5	74
Gamba	23	s	11	54
Handil	35	s	23	33
Mezcla pesada del Lago	-12	10,000	12	64
Jatibarang	43	s	14	65
Jobo/Morichal	-1	23,000	3	76
Lagunillas	-20	7,000	9	73
Merey	-23	7,000	10	66
Minas	36	s	17	53
Panuco	2	s	3	76
Pilón	-4	s	2	92
Quiriquire	-29	1,500	3	88
Shangli	21	s	9	70
Taching	35	s	12	49
Pesado Tia Juana	-1	s	3	78
Wafra Eocene	-29	3,000	11	63
Comustible pesado para Tanquero (Bunker C)		5,000-30,000	–	–

Decisiones de reacción

Es importante tomar en consideración las premisas hechas con modelos tales como el descrito sin confiar excesivamente en los resultados. Sin embargo, pueden ser una buena guía para evaluar cuál de las técnicas de limpieza puede ser efectiva, si la reacción se inicia lo suficientemente rápido y qué tipo de problemas deberá enfrentar la organización encargada de la limpieza.

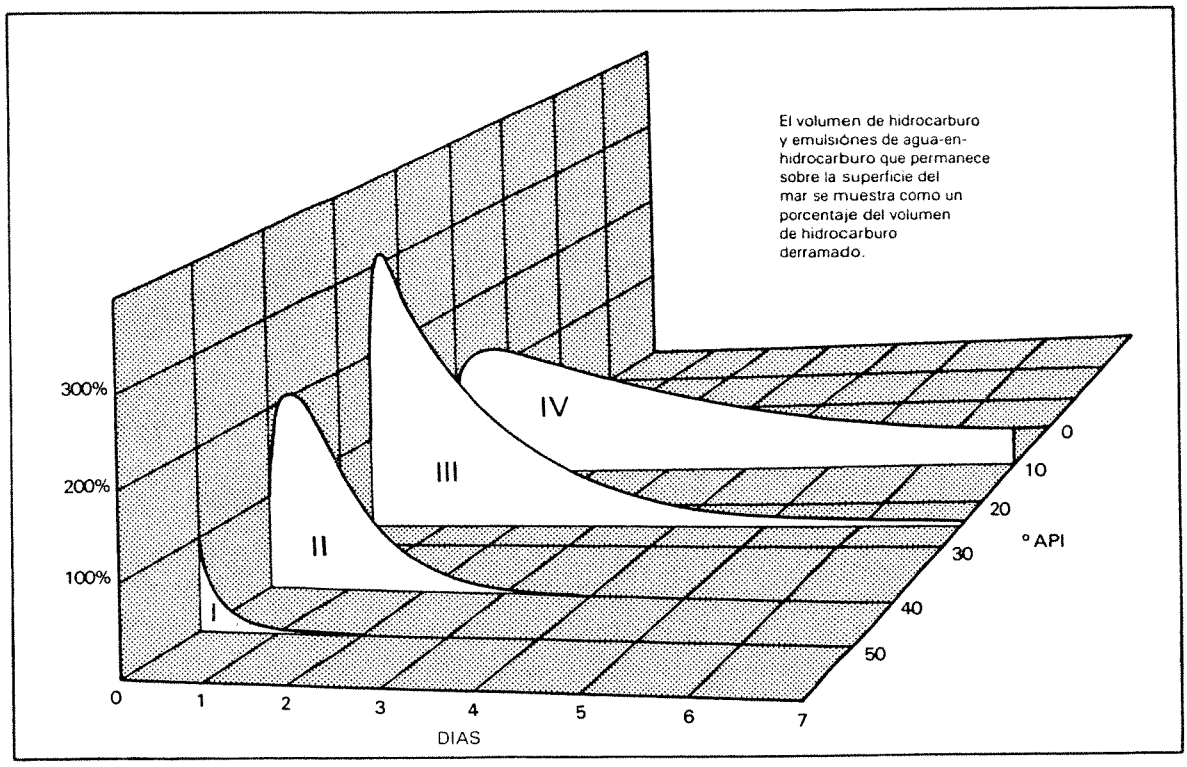


Figura 3:
Tasa de remoción de la superficie del mar de los hidrocarburos pertenecientes a los grupos I-IV según sus propiedades físicas.

Predicción del Movimiento de la Mancha

Es igualmente importante estar en capacidad de predecir el movimiento probable de una mancha así como los posibles cambios en las propiedades de un hidrocarburo después de que ha sido derramado. Esto permite que se identifiquen los recursos susceptibles en el paso de la mancha, y de ser necesario, que se implementen las medidas de reacción apropiadas. La tarea de predecir la posición del hidrocarburo sólo puede lograrse si está disponible la información sobre los vientos y las corrientes, ya que ambos contribuyen al movimiento del hidrocarburo flotante.

Efecto del viento

Corrientes de marea

Se ha conseguido de manera empírica que el hidrocarburo flotante se moverá con el viento a aproximadamente 3% de la velocidad de éste. Con la presencia de corrientes superficiales, se superpondrá al movimiento ocasionado por el viento, un movimiento adicional del hidrocarburo equivalente a la fuerza de la corriente. Cerca de la costa, deberán tomarse en consideración la fuerza y dirección de cualesquiera corrientes de marea, pero mar afuera su contribución por lo general es menos significativa porque éstas son cíclicas y tienden a anularse con el tiempo. De allí que, con un conocimiento de los vientos y corrientes prevalecientes es posible predecir la tasa y dirección del movimiento del hidrocarburo flotante desde una posición conocida, tal como se muestra en la Figura 4.

Modelos computarizados

Estos cálculos sencillos pueden sacarse a mano fácilmente, pero toman mucho tiempo si deben considerarse las corrientes de marea, ya que debe recalcularse a intervalos regulares a medida que cambian las corrientes. Se pueden utilizar computadoras para acelerar dichos cálculos almacenando información sobre el movimiento del agua y perfil de la costa para un área geográfica específica. La información acerca del viento y la ubicación del derrame son entonces la única información adicional requerida al momento de un derrame. La confiabilidad de estos modelos depende de la exactitud de la información sobre movimiento del agua y vientos. A menudo se combinan con modelos matemáticos que simulan los procesos de curtido para proporcionar una predicción del destino global del derrame.

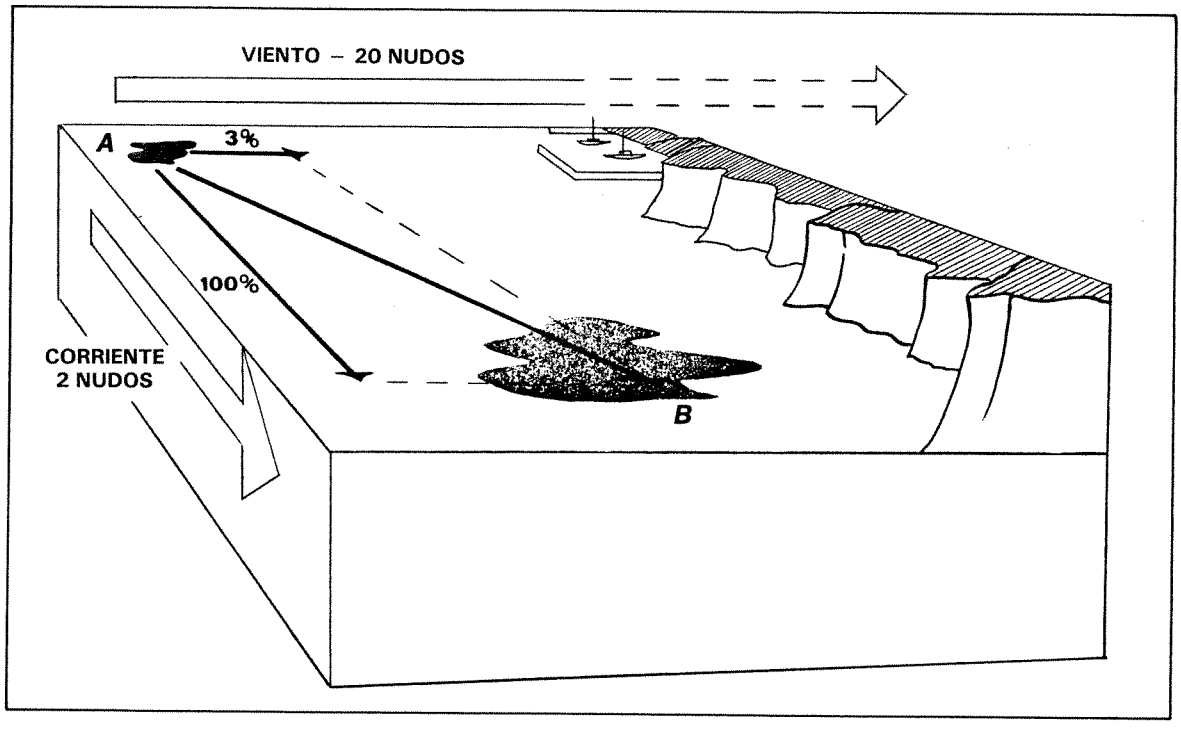


Figura 4:
La influencia del 3% de la velocidad del viento combinado con el 100% de la velocidad de la corriente resulta en el movimiento del hidrocarburo de A a B.

VIGILANCIA AEREA EN EL MAR

No importa cuán confiable sea cualquier modelo de derrame, las predicciones sobre el destino y movimiento de manchas de hidrocarburo en el mar deben ser verificadas mediante la vigilancia regular del hidrocarburo. Esto debe realizarse desde el aire debido a que la observación desde embarcaciones es poco eficiente.

Selección de Aeronaves

La aeronave seleccionada para la observación aérea debe permitir una buena visibilidad en todas las direcciones y estar equipada con ayudas de navegación adecuadas. Sobre aguas cercanas a la costa, la maniobrabilidad de los helicópteros puede representar una ventaja, por ejemplo, al vigilar una costa intrincada con riscos, cuevas e islas. Sin embargo, sobre mar abierto hay menos necesidad de cambios rápidos en la velocidad de vuelo, dirección y altitud y por el contrario son generalmente deseables la velocidad y alcance de una aeronave de ala fija. Para estudios extensos sobre áreas marinas remotas, el márgen adicional de seguridad que ofrecen las aeronaves bi o multi-motor es esencial y en cualquier caso puede ser requerido según las reglamentaciones gubernamentales. La atención a los aspectos de seguridad siempre es de máxima importancia, y el piloto deberá ser consultado sobre todos los aspectos relevantes de un vuelo de reconocimiento.

Helicópteros

Ala fija

Seguridad

Plan de vuelo

Deberá prepararse con antelación un plan de vuelo utilizando una carta marina de escala apropiada y tomando en consideración cualquier información disponible que pueda reducir lo más posible el área de búsqueda. A menudo es aconsejable dibujar una cuadrícula sobre la carta marina de manera que cualquier posición pueda ser identificada sin lugar a dudas mediante una referencia de cuadrícula, por ejemplo en cuadros de una milla cuadrada.

Patrón de Búsqueda

"Búsqueda escalonada"

Una "búsqueda escalonada" es por lo general el método más económico de vigilar un área grande en el mar (Figura 5). Debido a que el hidrocarburo flotante tiene la tendencia a alinearse en hileras estrechas paralelas a la dirección del viento, una búsqueda escalonada volando con el viento de través aumentará la probabilidad de detectar el hidrocarburo.

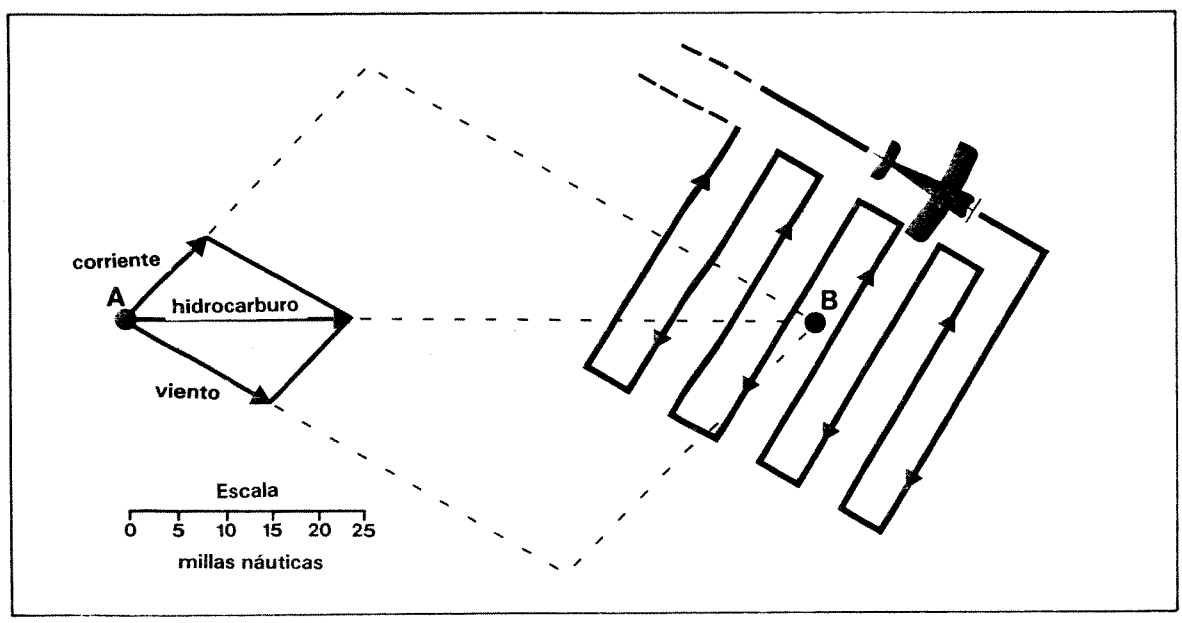


Figura 5:
Movimiento del hidrocarburo desde A a la posición B tres días después, estimada al combinar el 100% de la velocidad de la corriente y el 3% de la velocidad del viento como se muestra. Las flechas desde A representan corriente, viento y movimiento del hidrocarburo para un día. Sobre la posición B se muestra un patrón de búsqueda escalonada con el viento de través.

Efecto de la luz del sol

El reflejo y encandilamiento del mar a menudo afectan la visibilidad, y la posición del sol puede sentar la mejor dirección para el patrón de búsqueda. Los lentes de sol pueden ofrecer algún alivio al cansancio visual causado por la luz fuerte. Los lentes polarizados pueden ser de ayuda en la detección de hidrocarburo en el mar bajo ciertas condiciones de luz debido a las diferencias en la luz reflejada por el hidrocarburo y por el agua. La altitud de búsqueda por lo general es determinada por la visibilidad. Con frecuencia, en buen tiempo, una altura de 500 metros (1600 pies) resulta ser la ideal para maximizar el área de visión sin perder detalles.

Altitud de búsqueda

Navegación

Sin embargo, es necesario bajar a la mitad de esta altura o aún más para confirmar cualquier avistamiento de hidrocarburo flotante o examinar su apariencia. Sobre mar abierto, lejos de cualquier punto de referencia, es fácil desorientarse. Idealmente el observador podrá consultar los instrumentos marcadores de velocidad, dirección y posición, pero es conveniente asegurarse primero que los instrumentos puedan ser leídos sin dificultad. En ausencia de tales ayudas, un observador podrá con la ayuda de una carta marina adecuada mantener un registro de los cambios en el curso y posiciones comunicándose con el piloto mediante el intercomunicador de la aeronave.

Apariencia del Hidrocarburo en el Mar

Effectos confusos

Desde el aire es muy difícil distinguir entre el hidrocarburo proveniente de un derrame y otra variedad de fenómenos no relacionados. Estos incluyen, sombras de nubes, rizos sobre la superficie del mar; parches de algas marinas en aguas poco profundas; diferencias en el color de dos masas de agua adyacentes; sedimentos de ríos y descargas de alcantarillado. Por ende es necesario verificar los avistamientos iniciales de hidrocarburo de que se sospeche sobrevolando el área a una altitud lo suficientemente baja como para permitir la identificación positiva. La apariencia de las descargas de lavados de tanques y sentina como una sóla mancha alargada, por lo general la diferencia de los derrames accidentales.

Lavados de tanques

Color

Los crudos o combustibles de hidrocarburo derramados en el mar sufren cambios marcados debido al curtido por la intemperie. Inicialmente, las partes más gruesas aparecerán como densas áreas negras, pero a medida que progresa la emulsificación el color cambiará a marrón, anaranjado o amarillo. En contraste las partes más delgadas tendrán la apariencia de películas iridiscentes o plateadas.

Detección Remota

Tipos de sensor

Se han evaluado una serie de sensores aéreos para ayudar en la detección, cartografía y cuantificación del hidrocarburo en el agua, algunos de los cuales pueden ser utilizados en condiciones de poco visibilidad y durante la noche. Ningún sensor en particular es capaz de proporcionar suficiente información bajo todas las condiciones por lo que es necesario por lo tanto, combinar una serie de dispositivos diferentes para proporcionar un sistema operacional. La combinación de sensores más comúnmente utilizada (Figura 6) es la de los ultra-violeta e infra-rojos (UVLS y IRLS) y el radar de visión panorámica (SLAR).

SLAR (Slide Looking Airborne Radar)

El SLAR es especialmente útil para obtener información sobre la extensión global de una mancha de hidrocarburo, aunque no puede dar indicación alguna sobre el espesor de ésta. Se basa en el efecto calmante que tiene el hidrocarburo sobre el mar. El dispositivo emite una radiación en la región de micro-ondas y detecta las diferencias en la señal de eco de las olas corrientes y las olas aplanadas por hidrocarburo. En consecuencia, los sensores no son efectivos en condiciones de mar tranquilo, y además, otros fenómenos que aplanan las olas, tales como las interacciones del viento y mareas pueden emitir señales similares al hidrocarburo. Sin embargo el SLAR es capáz de detectar hidrocarburo sobre un área ámplia (hasta 20 millas a ambos lados de la aeronave si ésta está equipada con una antena gemela) y puede operar día y noche. Además, una ventaja particular de los sistemas de radar es que la radiación de micro-ondas es muy poco afectada por la neblina o las nubes.

IRLS (Infra-Red Line Scanners)

El IRLS tiene un campo de visión mucho menor que el SLAR y aunque los sensores pueden operar de noche, no pueden "ver" a través de la neblina y las nubes. Los dispositivos IRLS miden la radiación natural emitida desde el mar en la región térmica infra-roja y detectan las diferencias de temperatura de la superficie del mar. Como resultado el IRLS no es específico para el hidrocarburo y su presencia debe ser confirmada bien sea visualmente o en combinación con UVLS. Sin embargo, el IRLS puede proporcionar una indicación general del grosor de la mancha durante el día debido a las diferencias en la absorción solar.

UVLS (Ultra-Violet Line Scanners)

Los sistemas UVLS detectan las diferencias en la luz UV reflejada de la superficie del mar y sólo pueden operar durante el día. Con estos sensores pueden detectarse películas muy finas de hidrocarburo, incluyendo aquellas de orígen biológico.

Paquete Sensor

Un paquete de instrumentos que combina los tres sensores por lo general emplearía primero el SLAR para proporcionar un barrido rápido sobre un área ámplia y para dar una indicación de la presencia de hidrocarburo. Esta sería luego confirmado por una búsqueda más detallada utilizando UVLS e IRLS, con éste último proporcionando información cualitativa sobre el espesor de la mancha.

Registro de imágenes

Las señales de los sensores, junto con los detalles de tiempo y posición son proyectados en un monitor en la aeronave y con algunos sistemas pueden ser retransmitidas a embarcaciones y estaciones terrestres. La información por lo general es grabada en videos y las secciones de interés pueden ser impresas sobre papel para registro permanente.

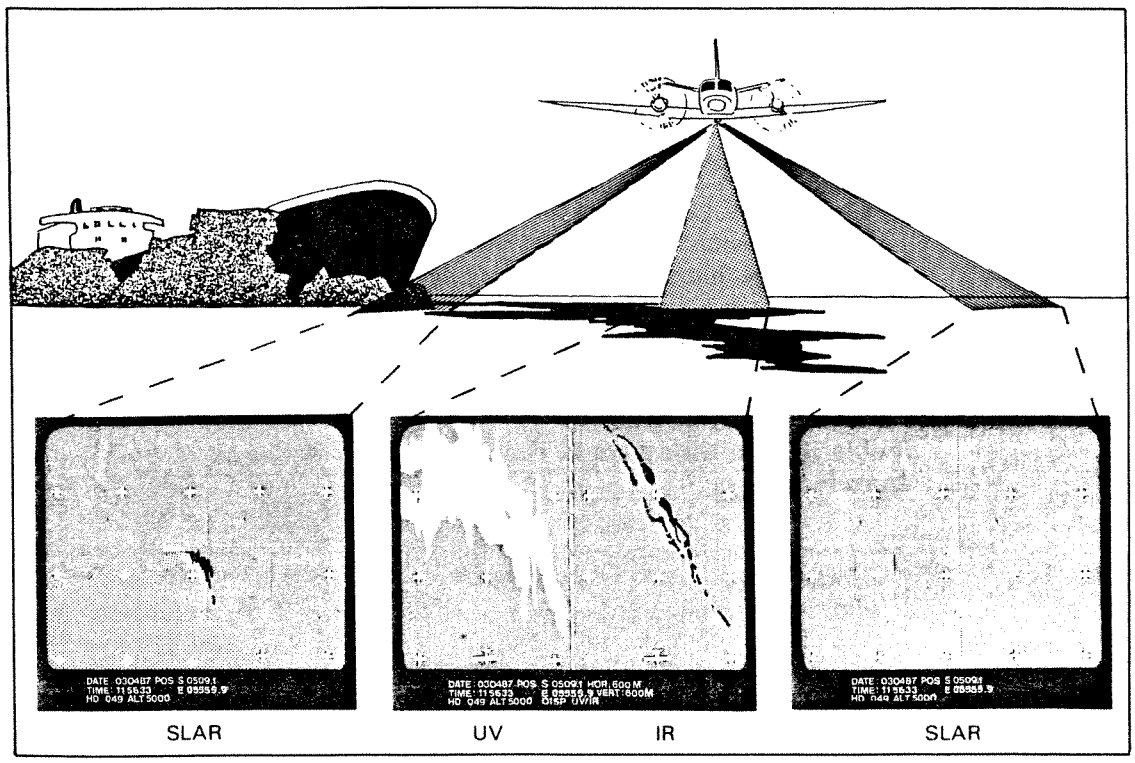


Figura 6:
Aeronave equipada con sistemas para la detección remota de hidrocarburo con radar de visión panorámica (SLAR), detector Ultra-Violeta (UVLS) e Infra-Rojo (IRLS).

Cuantificación Visual del Hidrocarburo Flotante

Es prácticamente imposible hacer un estimado preciso de la cantidad de hidrocarburo flotante debido a la dificultad en estimar su espesor. Como máximo se puede estimar el orden de magnitud correcto considerando ciertos factores. El hidrocarburo se esparce rápidamente y la mayoría de los hidrocarburos líquidos pronto alcanzan un espesor promedio de 0,1 mm, caracterizado por una apariencia negra o marrón oscura. Igualmente, el color de un brillo indica aproximadamente su espesor (ver Tabla 3).

Apariencia versus espesor

Efectos del agua fría

No es posible efectuar un estimado confiable del contenido de agua en una "mousse" sin un análisis de laboratorio, pero aceptando valores generales entre 50% y 80%, se pueden hacer cálculos aproximados del hidrocarburo, dado que la mayoría de las "mousses" flotantes son de 1 mm o más de espesor. Sin embargo, debe enfatizarse que el espesor de una "mousse" y otros hidrocarburos viscosos es particularmente difícil de estimar debido a su esparcimiento limitado. De hecho en aguas frías algunos hidrocarburos con puntos de fluidez altos se solidificarán tomando formas impredecibles y la apariencia de las porciones flotantes no permitirá hacer un estimado acertado del volumen total de hidrocarburo flotante. La presencia de capas de hielo y nieve en tales condiciones se sumarán a la confusión.

Tabla 3. Una Guía para la Relación entre Apariencia, Espesor y Volumen de Hidrocarburo Flotante

Tipo de Hidrocarburo	Apariencia	Espesor Aproximado (mm)	Volumen Aproximado (m^3/km^2)
Brillos	plateado	0,0001	0,1
Brillos	iridiscente	0,0003	0,3
Crudo y combustible	negro/ marrón oscuro	0,1	100
Emulsiones de agua en hidrocarburo ("mousse")	marrón/ anaranjado	>1	>1000

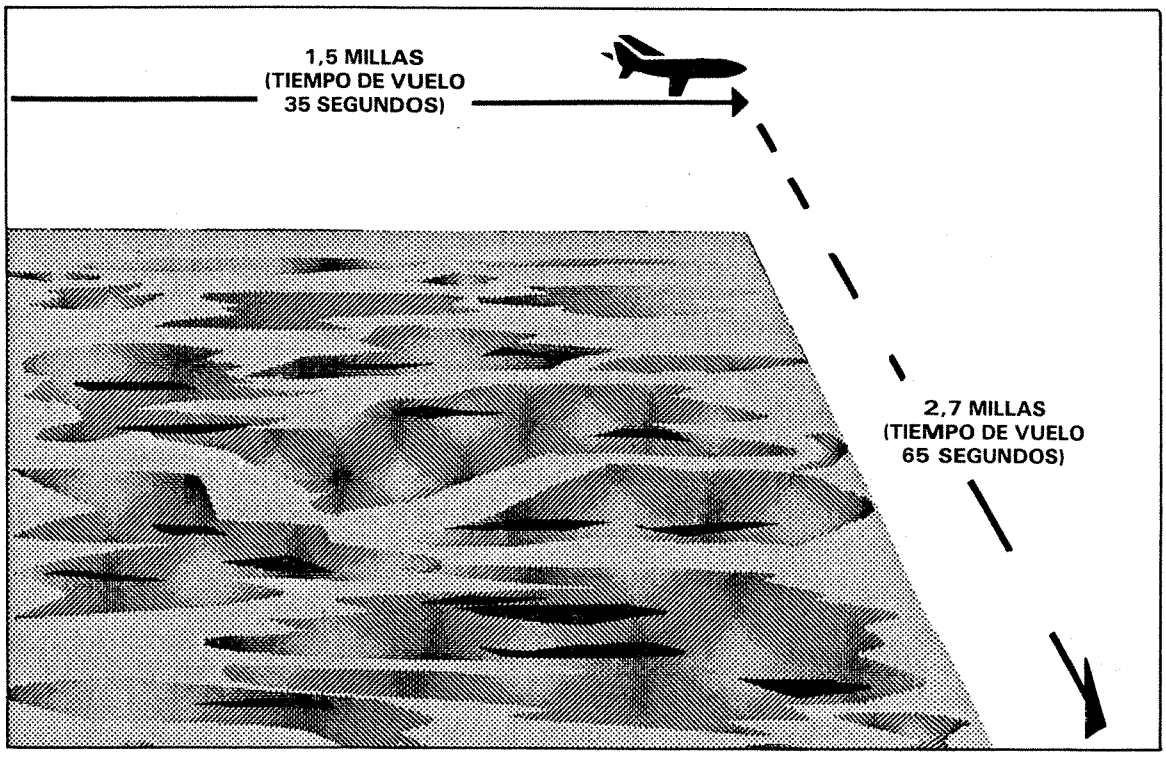
Area superficial

Porcentaje de cobertura

Para estimar la cantidad de hidrocarburo flotante, no sólo es necesario estimar el espesor sino también determinar el porcentaje del área de la superficie del mar cubierta por el hidrocarburo, la emulsión de agua en hidrocarburo y el brillo. De nuevo los estimados precisos se ven complicados por la incidencia de parches en el hidrocarburo flotante. Para evitar opiniones distorsionadas, es necesario mirar verticalmente hacia abajo sobre el hidrocarburo al estimar su distribución. Haciendo un estimado del porcentaje de cobertura de cada forma de hidrocarburo, se puede calcular el área cubierta relativa al total del área de mar afectada, efectuando vuelos cronometrados a una velocidad constante o desde equipos de fijación de posición.

Para illustrar aún más el proceso de estimación de las cantidades de hidrocarburo, se proporciona el siguiente ejemplo en la Figura 7:

Ejemplo: *Durante un reconocimiento aéreo donde se voló a una velocidad constante de 150 nudos, se observó una "mousse" de petróleo crudo y brillos plateados flotando en un área del mar, la longitud y ancho de los cuales requirieron respectivamente de 65 segundos y 35 segundos de tiempo para sobrevolarlos. El porcentaje de cobertura de los parches de "mouse" dentro del área marina contaminada se estimó en un 10% y la cobertura de brillos en un 90%.*



A partir de ésta información, se puede calcular que la longitud de área de mar contaminada que se midió es:

$$\frac{65 \text{ (segundos)} \times 150 \text{ (nudos)}}{3600 \text{ (segundos en una hora)}} = 2{,}7 \text{ millas náuticas}$$

Igualmente, el ancho del área de mar medida es:

$$\frac{35 \times 150}{3600} = 1{,}5 \text{ m.n.}$$

Esto da un área total de aproximadamente 4 millas náuticas cuadradas o 14 kilómetros cuadrados. El volumen de "mousse" puede calcularse como el 10% (porcentaje de cobertura) de 14 (kilómetros cuadrados) × 1000 (volumen aproximado en m^3 por km^2-de la Tabla 3). En este caso se estimó que el 50% de la mousse era agua, dando un volumen de hidrocarburo presente de aproximadamente $700m^3$. Un cálculo similar para el volumen de brillo resulta en 90% de 14 × 0,1 que es el equivalente a aproximadamente 1,3 m^3 de hidrocarburo.

Este ejemplo también sirve para demostrar que aunque un brillo puede cubrir un área relativamente grande de la superficie del mar, tiene una contribución insignificante en el volumen de hidrocarburo presente, por lo que es de máxima importancia distinguir entre los brillos, el hidrocarburo más espeso y las emulsiones.

RECONOCIMIENTO Y CUANTIFICACION DE HIDROCARBURO EN LAS COSTAS

Puntos naturales de recolección

Es útil tener un conocimiento de los lugares donde se acumulan los desperdicios flotantes al predecir dónde puede acumularse el hidrocarburo naturalmente sobre una costa. Las cuevas pequeñas y entradas así como debajo de espigones, muelles y otras estructuras construídas por el hombre son ejemplos de sitios donde puede quedar atrapado el hidrocarburo.

Tipo de costa

La apariencia del hidrocarburo atrapado depende en gran parte del tipo de costa, la cual puede variar desde costas rocosas expuestas hasta playas de cantos o arena y ciénagas pantanosas bien protegidas. La contaminación con hidrocarburo raras veces es uniforme tanto en espesor como cobertura, a no ser que la contaminación sea muy severa. Los vientos, olas y corrientes hacen que el hidrocarburo se deposite en la costa en rayas o parches en vez de una cubierta uniforme.

Costas de marea

En costas de marea la zona afectada puede ser comparativamente ámplia, particularmente en playas planas y protegidas, pero en otras zonas la contaminación puede quedar restringida a una estrecha banda cerca de la marca de marea alta. Al reportar la contaminación de costas, debe especificarse qué partes de la costa están cubiertas por hidrocarburo.

Registros fotográficos

Las fotografías son de gran ayuda para cualquier descripción de la ubicación y apariencia del hidrocarburo en las costas. También sirven como un registro para hacer comparaciones de cambios posteriores en el nivel de contaminación.

Cuantificación del Hidrocarburo Atrapado

Inspección visual

Al organizar una limpieza de costas y controlar su progreso, se debe hacer un estimado aproximado de cuánto hidrocarburo hay presente en una sección de costa. La distribución variable del hidrocarburo puede causar serios errores a no ser que se tenga mucho cuidado en la estimación de la cantidad. La estimación es mayormente visual y será imposible de efectuar si el hidrocarburo está bien escondido de la vista, por ejemplo, en la arena, nieve o entre vegetación, tal como manglares. Donde el hidrocarburo es visible, el problema puede ser atacado en dos etapas.

Reconocimiento aéreo

En primer lugar, la extensión de la contaminación a lo largo de la costa puede ser estimada y señalada en un gráfico o mapa a gran escala. En el caso de derrames masivos, un sobrevuelo en helicóptero es por lo general la forma más eficiente y conveniente de obtener una impresión general. Una aeronave de ala fija por lo general viaja a demasiada velocidad como para realizar una buena inspección costera a baja altura.

Verificación

La vigilancia aérea siempre debe ser combinada con pruebas selectivas a pie ya que muchas características de la costa tales como algas y arena negra pueden parecer como contaminación al ser avistadas de lejos. Se debe prestar especial atención a la identificación de los lugares donde el carácter de la costa varía o donde la cobertura del hidrocarburo parece variar. Los binoculares son útiles, pero cualquier cambio detectado a distancia debe ser siempre verificado por una inspección de cerca.

Cuantificación de áreas representativas

La segunda etapa en la cuantificación del hidrocarburo atrapado comprende la selección de áreas representativas de la costa para calcular la cantidad de hidrocarburo presente. El área escogida debe ser lo suficientemente pequeña como para permitir una estimación precisa del volumen de hidrocarburo en un tiempo razonable, pero lo suficientemente grande como para que sea representativa de toda la sección similarmente afectada. El ejercicio debe repetirse en otras secciones donde el grado de cobertura pueda ser diferente.

Fuente de errores

Esta manera de cuantificar el hidrocarburo atrapado sólo proporciona una cifra aproximada debido a ciertas fuentes de error inevitables. En una playa arenosa el hidrocarburo puede penetrar al sustrato. Si la saturación es uniforme, se puede considerar como representativo del hidrocarburo un cuarto de la profundidad de arena manchada. La presencia de desperdicios o piedras y ranuras en las costas rocosas puede complicar la situación y conducir a errores al calcular los volúmenes de hidrocarburo en emulsiones de agua en hidrocarburo. Si no resulta práctico en algunas situaciones utilizar los anteriores métodos relativamente largos, siempre debe ser posible describir el grado de contaminación bien sea como leve, moderado o grave, comparando la costa contaminada con fotografías de referencia (Figura 8).

Fotografías

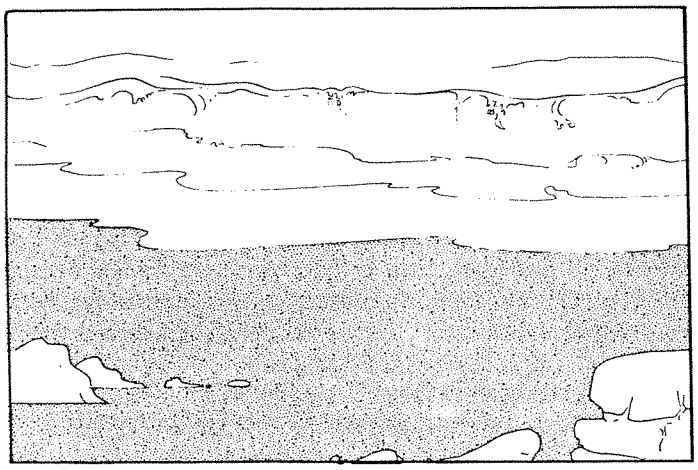


Figura 8a:
Playa arenosa no contaminada

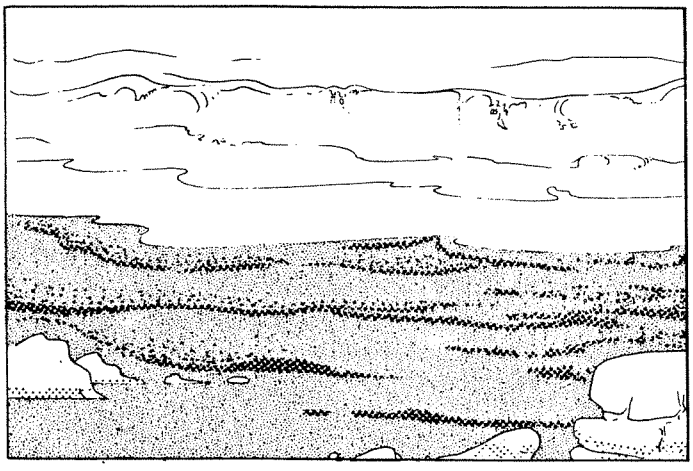


Figura 8b:
Contaminación leve de hidrocarburo – menos de 10 ml de hidrocarburo/m^2.

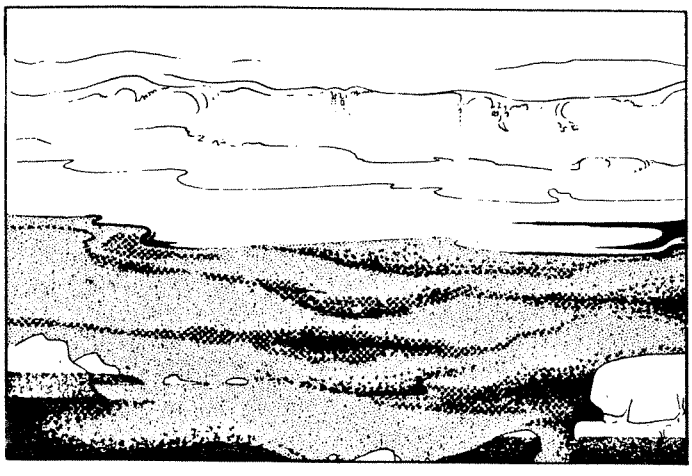


Figura 8c:
Contaminación moderada de hidrocarburo – 10 ml-1 litro de hidrocarburo/m^2.

Figura 8d:
Contaminación aguda de hidrocarburo – 1-100 litros de hidrocaburo/m^2.

Procedimientos de Muestreo

Fuente de contaminación

Análisis

Deducciones

La contaminación con hidrocarburo puede llevar a reclamos por compensación. Se requerirán pruebas que relacionen el daño o costos incurridos con el supuesto contaminante. A veces es fácil establecer la relación, pero en ciertas ocasiones será necesario realizar un análisis químico del hidrocarburo tomado de la fuente de la que se sospeche y en el área contaminada. No le es siempre posible al demandante potencial obtener una muestra de referencia de dicha fuente, pero el análisis de la muestra de contaminación por sí sóla puede proporcionar suficiente evidencia circunstancial como para indicar el orígen probable. Con el conocimiento de los procesos de curtido por la intemperie junto con los registros de vientos y corrientes es posible definir por deducción la posición aproximada de dónde puede haber sido derramado el contaminante.

Requerimientos legales

Sub-muestras

Cualesquiera que sean las circunstancias particulares de un incidente, es importante que se preste atención especial a los procedimientos de muestreo de hidrocarburo y almacenamiento de muestras de manera de respaldar la credibilidad de cualquier evidencia analítica. Puede que sea necesario el asesoramiento legal para asegurar que las acciones tomadas durante el muestreo se ajusten a los requerimientos legales. Se deben tomar réplicas de las muestras, preferiblemente separando las muestras principales en sub-muestras en la presencia de un testigo independiente. Aunque para propósitos analíticos son suficientes unos pocos mililitros de hidrocarburo, el esfuerzo de obtener volúmenes mayores (250 ml) reducirá los costos de manejo y procesamiento de cantidades mínimas. Por lo general, se requiere un mínimo de tres sub-muestras para asegurar que las partes interesadas tengan la opción de análisis independientes. Los análisis químicos son relativamente costosos y por lo general sólo es necesario analizar las muestras claves para resolver un litigio.

Rotulación y almacenamiento

Para evitar la contaminación de muestras durante el almacenamiento, se recomienda utilizar frascos de vidrio y estos deben ser sellados y debidamente etiquetados. La información en la etiqueta debe incluir la localidad de donde proviene la muestra, fecha, hora, nombre, firma y dirección del recolector y el testigo. Se deben tomar precauciones para evitar el deterioro por evaporación o biodegradación de las muestras almacenadas. Se recomienda la refrigeración de las muestras en la oscuridad y a menos de 5°C.

EFECTO DE LOS DERRAMES DE HIDROCARBURO

Los derrames de hidrocarburo pueden causar un serio impacto económico en las actividades costeras y afectar a los que explotan los recursos marinos. En la mayoría de los casos dicho daño es temporal y se debe principalmente a las propiedades físicas del crudo que producen condiciones molestas y peligrosas. El impacto sobre la vida marina se agrava por los efectos tóxicos e impregnación como resultado de la composición química del hidrocarburo así como por la diversidad y variabilidad de los sistemas biológicos y su susceptibilidad a la contaminación.

La magnitud del daño ocasionado por un derrame no siempre refleja la cantidad de hidrocarburo derramado. Una pequeña cantidad de hidrocarburo en un área susceptible puede ocasionar un daño mucho mayor que una gran cantidad en una costa rocosa desolada.

Impacto del Hidrocarburo sobre las Actividades Costeras

Actividades Recreacionales

La contaminación de las instalaciones en áreas costeras recreacionales es un aspecto común de muchos derrames de hidrocarburo que causa preocupación en el público e interfiere con las actividades recreacionales tales como la natación, el velerismo, la pesca con caña y el submarinismo. Los propietarios de hoteles y restaurantes, así como otros que dependen del turismo también pueden verse afectados. Debido a su impacto visual, los hidrocarburos persistentes y sus residuos ocasionan la mayor molestia y preocupación, siendo su efecto mayor justo antes o durante la temporada mayor de turismo. La molestia a las áreas costeras y a las actividades recreacionales como consecuencia de un solo derrame es comparativamente de poca duración y cualquier efecto sobre el turismo requerirá principalmente devolver la confianza al público una vez que se concluya la limpieza.

Impacto visual

Industria

Las industrias que dependen del agua de mar para sus operaciones normales pueden ser adversamente afectadas por los derrames de hidrocarburo. Las centrales termoeléctricas en particular, a menudo están ubicadas cerca de la costa para tener acceso a los grandes volúmenes de agua que requieren para propósitos de enfriamiento. Si cantidades substanciales de hidrocarburo son bombeadas a través de las tomas de agua, pueden contaminarse los tubos de los condensadores, requiriéndose una disminución del rendimiento o un cierre total de la planta mientras se lleva a cabo la limpieza. Igualmente la operación normal de las plantas desalinizadoras puede ser afectada por el hidrocarburo, ocasionando problemas a los consumidores de esa fuente de agua.

Centrales termoeléctricas

Plantas desalinizadoras

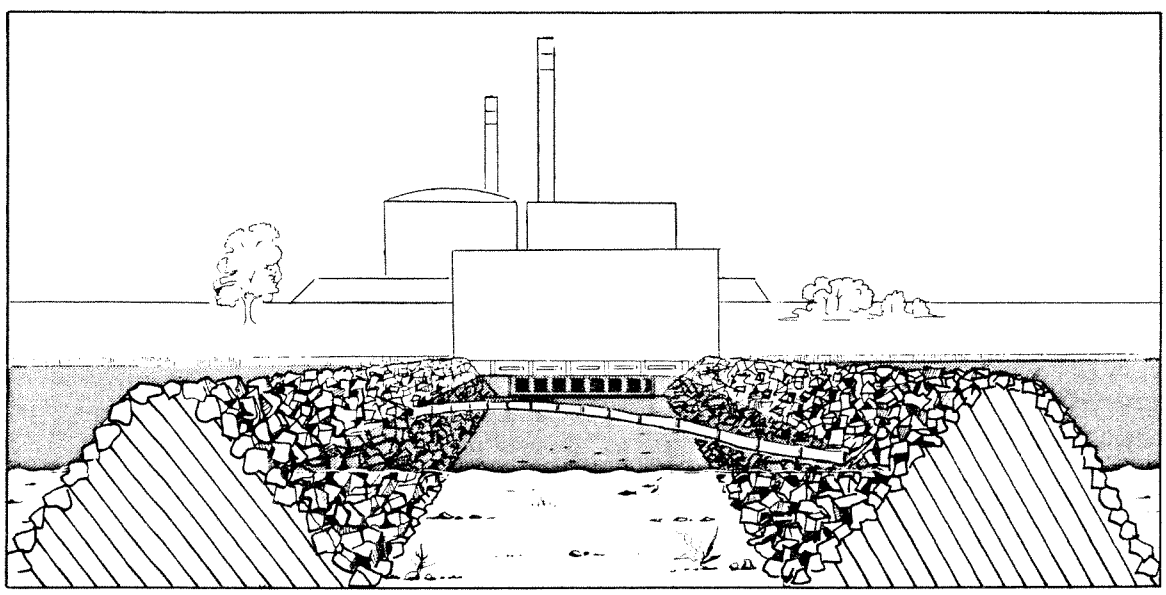


Figura 9:
Planta industrial con tomas de agua protegidas por barreras flotantes a través del canal de toma.

Astilleros

Puertos

Los astilleros con gradas y diques secos para los trabajos de construcción y reparación pueden verse afectados por derrames de hidrocarburo que dañen superficies sin pintar o recientemente pintadas, creando condiciones de trabajo peligrosas. Como resultado de un derrame de hidrocarburo y las operaciones de limpieza, puede haber interferencia en el movimiento de buques, particularmente cuando estas se llevan a cabo en muelles o en las entradas de puertos. La colocación de barreras o cerramiento de computeras para contener el hidrocarburo puede ocasionar retrasos. Es frecuente la contaminación directa de los muelles así como de los cabos de amarre y los cascos de las embarcaciones.

Riesgos de incendio

Otras actividades rutinarias de los puertos tales como servicios de ferry, operaciones de esclusas y remolque pueden verse interrumpidas, particularmente después de un derrame de hidrocarburo liviano, gasolina u otro material inflamable. El uso de soldadores o maquinaria generadora de chispas deberá ser suspendido mientras el riesgo de incendio persista. De lo contrario, aún un derrame pequeño en un puerto de mucho tráfico puede tener repercusiones considerables.

Efectos Biológicos del Hidrocarburo

Los efectos biológicos del hidrocarburo sobre la vida marina pueden considerarse como causados, bien sea por sus propiedades físicas (contaminación física y sofocación) o por los componentes químicos del hidrocarburo (efectos tóxicos e impregnación). La vida marina también puede verse afectada por las operaciones de limpieza o indirectamente a través del daño físico a sus hábitats.

Fluctuaciones naturales

Las poblaciones de plantas y animales en el mar están sujetas a fluctuaciones naturales considerables en número debido a, por ejemplo, cambios en las condiciones climáticas e hidrográficas y la disponibilidad de alimentos. De allí, que la composición de especies y la estructura de edades de las diversas poblaciones dentro de un hábitat marino en particular, nunca son constantes sino que se encuentran en un estado de equilibrio dinámico. Es por esto que en general es sumamente difícil evaluar los efectos de un derrame de hidrocarburo y distinguir los cambios causados por el hidrocarburo de aquellos que resultan de cambios naturales.

Pérdidas naturales

Las diferentes fases de crecimiento de una especie pueden mostrar grandes variaciones en cuanto a la tolerancia y reacción a la contaminación por hidrocarburo. Por lo general los huevos, larvas y etapas juveniles serán más susceptibles que los adultos. Sin embargo muchas especies marinas producen grandes cantidades de huevos y etapas larvales para sobreponerse a grandes pérdidas naturales. Estas pérdidas normalmente resultan en menos de 1 en 100.000 huevos o larvas que sobreviven hasta llegar a la maduréz, pero el exceso de producción proporciona un reservorio que compensa cualesquiera pérdidas extremas debidas a condiciones locales adversas. Estos factores hacen poco probable que alguna de las pérdidas de huevos o larvas debido a un derrame tengan un efecto perceptible sobre el tamaño o salud de las poblaciones adultas futuras.

Recuperación

La capacidad de una población de animales o plantas para recuperarse de un derrame y el tiempo que toma para el re-establecimiento de un equilibrio normal en el hábitat depende de la gravedad y duración del daño y el potencial de recuperación de las especies individuales. Las especies abundantes con etapas juveniles altamente móviles producidas regularmente en grandes cantidades pueden repoblar un área rápidamente cuando se restablecen las condiciones previas al derrame, mientras que las poblaciones de especies de larga vida que maduran lentamente con tasas reproductivas bajas, pueden tardar muchos años en recuperarse en número y estructura de edades. En general la tasa de recuperación en las regiones tropicales es mucho más rápida que en los ambientes fríos.

Restablecimiento

Mientras que puede ser posible restablecer las características físicas de un hábitat contaminado por hidrocarburo a las condiciones previas al derrame, es muy limitado el grado de recuperación biológica que puede ser alcanzado. Aunque la limpieza de manglares y pantanos marinos y la reforestación es factible en algunas situaciones, se debe tener sumo cuidado en no dañar físicamente el área ya que esto puede ser aún más destructivo a largo plazo que la pérdida de la vegetación. Es casi imposible reponer los animales y aunque algunas especies pueden ser criadas y soltadas o trasladadas de otras áreas no afectadas (por ejemplo, ciertas aves, mamíferos, reptiles y peces) es muy poco probable que tales programas aceleren la recuperación natural de un hábitat marino complejo.

Impacto del Hidrocarburo sobre Hábitats Marinos Específicos

La siguiente sección resume el impacto que un derrame de hidrocarburo puede tener sobre ciertos hábitats marinos. Dentro de cada hábitat prevalece un amplio rango de condiciones ambientales y frecuentemente no existe una clara delimitación entre un hábitat y otro.

Mar Abierto y el Lecho Marino

Plancton

El término plancton se aplica para designar las plantas y animales que flotan pasivamente arrastrados por las corrientes marinas en los niveles superiores del mar (Figura 10). Forman la base de las cadenas alimenticias marinas e incluyen los huevos y las etapas juveniles de los peces, crustáceos y muchos animales que habitan el fondo del mar. Su susceptibilidad a la contaminación por hidrocarburo ha sido demostrada experimentalmente. En mar abierto, la rápida dilución del hidrocarburo que se dispersa naturalmente y sus componentes solubles, así como la alta mortalidad natural y la distribución en parches irregulares del plancton, hace que sean poco probables los efectos significativos.

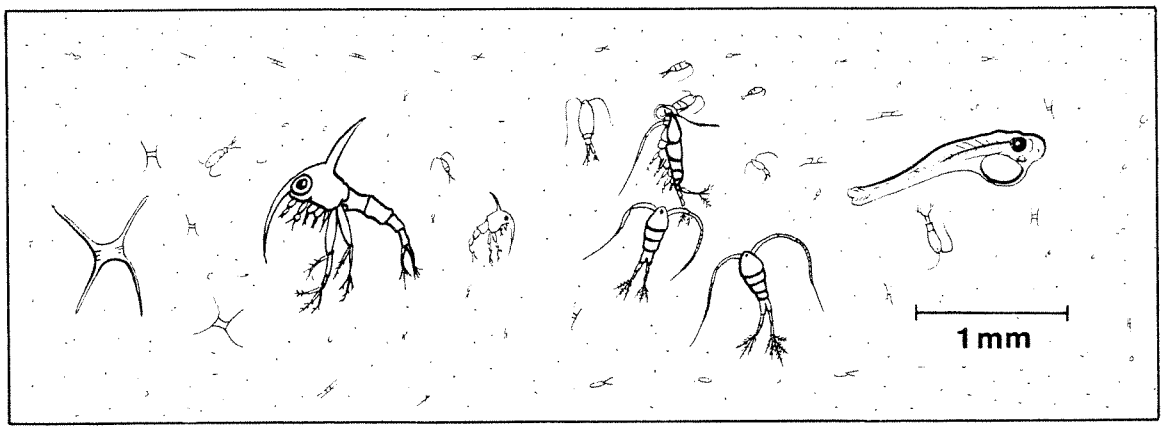


Figura 10:
Plancton.

Peces y mamíferos

Los animales nadadores grandes tales como calamares, peces, tortugas, ballenas y delfines son altamente móviles y rara vez son afectados en mar abierto aún en derrames masivos. En las áreas costeras, algunos mamíferos marinos, tales como focas, y reptiles y tortugas pueden ser particularmente vulnerables a los efectos adversos de la contaminación de hidrocarburo ya que necesitan salir a la superficie para respirar o dejar el agua para reproducirse. Los peces adultos que habitan aguas costeras y los juveniles en viveros en aguas poco profundas pueden también correr el riesgo de exposición al hidrocarburo dispersado o disuelto.

Bentos

Toxicidad

Sedimentos

Las plantas o animales que viven en el lecho marino (bentos) también forman una parte importante de las cadenas alimenticias; y en aguas cercanas a la costa, muchos de estos animales (moluscos) y algunas algas marinas, tales como el "Kelp", son explotadas comercialmente. Es mínimo el riesgo de que manchas de hidrocarburo superficiales afecten el lecho marino en aguas costa afuera, pero en aguas poco profundas, gotas de hidrocarburo pueden llegar al fondo, particularmente durante períodos de mal tiempo. Los crudos frescos y productos livianos refinados con una alta proporción de componentes tóxicos pueden ocasionar daño local a praderas de algas marinas y a diversos animales tales como mejillones, erizos de mar y gusanos. La incorporación de hidrocarburos a los sedimentos puede llevar a tiempos de permanencia de varios años en áreas localizadas, con la posibilidad de efectos sub-letales e impregnación de especies comerciales. El crudo curtido por la intemperie puede acumular partículas de sedimento y hundirse, especialmente después de permanecer a flote durante un tiempo, causando daño posiblemente a las especies bénticas.

Costas

Organismos intermareales

Las costas, más que ningúna otra parte del ambiente marino, están expuestas a los efectos de hidrocarburo flotante. El impacto puede ser especialmente grande donde quedan al descubierto durante la marea baja zonas extensas de rocas, arena y barro. Mientras que los animales de la zona intermareal son resistentes a condiciones adversas durante exposiciones cortas, pueden perecer por efecto de los componentes tóxicos del hidrocarburo o ser asfixiados por hidrocarburos viscosos y curtidos por la intemperie y por las emulsiones. Los animales también pueden quedar narcotizados a tal punto que se desprenden de las superficies rocosas o emergen de sus refugios. Son entonces susceptibles a los depredadores o a ser llevados hacia áreas en las que no pueden sobrevivir. La recolonización de una costa por la especie dominante de plantas o animales puede ocurrir rápidamente: sobre rocas, la etapa inicial es por lo general el establecimiento de algas marinas seguido por el lento regreso de los animales que se alimentan de estas. Sin embargo, en situaciones extremas el completo restablecimiento de un equilibrio normal puede tomar muchos años.

Recolonización

Tierras Pantanosas

Ciénagas salinas

Las ciénagas en aguas protegidas en regiones templadas y frías se caracterizan por una vegetación baja y densa sobre pantanos bajos drenadas por una red de canales (Figura 11). El insumo orgánico de la ciénaga proporciona la fuente básica de alimento para una rica y diversa fauna de gusanos, caracoles, mejillones y cangrejos que a su vez constituyen alimento para las aves que se congregan en grandes cantidades durante la bajamar, en especial durante ciertas épocas del año.

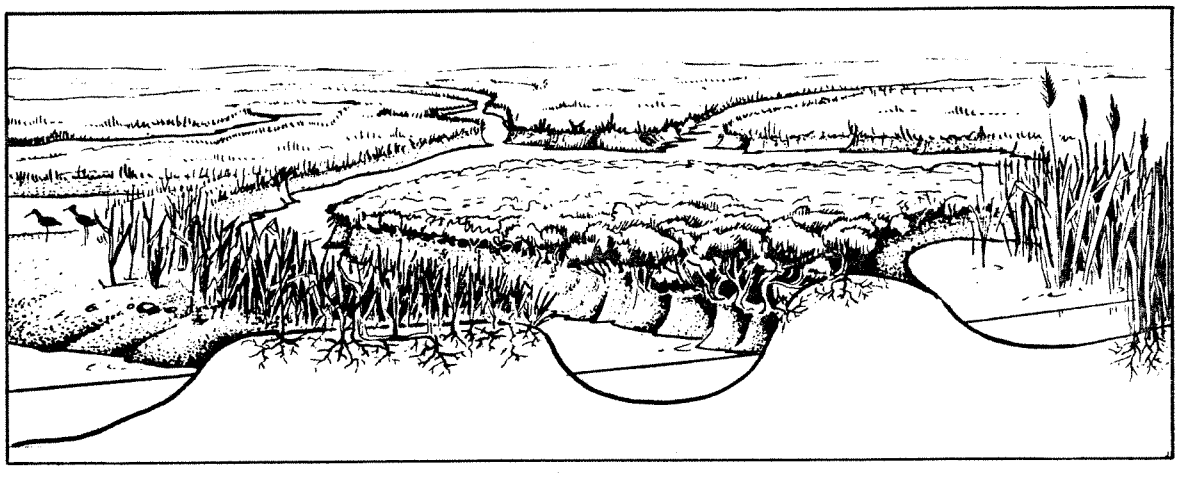


Figura 11:
Ciénaga salina

Efectos en la vegetación

La vegetación de los pantanos muestra una mayor susceptibilidad al crudo liviano o productos refinados livianos, mientras que el hidrocarburo curtido por la intemperie causa relativamente poco daño. La contaminación de la porción baja de las plantas y su sistema de raices puede ser letal, mientras que aún acumulaciones considerables sobre las hojas pueden ser de poca consecuencia, especialmente si no ocurre durante la época de crecimiento. Se deben esperar daños más extensos por contaminación recurrente o si el hidrocarburo penetra a los sedimentos donde puede persistir por varios años. Asimismo, si éste alcanza las partes internas de la ciénaga durante un período de extrema pleamar, el tiempo de permanencia puede prolongarse, afectando las plantas así como las aves que se alimentan y anidan allí.

Manglares

En las regiones tropicales, los bosques de manglar están ampliamente distribuídos y reemplazan a las ciénagas en zonas protegidas y en estuarios (Figura 12). Los manglares tienen un complejo sistema de raices respiratorias por encima de los pantanos orgánicamente ricos pero carentes de oxígeno en los cuales se establecen. El sistema de raices y sedimento atrapado crea un hábitat productivo para peces, camarones, cangrejos, ostras, caracoles, mejillones y otros animales que viven directa o indirectamente de los nutrientes de las hojas que se desprenden de los manglares. Los bosques de manglar también proporcionan alimento y refugio para las etapas juveniles de peces y camarones comercialmente importantes. La pezca en los canales de drenaje y la recolección de moluscos de entre las raices aéreas son el sustento de comunidades que a menudo habitan en el nivel de subsistencia. La madera también se utiliza como leña para la construcción y en tenerías.

Importancia comercial

El hidrocarburo puede obstruir las aberturas de las raices respiratorias de los manglares o interferir con el equilibrio de sales del árbol, ocasionando la caída de las hojas y la muerte de los árboles. Los sistemas de raices pueden ser dañados por la entrada de hidrocarburo fresco en los refugios cercanos de los animales y el efecto puede persistir por algún tiempo inhibiendo la recolonización de las semillas de manglar. Los efectos a largo plazo sobre la fauna asociada probablemente sean menos severos.

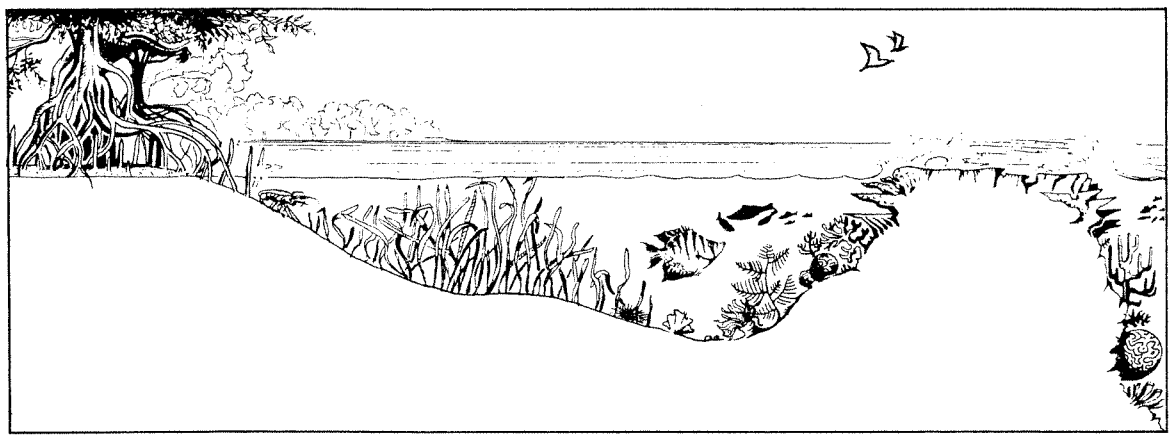


Figura 12:
Hábitats marinos tropicales: manglares, praderas de gramíneas marinas y arrecife coralino.

Corales

Susceptibilidad de los arrecifes coralinos

Los corales constructores de arrecifes se consiguen bordeando la mayoría de las costas e islas tropicales, en aguas cálidas poco profundas de salinidad y claridad adecuada (Figura 12). Los corales vivos crecen sobre los restos calcificados de las colonias de coral muerto que forman sobresalientes, cuevas y otras irregularidades habitadas por una rica variedad de peces y otros animales. Por lo general, en la cara hacia el lado de tierra de la cresta y el plano del arrecife, se encuentra una laguna de un ambiente de baja energía, casi siempre de fondo arenoso y praderas de gramíneas marinas, protegidas por el arrecife exterior. Si el coral vivo es destruído, el arrecife completo puede quedar sujeto a la erosión por las olas.

Efectos tóxicos

Efectos sub-letales

Los arrecifes de coral generalmente están sumergidos y es sólo cuando están brevemente expuestos al aire, durante la bajamar, cuando son vulnerables a ser recubiertos físicamente por hidrocarburo flotante. Debido a la turbulencia y acción de las olas característica en la zona de los arrecifes, los corales pueden quedar expuestos naturalmente a partículas de hidrocarburo dispersadas. Su efecto sobre los corales y la fauna asociada está determinado principalmente por la proporción de componentes tóxicos, la duración de la exposición al hidrocarburo, así como el nivel de otras tensiones. Las observaciones realizadas en corales contaminados con hidrocarburo sugieren que pueden ocurrir niveles subletales tales como, la interferencia con los procesos reproductivos, comportamiento anormal y crecimiento reducido o retenido. La mayoría de los efectos son temporales pero efectos similares sobre la fauna asociada al arrecife pueden tener repercuciones mayores debido a que los animales narcotizados pueden ser arrastrados por las olas y corrientes de la zona protegida del arrecife.

Aves

Tipos susceptibles

Las aves que se congregan en grandes bandadas en el mar o las costas para aparearse, alimentarse o mudar, son particularmente vulnerables a la contaminación por hidrocarburo (Figura 13). Estas incluyen alcas, pingüinos y patos, pero otras especies más solitarias tales como pelícanos, cuervos marinos y alcatraces, que se zambullen para alimentarse, pueden también ser afectadas. Aunque el hidrocarburo ingerido por las aves al limpiar y componer sus plumas puede ser letal, la causa más común de muerte es por ahogo, hambre o pérdida del calor corporal por daños al plumaje. Las plumas enchumbadas con hidrocarburo pierden sus propiedades impermeables y aislantes.

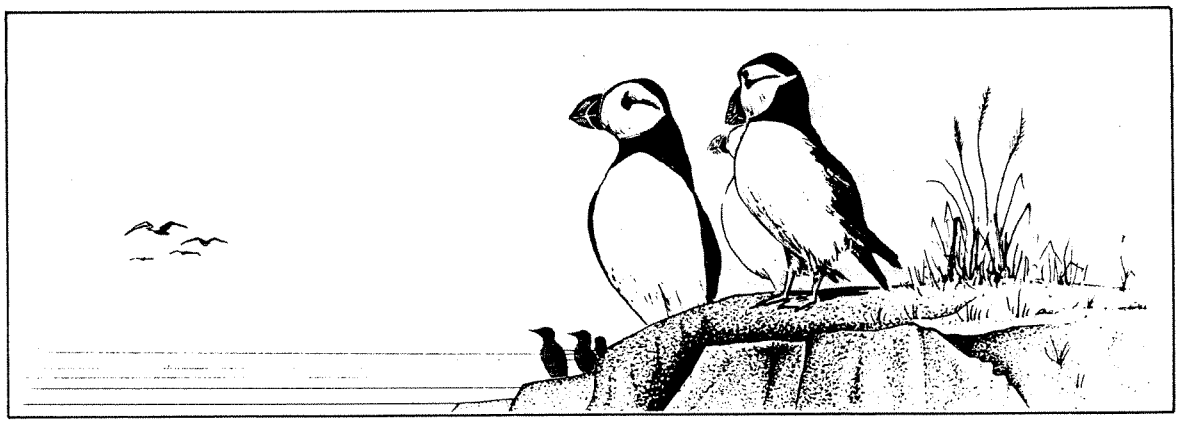


Figura 13:
Colonia de aves marinas.

Efectos poblacionales

Existen numerosos ejemplos de derrames que han ocasionado altas mortalidades de aves en el mar, causando preocupación por la sobrevivencia de poblaciones. Muchas especies de aves marinas son longevas, maduran tardíamente y tienen tasas reproductivas bajas; por lo que se piensa que la combinación de estos factores puede impedir la recuperación rápida. Sin embargo, estudios recientes indican que no todas las aves maduras se reproducen a un mismo tiempo dado y que estas aves individuales forman un reservorio para el reemplazo de las aves muertas. De allí que los derrames de crudo pueden no tener un efecto detectable sobre las poblaciones reproductoras de aves marinas, excepto posiblemente en colonias aisladas con un potencial de recolonización limitado y aquellas expuestas a otras tensiones, como por ejemplo, por habitar en los límites de su rango geográfico.

Limpieza y rehabilitación

La limpieza y rehabilitación de aves manchadas es un proceso lento que requiere de personal adiestrado e inevitablemente causa angustia en las aves. Mientras que pueden salvarse aves individuales, la razón fundamental para la limpieza de éstas por lo general se basa más en el bienestar del animal mismo que en la esperanza de promover la recuperación de las poblaciones de aves, excepto en el caso de especies en peligro de extinción.

Impacto del Hidrocarburo sobre las Pesquerías y Acuacultivos

Embarcaciones y equipo de pesca

Un derrame de hidrocarburo puede dañar directamente las embarcaciones y equipo utilizado para la captura y cultivo de especies marinas. El equipo flotante y las trampas fijas extendidas en la superficie del mar son más frecuentemente contaminadas por el hidrocarburo flotante mientras que las redes sumergidas,nasas, cabos de remolque y rastras de fondo por lo general están bien protegidas, siempre y cuando no sean elevadas a través de una superficie manchada. Sin embargo a veces pueden verse afectadas por crudo sumergido.

Efectos sobre las capturas

Ocasionalmente se registran disminuciones en las capturas de peces, moluscos y otros organismos marinos después de un derrame. Casi siempre esto se debe a una disminución en el esfuerzo de pesca aunque en raras ocasiones las mortalidades pueden ser causa de la contaminación física o el contacto cercano con hidrocarburo recién derramado en aguas poco profundas de poco intercambio. En algunas oportunidades se ha mencionado que las existencias de peces y mariscos se verán reducidas durante un número de años después de que ocurre un derrame, como consecuencia del daño a huevos y larvas. Sin embargo, la experiencia en derrames masivos ha demostrado que la posibilidad de tales efectos a largo plazo es remota debido a que la sobre-producción normal de huevos proporciona un reservorio que compensa cualesquiera pérdidas localizadas.

Granjas piscícolas

Algas marinas

Las existencias cultivadas tales como peces en trampas, tienen un mayor riesgo después de un derrame: los mecanismos naturales de prevención pueden ser impedidos en el caso de especies cautivas, y el manchado del equipo de cultivo puede convertirse en una fuente prolongada de componentes de hidrocarburo y contaminación de los organismos (Figura 14a). Las algas marinas cultivadas son particularmente vulnerables en las zonas de oleaje donde pueden contaminarse durante la marea baja. Las algas marinas tales como el "Kelp", suspendidas sobre estructuras flotantes en aguas profundas, están mejor protegidas (Figura 14b).

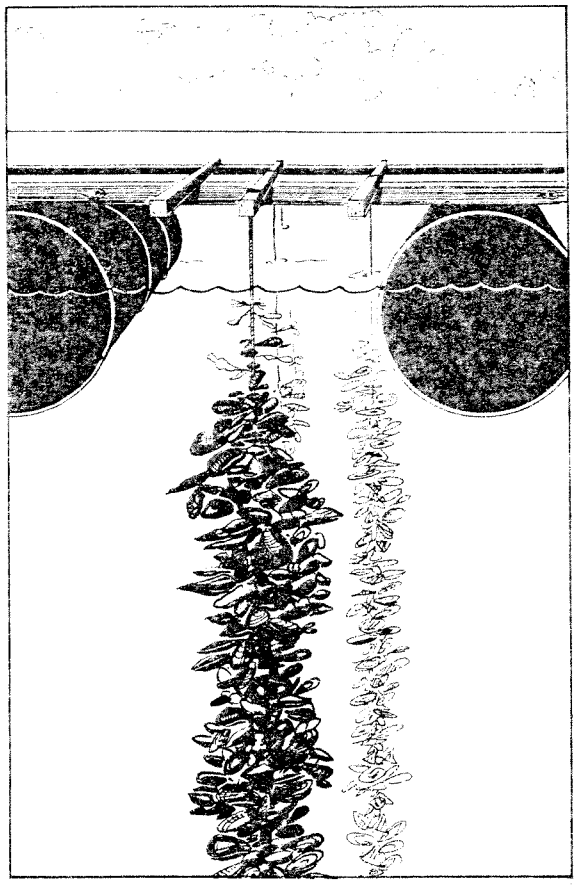


Figura 14a:
Cultivo de mejillones.

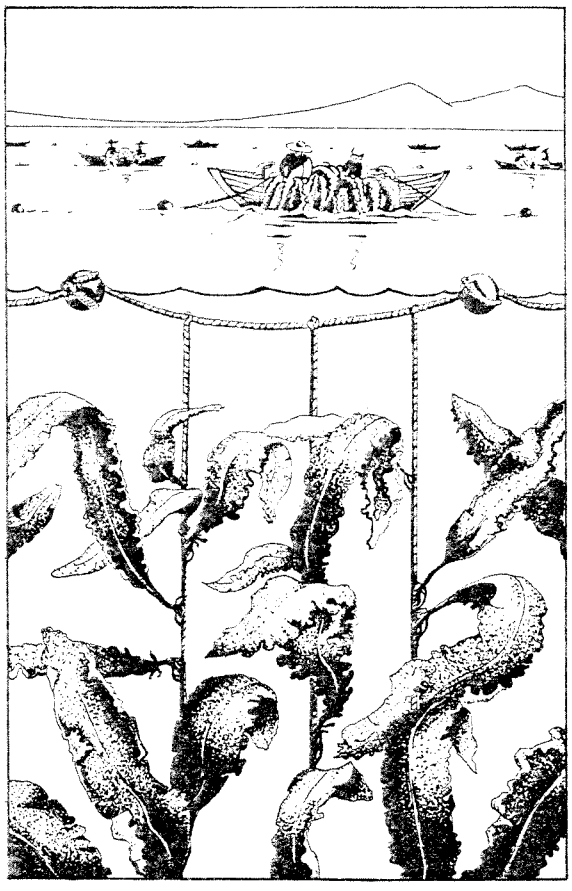


Figura 14b:
Cultivo de algas marinas.

Cuantificación del daño

Es comparativamente fácil determinar las mortalidades ocasionadas por un derrame en una existencia cultivada de un tamaño conocido. Las pérdidas pueden ser cuantificadas comparando la producción post-derrame con el rendimiento y valores de mercado de los años anteriores. La situación en el caso de especies que ocurren libremente en la naturaleza es con frecuencia más difícil debido a que es imposible determinar las existencias y muy probablemente los individuos muertos sean consumidos por carroñeros. Las estadísticas de captura casi nunca son lo suficientemente detalladas como para que algún descenso posterior a un derrame pueda ser aislado de los cambios producidos por otros factores tales como esfuerzo de pezca variable y fluctuaciones naturales en el tamaño de las existencias.

Confianza en el mercado

Impregnación

Un derrame de hidrocarburo puede ocasionar pérdida de confianza en el mercado debido a que el público puede no querer comprar productos provenientes de la región, independientemente de si el pescado está impregnado o no. Debido a las serias consecuencias económicas por las pérdidas en ventas, con frecuencia se toman precauciones considerables para evitar que peces o moluscos contaminados lleguen al mercado. Idealmente, esto debería incluir pruebas de calidad de sabor al momento del derrame por personal calificado. Para eliminar el efecto de evaluaciones subjetivas, los catadores deben establecer correctamente la ausencia y presencia de contaminación en muestras de control limpias y deliberadamente contaminadas respectivamente. Estas muestras de control deben ser introducidas de manera aleatoria entre las muestras de prueba para que no proporcionen indicios al catador. Debe efectuarse cierto número de réplicas por cada catador para asegurar que los resultados sean estadísticamente significativos.

Vedas de pesca

Pueden imponerse vedas sobre la pesca y cosecha de productos marinos después de un derrame, tanto para mantener la confianza del mercado como para proteger de la contaminación el equipo de pesca y captura. El área delimitada por la veda debe estar directamente relacionada con la ubicación y extensión de las manchas de hidrocarburo y su mantenimiento debe justificarse por pruebas frecuentes, según la aparición de crudo flotante y los resultados de las pruebas de sabor. Dichas vedas no deben mantenerse vigentes por períodos mayores de lo necesarios mientras el hidrocarburo esté presente. La cría de especies cultivadas a menudo responde a una estricta tabla cronológica y las demoras con miras a proteger el cultivo del impacto del hidrocarburo pueden ser contraproducentes si el crecimiento se ve entorpecido, dando como resultado bajos niveles subsiguientes de cosecha.

PLANIFICACION DE CONTINGENCIA

Tanqueros

Los planes que abarquen áreas donde se maneje un ámplio rango de tipos de hidrocarburo o donde pasen en tránsito tanqueros, no pueden anticipar el impacto de un derrame. Por ende es importante que se establezca el tipo de hidrocarburo derramado lo antes posible de manera que pueda predecirse su destino y se empleén las técnicas de limpieza apropiadas.

Instalaciones permanentes

Para terminales de hidrocarburo y campos costafuera donde está involucrado un número limitado de tipos hidrocarburo, es valiosa la apreciación del destino probable de los derrames potenciales al elaborar planes de contingencia. La información sobre los vientos y corrientes prevalecientes a lo largo del año indicarán los recursos que impactará el derrame con mayor probabilidad.La información sobre los tipos de hidrocarburo de que se trata puede permitir que se hagan predicciones con relación a la vida de las manchas y la cantidad y naturaleza del residuo que puede requerir de una reacción de limpieza. También será de utilidad en la selección del equipo de limpieza apropiado que debe mantenerse siempre listo para atender cualquier derrame.

Prioridades de protección

Mapas de susceptibilidad

Debido a las difíciles decisiones que deberán tomarse durante un derrame para mitigar los daños y resolver los conflictos de interés, es mucho lo que puede lograrse en la etapa de la planificación de contingencia para identificar las áreas susceptibles y determinar las prioridades de protección. La elaboración de mapas de las áreas susceptibles puede constituir un punto de partida útil. Se deben establecer consideraciones detalladas del posible impacto que un derrame tendría sobre cada hábitat y actividad, tomando en consideración cualquier variación estacional. Se prestará especial atención entonces a la identificación de áreas que deben ser protegidas y a su orden de prioridad. Esto nunca será fácil, ya que el valor de cada recurso para una comunidad depende del peso dado a las consideraciones ambientales, recreacionales, económicas y políticas. Esto puede requerir la obtención y evaluación de una diversidad de información. De ser dirigida de la manera correcta, estos estudios de los recursos en peligro en un área dada también pueden formar la base para la cuantificación de los daños ocasionados por un derrame.

Decisiones de reacción

Una vez establecidas las prioridades de protección, se podrá prestar atención a la determinación de las medidas adecuadas de limpieza. Es necesario hacer un estimado realista de la factibilidad de emplear varias técnicas, ya que la recomendación de evitar una técnica determinada por ser ecológicamente daniña puede resultar en la adopción de técnicas inefectivas y un daño mayor a otros hábitats o actividades.

PUNTOS A RECORDAR:

1. El estimado más acertado sobre el insumo total anual de hidrocarburos de petróleo en el mar es de 3,2 millones de toneladas, de las cuales unas 0,47 millones de toneladas se deben a accidentes relacionados con actividades de exploración, producción y transporte.

2. Cuando se derrama hidrocarburo en el mar, su destino es determinado por una serie de procesos, algunos de los cuales llevan a su remoción de la superficie del mar mientras que otros hacen que persista.

3. Mientras que el hidrocarburo eventualmente es asimilado al medio ambiente marino, la escala de tiempo depende de las características físicas y químicas del hidrocarburo, el tiempo y las condiciones climáticas.

4. Pueden utilizarse cálculos sencillos y modelos computarizados para predecir el movimiento y destino final de un derrame de hidrocarburo, pero los resultados deben ser verificados mediante el reconocimiento aéreo periódico.

5. Los cambios que sufre el hidrocarburo derramado durante el proceso de curtido por la intemperie afectarán la escogencia de las técnicas de limpieza apropiadas y la naturaleza del daño que se causará.

6. El hidrocarburo persistente puede afectar seriamente el atractivo visual y la utilización de áreas costeras recreacionales y puede interferir con el funcionamiento normal de plantas termoeléctricas y otras plantas industriales que requieren de un suministro contínuo de agua de mar limpia.

7. Los efectos sobre la vida marina son causados por la naturaleza física del hidrocarburo (contaminación física y sofocamiento) y por su composición química (efectos tóxicos e impregnación).

8. Un derrame de hidrocarburo puede contaminar equipo de pesca e instalaciones de acuacultura y ocasionar pérdida de confianza del mercado hacia los productos marinos. Practicamente nunca son afectadas las poblaciones de peces adultos.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

Burridge, J. and Kane, M. (Eds.) (1985) Rehabilitating oiled sea birds: A field manual. American Petroleum Institute, Washington DC 79 pp.

Butt, J.A., Duckworth, D.F., and Perry, S.G. (Eds.) (1986) Characterization of spilled oil samples — Purpose, sampling, analysis and interpretation. John Wiley & Sons, Chichester, England. 95 pp.

Clark, R.B. (Ed.) (1982) The long-term effects of oil pollution on marine populations, communities and ecosystems. The Royal Society, London. 259 pp.

CONCAWE (1983) Characteristics of petroleum and its behaviour at sea. CONCAWE, The Hague, Netherlands. Report No. 8/83. 47 pp.

Exxon (1985) Fate and effects of oil in the sea. Exxon Background Series. Exxon, New York. 12 pp.

Ferguson Wood, E.J. and Johannes, R.E. (Eds.) (1975) Tropical marine pollution. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 192 pp.

Fincham, A.A. (1984) Basic marine biology. Cambridge University Press, Cambridge, England. 144 pp.

GESAMP (1977) Impact of oil on the marine environment. FAO, Rome. 250 pp.

ITOPF (1981) Aerial observation of oil at sea. Technical Information Paper No. 1. ITOPF, London. 8 pp.

ITOPF (1983) Recognition of oil on shorelines. Technical Information Paper No. 6. ITOPF, London. 7 pp.

ITOPF (1985) Effects of marine oil spills. Technical Information Paper No. 10. ITOPF, London. 8 pp.

ITOPF (1986) Fate of marine oil spills. Technical Information Paper No. 11. ITOPF, London. 8 pp.

Jordan, R.E. and Payne, J.R. Fate and weathering of petroleum spills in the marine environment. Ann Arbor Science, Ann Arbor, U.S.A. 174 pp.

Massin, J.M. (Ed.) (1984) Remote sensing for the control of marine pollution. NATO Challenges of Modern Society, Volume 6. Plenum Press, New York. 466 pp.

National Research Council (1985) Oil in the sea. Inputs, fates and effects. National Academy Press, Washington D.C. 601 pp.

Neff, J.M. & Andersen, J.W. (1981) Response of marine animals to petroleum and specific petroleum hydrocarbons. Applied Science, London. 177 pp.

Nelson-Smith, A. (1972) Oil pollution and marine ecology. Paul Elek (Scientific Books) Ltd., London. 260 pp.

II CONTENCION Y RECUPERACION

Cuando se derrama un hidrocarburo sobre la superficie del mar, frecuentemente es deseable recogerlo. El enfoque mas común es utilizar algún tipo de barrera para detener o minimizar el esparcimiento del hidrocarburo y concentrarlo en una capa gruesa, de manera que pueda ser recogido utilizando una bomba o recolector.

Esta parte del libro examina las diversas técnicas para la contención y recuperación, especialmente las características de diseño principales y el rendimiento de las barreras y recolectores, sus métodos de operación y los requerimientos de mantenimiento.

CONTENIDO

	Página
CONTENCION	II.3
Barreras Disponibles Comercialmente	3
Rendimiento/Limitaciones	4
Fuerzas Ejercidas Sobre las Barreras	5
Sistemas de Redes	5
Barreras Sorbentes	6
Barreras y Vallas Improvisadas	7
Barreras de Burbujas	8
Barreras Químicas	8
RECUPERACION	II.9
Recolectores	9
Rendimiento/Limitaciones	11
Sorbentes	11
Agentes Solidificantes	12
Recuperación Manual	12
OPERACIONES COSTAFUERA	II.13
Operaciones con Varias Embarcaciones	13
Operaciones con una Sola Embarcación	15
Control de Operaciones	15
OPERACIONES COSTERAS	II.16
Contención en el punto de Origen	16
Protección de Areas Susceptibles	16
Desviación del Hidrocarburo	17
Anclaje de Barreras	18
Otros Usos de las Barreras	19
Inspección y Mantenimiento	20
PLANIFICACION DE CONTINGENCIA Y ADIESTRAMIENTO	II.21
PUNTOS A RECORDAR	II.21
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	II.22

CONTENCION

La contención de hidrocarburo flotante para su recuperación subsiguiente o su desviación para alejarlo de las áreas susceptibles, requiere de la utilización de algún tipo de barrera. Se han desarrollado muchos tipos diferentes de barreras para hidrocarburos. Estas comprenden barreras flotantes disponsibles comercialmente, sistemas de redes, barreras sorbentes, barreras y vallas improvisadas, barreras de burbujas y barreras químicas. La selección de la barrera más adecuada dependerá de las condiciones particulares así como de su disponibilidad. Debido a que las barreras disponibles en el mercado son las más comúnmente utilizadas en el control de derrames de hidrocarburo, en esta parte del libro se describen con gran detalle.

Barreras Disponibles Comercialmente

Características de diseño

Los diseños varian considerablemente, pero por lo general todos poseen las siguientes características:

1. francobordo para evitar o reducir el sobresalpicado;
2. porción sub-superficial (faldón) para evitar o reducir el escape de hidrocarburo por debajo de la barrera;
3. flotación por aire o algún material flotante;
4. componente de tensión longitudinal (cadena, alambre o el material de la barrera en sí mismo) para soportar el efecto del viento, las olas y las corrientes.

Los diseños de barreras caen bajo dos categorías generales:

Tipos de barreras

Las BARRERAS DE CORTINA tienen un faldón o malla flexible sub-superficial contínua sostenida por una cámara de flotación sólida o de aire, por lo general de sección transversal circular (Figura 1). Las barreras de flotación por aire ocupan poco espacio de almacenamiento al ser desinfladas, mientras que las de flotación sólida, aunque más resistentes a los daños, ocupan un gran espacio de almacenamiento. Las barreras de cortina tienen una buena capacidad de amoldarse a las olas, velocidades de escape moderadas y son relativamente fáciles de limpiar.

Las BARRERAS DE VALLA con una sección transversal más plana se mantienen verticalmente en el agua por flotación integral o externa (Figure 2). La flotación sólida se utiliza más frecuentemente para barreras de valla, pero si se utilizan flotadores externos, puede que se generen turbulencias que ocasionen el escape de hidrocarburo en corrientes de baja velocidad. Estos modelos son voluminosos para almacenar y difíciles de limpiar. En general, las barreras de valla son más adecuadas para aguas tranquilas donde la velocidad de las corrientes es baja.

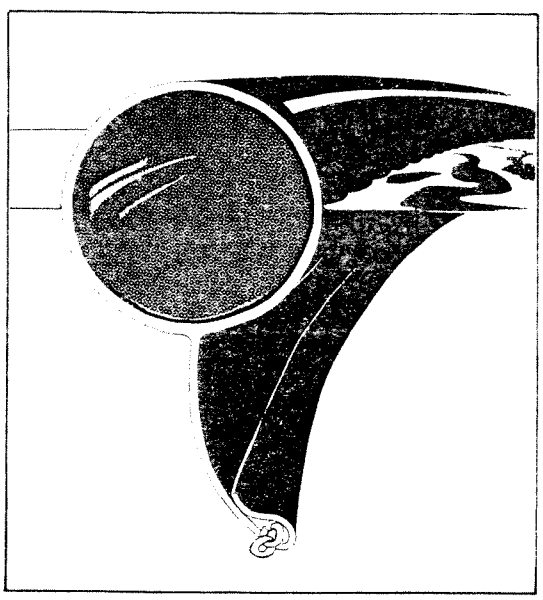


Figura 1:
Barrera de Cortina con flotación de aire. Cadena de lastre y tensión combinado dentro de una jareta en la parte inferior del faldón.

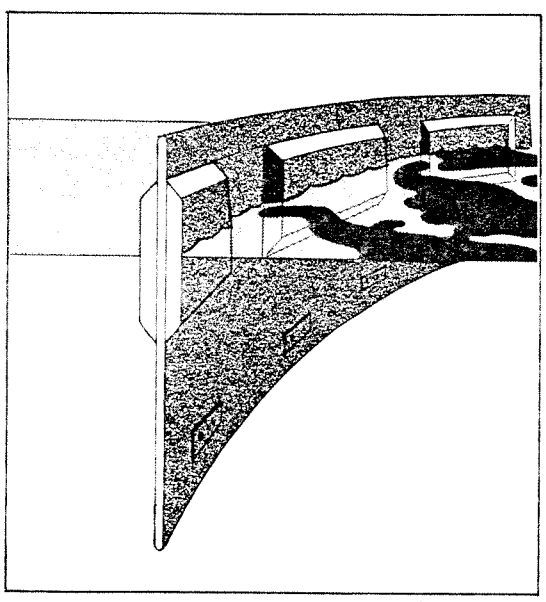


Figura 2:
Barrera de Valla con flotación sólida. Pesas de lastre situada a intervalos a lo largo del faldón.

Características comunes

Muchas barreras de cortina y de valla tienen características similares, incluyendo apuntalamiento y/o lastre integral para mantenerlas verticales en el agua, conectores para unir las secciones, así como puntos para remolque y anclaje.

Rendimiento/Limitaciones

Corrientes

Viento, Olas

Turbulencia

La característica más importante de una barrera es su capacidad de contención o desviación de hidrocarburo, la cual se determina por su comportamiento en relación al movimiento del agua. Debe ser flexible para amoldarse a las olas y a la vez ser lo suficientemente rígida como para retener la mayor cantidad de hidrocarburo posible. Ninguna barrera puede contener hidrocarburo en agua con corrientes de velocidades muy por encima de 1 nudo (0,5 metros por segundo) colocada en ángulo recto a la corriente. La manera como escapa el hidrocarburo, y su relación con la velocidad del agua va en función tanto del tipo de hidrocarburo como del diseño de la barrera. Los hidrocarburos de baja viscosidad escapan a velocidades menores que los materiales más viscosos. Con estos últimos, el hidrocarburo tiende a acumularse en la cara de la barrera y fluir verticalmente hacia abajo y por debajo del faldón, mientras que los hidrocarburos de baja viscosidad son llevados por debajo de la barrera como pequeñas gotas desprendidas de la parte inferior de la capa de hidrocarburo (Figure 3). Además de las corrientes de río y marea, el viento y las olas pueden generar velocidades del agua superiores a la velocidad de escape y causar el salpicado del hidrocarburo contenido. También puede ocurrir el escape de hidrocarburo por la turbulencia a lo largo de la barrera, por lo que es deseable un perfil uniforme sin proyecciones.

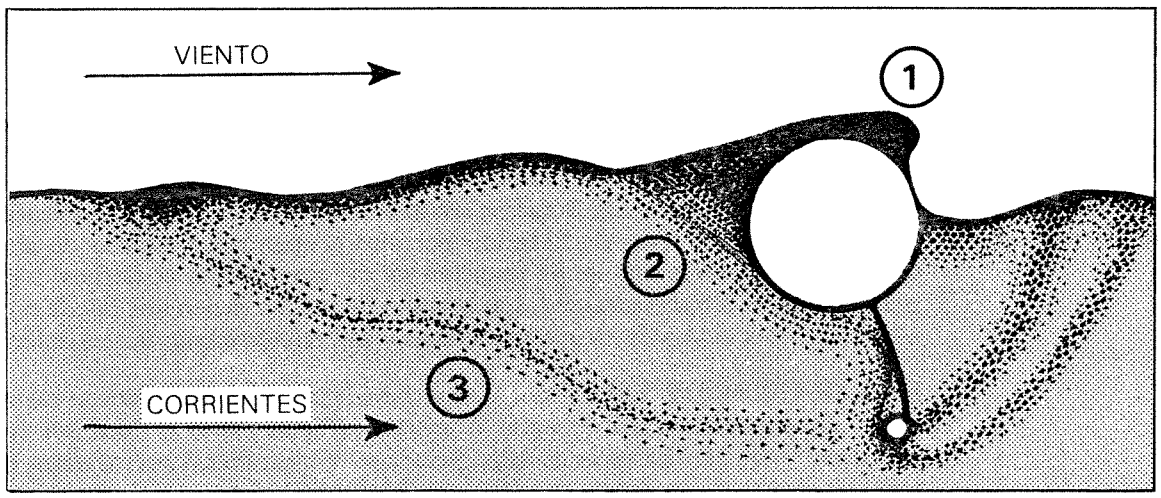


Figura 3:
Escape de hidrocarburo contenido por una barrera
1) sobresalpicado por acción de las olas
2) flujo por debajo de la cara de la barrera
3) pequeñas gotas desprendidas de la parte inferior de la capa de la mancha contenida

Tamaño de la barrera

Conectores

El tamaño y longitud de las secciones de barrera también son de consideración importante. El tamaño óptimo de una barrera está muy relacionado con el estado del mar en que será utilizada. Como regla general se debe seleccionar el francobordo mínimo para evitar el sobresalpicado. La profundidad del faldón debe ser de dimensiones similares a las del francobordo. Mientras que secciones cortas pueden facilitar el manejo de las barreras y proteger la integridad de esta globalmente de fallar una sección, se deben sopesar estas ventajas contra la dificultad y el tiempo requerido para conectar las secciones debidamente. Las conexiones interrumpen el perfil de la barrera y donde sea posible, no deben coincidir con el punto de mayor concentración de hidrocarburo. El diseño de los conectores debe permitir un fácil enganche y desenganche durante el despliegue y mientras la barrera está en el agua.

Resistencia

Facilidad de despliegue

Otras características importantes son la resistencia y facilidad y velocidad de despliegue, seguridad de funcionamiento, peso y costo. Una barrera debe ser lo suficientemente fuerte para el propósito a que está destinada y debe tolerar el manejo por personal inexperto, ya que no siempre se dispone de personal entrenado. Se requiere resistencia estructural y durabilidad, especialmente para soportar las fuerzas del agua y el viento sobre la barrera al ser remolcada o anclada. La facilidad y velocidad de despliegue aunada a la seguridad de funcionamiento son claramente muy importantes en situaciones rápidamente cambiantes y pueden influenciar notablemente la selección realizada.

Fuerzas Ejercidas Sobre Las Barreras

Corrientes

Para estimar la fuerza aproximada F_c (kg) ejercida sobre una barrera con una área sub-superficial A_s (m^2) por una corriente con velocidad V_c (nudos), se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$F_c = 26 \times A_s \times V_c^2$$

De allí que, la fuerza que actúa en una longitud de 100 metros de barrera con un faldón de 0.6 m colocada en ángulo recto a un flujo de agua de 0.5 nudos sería de

$$F_c = 26 \times (0.6 \times 100) \times (0.5)^2 = 390 \text{ Kg (fuerza)}$$

Cuando una barrera es remolcada, su velocidad a través del agua debe ser indicada como V_c en la fórmula anterior. Puede observarse que el duplicar la velocidad de la corriente y la velocidad de remolque significaría un aumento en cuatro veces de la carga.

Superficie expuesta al viento

También puede ser considerable la fuerza (F_w) ejercida por el viento (V_w) directamente sobre el francobordo (A_f) de la barrera. Puede utilizarse una fórmula similar para calcular la superficie expuesta al viento:

$$F_w = 26 \times A_f \times \left(\frac{V_w}{40}\right)^2$$

Por ejemplo, la fuerza sobre 100 m de longitud de barrera con un francobordo de 0.5 metros con viento de 15 nudos sería:

$$F_w = 26 \times (0.5 \times 100) \times \left(\frac{15}{40}\right)^2 = 183 \text{ Kg fuerza}$$

Fuerzas combinadas

En el ejemplo anterior las fuerzas combinadas de corriente y viento serían 573 Kg si estuviesen actuando en la misma dirección sobre una barrera rígida. De hecho las barreras son flexibles y forman una curva. Además, la barrera sería remolcada o anclada en ángulo al flujo. Ambos factores llevan a una reducción de las fuerzas que actúan sobre la barrera, de manera que hay un margen de seguridad considerable en el cálculo. Sin embargo, éste proporciona una guía útil sobre la magnitud de dichas fuerzas y puede ser de ayuda en la selección apropiada de anclajes o embarcaciones de remolque.

Sistemas de Redes

Ventajas

El uso de redes para recuperar grumos sólidos de alquitrán es una aplicación obvia y el aumento de su uso para contener hidrocarburos viscosos presenta, en teoría, una serie de ventajas sobre el uso de barreras convencionales. En particular, la estructura abierta debería ofrecer menos resistencia al movimiento del agua, de manera que pudieran fabricarse secciones livianas pero resistentes que podrían ser lo suficientemente largas como para cercar el hidrocarburo esparcido sobre un área extensa en el mar. Como resultado de la resistencia menor de las redes al movimiento a través del agua, también debería ser posible operar en corrientes mayores o barrer o rastrear la superficie del mar a velocidades mayores que las que pueden ser alcanzadas con barreras convencionales.

Diseños

Hasta el presente se han desarrollado dos tipos de redes en base a la experiencia obtenida por la industria pesquera (Figures 4a y 4b): una red doble, larga, basada en el método de pesca con red en forma de bolsa, la cual se puede utilizar para cercar o recolectar hidrocarburo flotante o que puede ser anclada para proteger las áreas susceptibles; y una red de arrastre con un extremo desmontable en forma de cola de pez, la cual puede ser remolcada a lo largo de la superficie del mar.

Experiencia

Aunque ninguno de los dos diseños ha sido completamente evaluado durante un derrame real, las pruebas de campo a gran escala se muestran prometedoras, especialmente en el caso de la red del tipo en forma de bolsa cuando se utiliza para encerrar o retener hidrocarburo flotante. Sin embargo, una vez que el hidrocarburo ha sido adsorbido sobre la red, la malla se bloquea y las capacidades de retención de hidrocarburo son similares a las de las barreras convencionales.

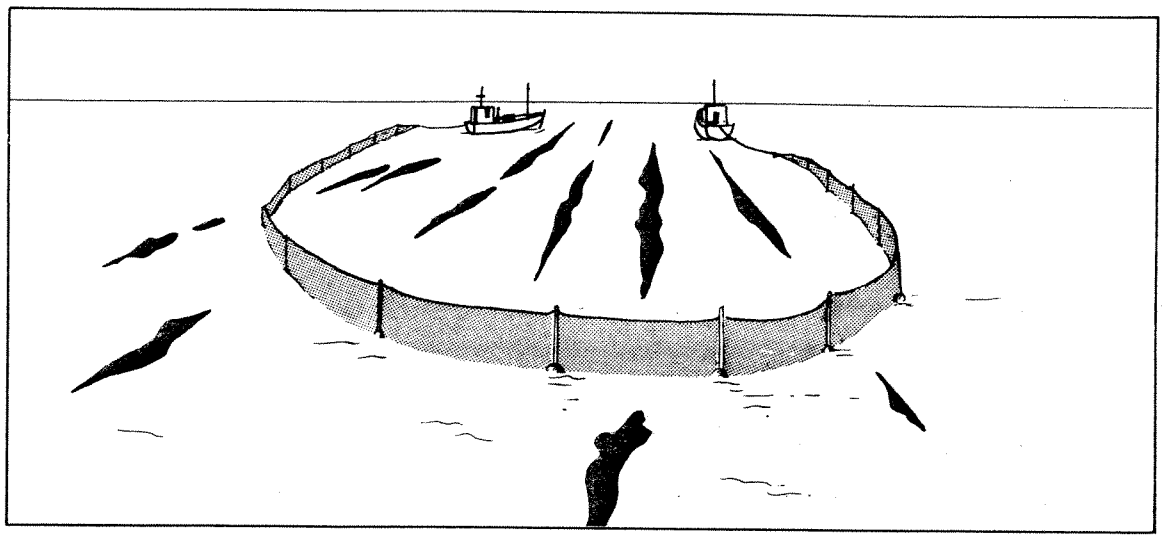


Figura 4a:
Sistema de redes del tipo de red en forma de bolsa para la contención y recuperación de hidrocarburo utilizando dos embarcaciones para cercar el hidrocarburo flotante.

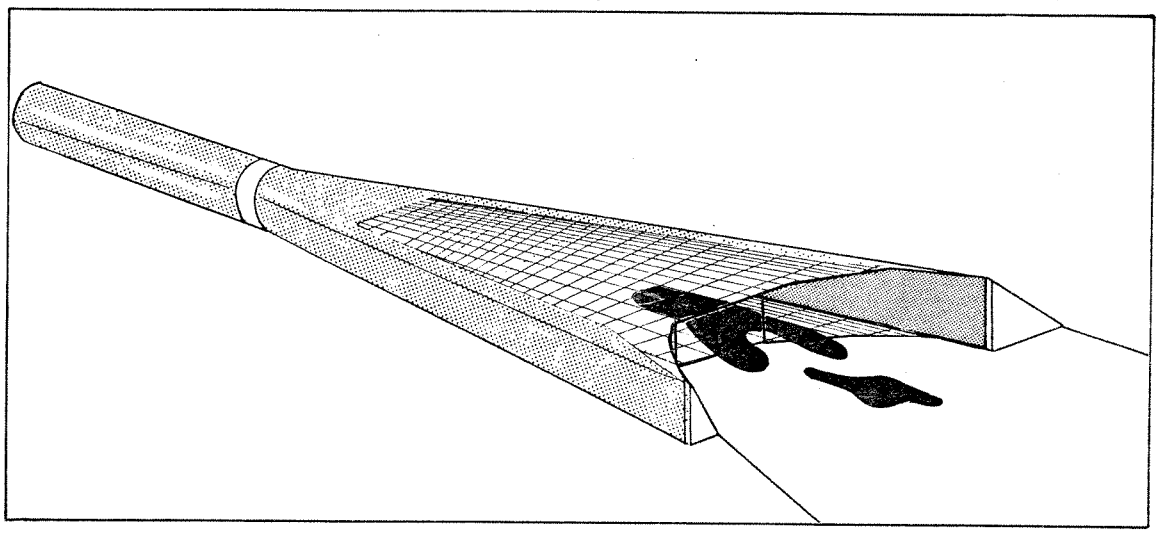


Figura 4b:
Rastra de hidrocarburo para la recolección de hidrocarburo sólido flotante hacia un extremo desmontable en forma de cola de pez.

Barreras Sorbentes

Construcción

Usos

Las barreras sorbentes por lo general consisten de un tubo de malla o algún otro tejido relleno de un material sorbente sintético o natural. Las barreras construídas de material sorbente tienen poca resistencia inherente y en algunas aplicaciones pueden requerir de apoyo adicional. Otras también requieren de flotación adicional para evitar que se hundan cuando se saturan de hidrocarburo y agua. Normalmente sólo se utilizan en áreas de velocidades de corriente bajas para recoger películas delgadas de hidrocarburo, ya que su eficiencia de recuperación disminuye rápidamente una vez que las capas externas de material sorbente se saturan con el hidrocarburo. El manejo y eliminación de las barreras de sorbentes saturadas con hidrocarburo también puede causar problemas considerables. El uso de sorbentes se trata nuevamente en la sección de Recuperación.

Barreras y Vallas Improvisadas

Construcción de barreras flotantes

Cuando no hay disponible equipo especialmente diseñado, es posible improvisar con éxito barreras utilizando materiales disponibles localmente. Por ejemplo, se pueden construir barreras flotantes con madera, bambú, tambores de aceit, mangueras y llantas de goma, y hacer barreras sorbentes con redes de pesca o malla de alambre rellena con paja, conchas de coco u otros materiales autóctonos (Figura 5a).

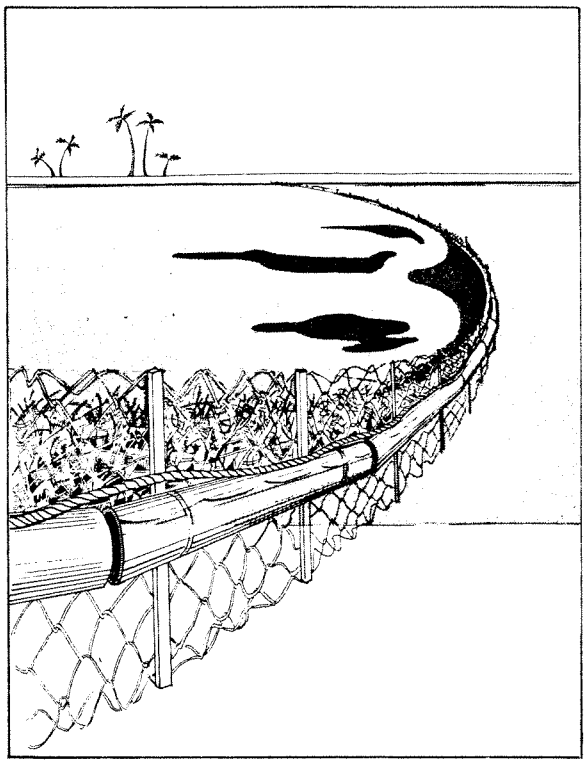


Figura 5a:
Barrera improvisada hecha de bambú, cuerda, alambre, madera y rellena con paja de arroz como sorbente.

Construcción de barreras

En aguas poco profundas, se pueden clavar estacas para sostener mallas o esterillas hechas con tela de saco, tallos de cana, atados de paja, bambú u otro material similar (Figura 5b). En playas arenosas largas, se pueden utilizar rasadoras para construir barreras de arena junto la orilla para interceptar el hidrocarburo que se mueve a lo largo de la costa. También puede utilizarse un enfoque similar para bloquear estuarios estrechos o lagunas para evitar el ingreso de hidrocarburo, aunque las consecuencias ecológicas de tales medidas temporales deben ser consideradas cuidadosamente. De ser necesario, se puede lograrse un intercambio de agua durante la marea baja a través de tuberías enterradas en la arena por debajo del nivel de agua.

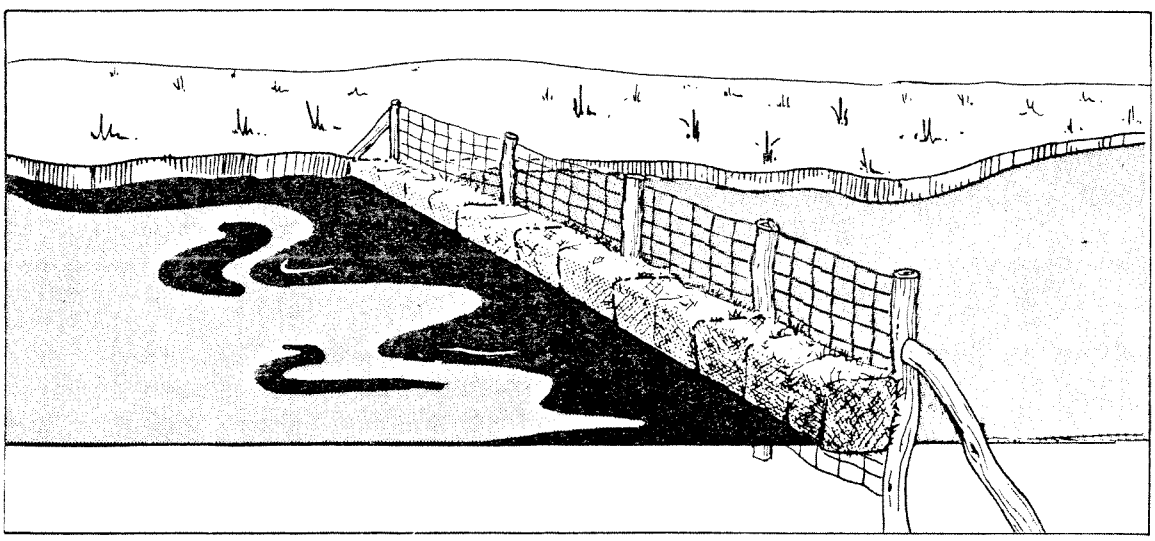


Figura 5b:
Barrera de hidrocarburo fija construída con atados de paja y malla de alambre clavada a estacas de madera.

Barreras de Burbujas

Usos

Se puede producir una cortina de burbujas ascendentes al bombear aire a una tubería perforada colocada por debajo de la superficie del agua (Figura 6). Las burbujas de aire crean una contracorriente en la superficie del agua que retiene el hidrocarburo contra un flujo de agua de hasta 0.7 nudos. A veces las barreras de burbujas se instalan permanentemente para proteger los puertos donde las corrientes son relativamente bajas y donde las barreras flotantes entorpecerían el movimiento de las embarcaciones. La revisión de estos sistemas es esencial para asegurar que los huecos en la tubería no estén tapados por sedimentos de lodo u organismos marinos. También se han desarrollado sistemas potátiles que pueden ser útiles para la desviación de hidrocarburo en aguas tranquilas, tales como en ensenadas de poca marea o para ser colocados a lo largo de la entrada de bahías con atracaderos o marinas.

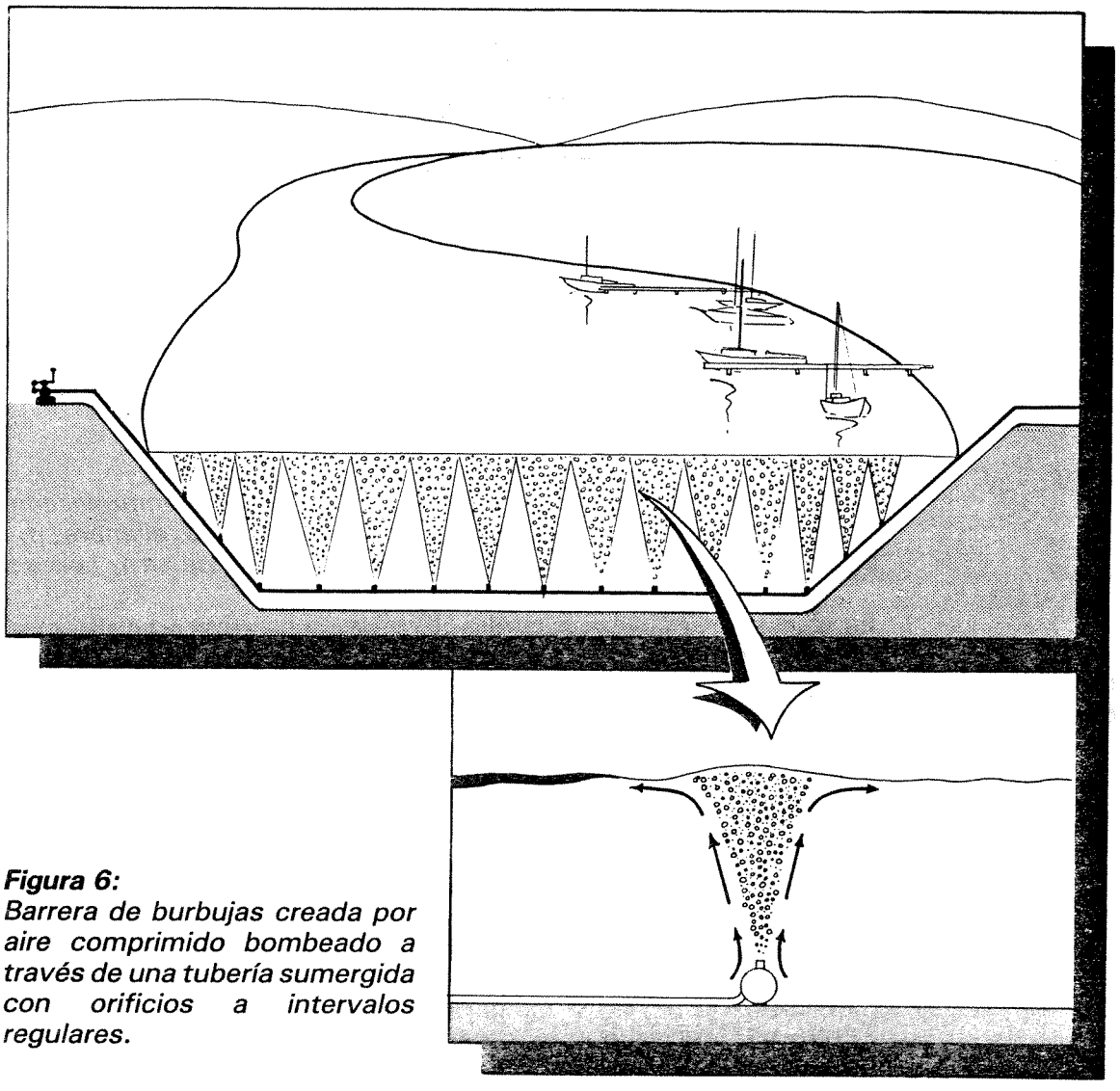


Figura 6:
Barrera de burbujas creada por aire comprimido bombeado a través de una tubería sumergida con orificios a intervalos regulares.

Barreras Químicas

Aplicación

Ciertos compuestos químicos, a menudo denominados "aglutinantes", inhiben el esparcimiento de hidrocarburos de baja viscosidad al reducir la tensión superficial del agua que lo rodea. Están diseñados para ser rociados a tasas muy bajas (por lo general 30 litros/km alrededor del perímetro de la mancha) desde una embarcación o helicóptero hasta rodear la mancha de manera de concentrarla para su recuperación. Aunque esta técnica ha sido probada en forma experimental, el elevado costo de estos compuestos químicos, el espesor limitado de la mancha de hidrocarburo resultante y la corta duración del efecto no han permitido su aplicación a gran escala en un derrame real.

Limitaciones

RECUPERACION

La rápida recuperación del hidrocarburo contenido es vital para evitar su escape y la contaminación de otras áreas. La recuperación puede realizarse utilizando recolectores, bombas, sorbentes, técnicas manuales y equipo mecánico no especializado, tal como camiones de succión.

Recolectores

Características de diseño

Todos los recolectores contienen un elemento de recuperación de hidrocarburo, algún tipo de flotación o de soporte y una bomba para transferir el material recolectando hacia el sitio de almacenamiento. Los diseños más complejos pueden ser autopropulsados y pueden tener varios elementos de recuperación, tanques integrales de almacenamiento o instalaciones para separación de agua/hidrocarburo. En la Figura 7 se proporciona un resumen de las características de los diferentes tipos de recolectores.

Recolectores de succión

Se aprecian dos enfoques básicos: SUCCION y ADHESION. El concepto más sencillo consiste en un dispositivo de succión mediante el cual el hidrocarburo es recogido por una bomba, o sistema de succión de aire, directamente de la superficie del agua o a través de un vertedero. Dichos diseños tienden a recoger grandes volúmenes de agua junto con el hidrocarburo. Esto puede ser ventajoso al recuperar hidrocarburos viscosos, ya que la presencia de un exceso de agua ayuda a mantener el flujo de hidrocarburo que de otro modo tendería a bloquear mangueras y tuberías.Se requieren grandes depósitos para recibir y separar el agua, que con frecuencia representa más del 90% del material recolectado. Para el control de derrames, es suficiente una separación sencilla por gravedad en tanques de sedimentación.

Recolectores de adhesión

Tipos de hidrocarburo

Por el contrario, los recolectores que contienen materiales oleofílicos en las correas, tambores, discos o cuerdas sintéticas a menudo alcanzan una tasa de recuperación de hidrocarburo mayor en relación al agua. En general trabajan mejor con hidrocarburos de viscosidad media entre 100 y 200 centistokes, aunque se han diseñado especialmente recolectores con discos dentados o correas de cadena para la recuperación de hidrocarburos pesados. Estos hidrocarburos de alta viscosidad, tal como el combustible marino pesado, son extremadamente pegajosos y puede resultar difícil eliminarlos de las superficies a las que se han adherido; mientras que por el contrario, las emulsiones viscosas de agua en hidrocarburo son casi no-adhesivas. Aunque se pueden recoger hidrocarburos de baja viscosidad como el diesel y el kerosene, estos no se acumulan en las superficies oleofílicas de los recolectores en capas lo suficientemente gruesas como para obtener tasas altas de recuperación.

Olas/Marejada

Corrientes

Los recolectores están diseñados de manera que el elemento recuperador de hidrocarburo esté colocado en la interfase agua/hidrocarburo. Esto por lo general se logra mediante una auto-nivelación, y aunque la marejada por si sola generalmente no afecta la eficiencia, ninguno es efectivo cuando hay oleaje fuerte. Las unidades pequeñas son fácilmente inundadas y batidas por las olas, mientras que los recolectores grandes tienen mayor inercia y no pueden seguir el perfil de las olas. El rendimiento de los recolectores también se ve adversamente afectado por las corrientes, del mismo modo que las barreras. Esta limitación es parcialmente superada por los recolectores autopropulsados, donde una mopa sorbente o correa, rota de manera que su velocidad relativa al hidrocarburo flotante sea reducida efectivamente cuando la embarcación está en movimiento.

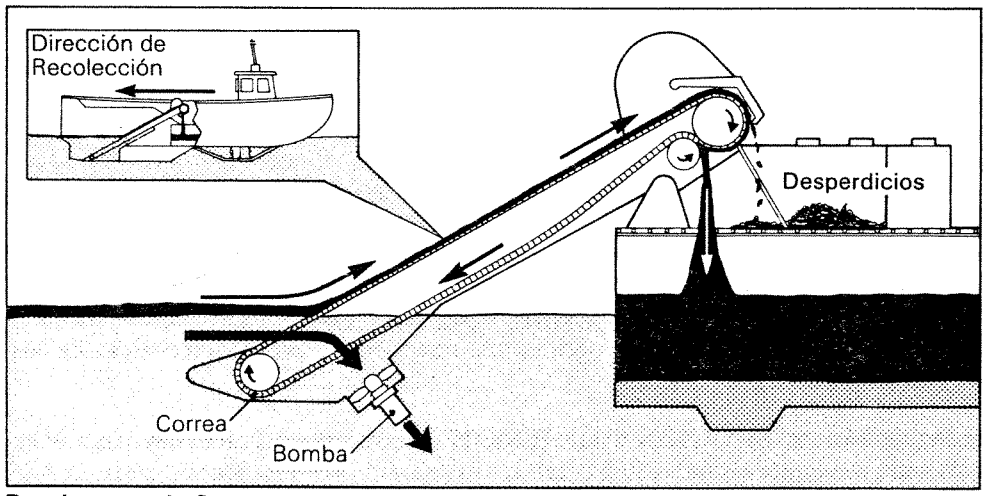
Recolectores autopropulsados

Otros diseños de recolectores autopropulsados pueden ser efectivos en las aguas más tranquilas de puertos y atracaderos. Por ser relativamente costosos, frecuentemente incluyen alguna función secundaria tal como la recolección de desperdicios o sentinas y otros desechos. Tales embarcaciones a menudo son una parte integrante de los planes de reacción para terminales de petroleo y refinerías, donde los riesgos de contaminación son más predecibles.

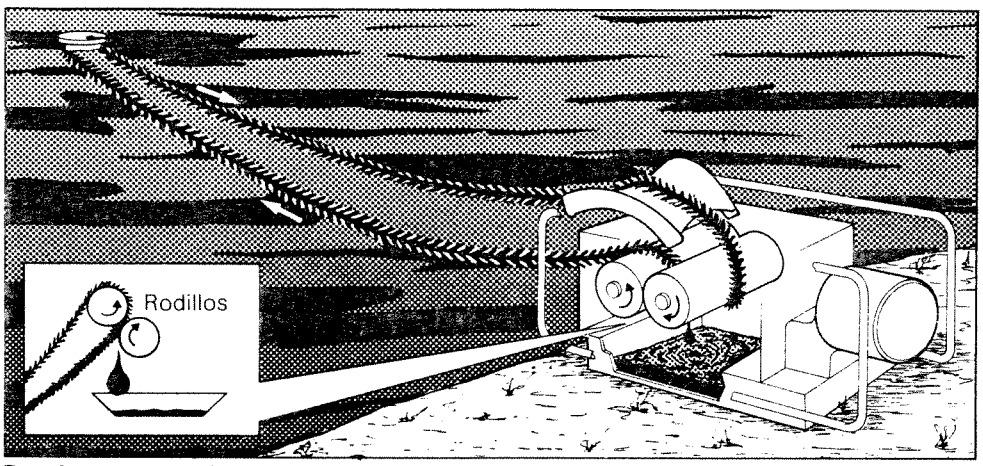
Fuentes de potencia

Los recolectores requieren de una fuente de potencia para el elemento de recuperación y para la transferencia del hidrocarburo recolectado hacia un tanque de almacenamiento. Muchos sistemas están diseñados con una fuente de potencia integral. Una fuente diesel puede ser utilizada directamente o para impulsar sistemas eléctricos, hidráulicos o neumáticos. Con excepción de los motores de gasolina, todos pueden ser construídos de manera de cumplir con las reglamentaciones de seguridad impuestas en las refinerías, patios de tanques y otras áreas restringidas donde pueda existir el riesgo de explosión. Cuando se utilizan en ambientes potencialmente peligrosos, deben realizarse revisiones regulares con explosímetros para lograr óptimas condiciones de seguridad en las operaciones, ya que las fuentes de chispas nunca pueden ser completamente eliminadas.

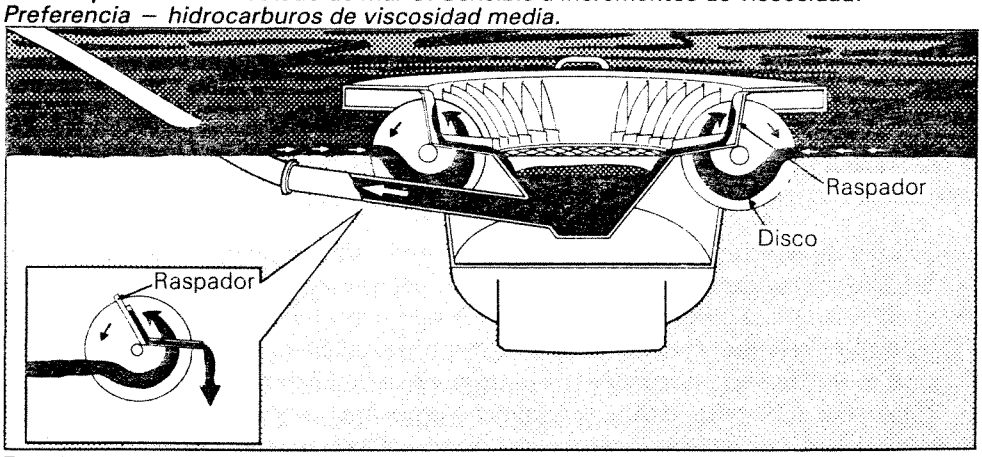
Figura 7: Tipos de Recolectores



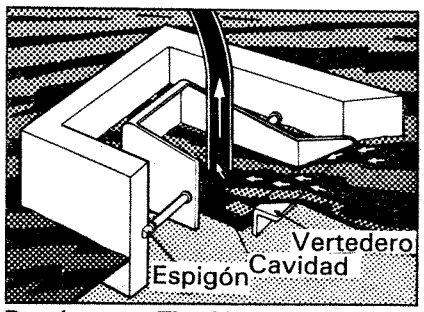
Recolectores de Correa
Una correa transporta el hidrocarburo por adhesión desde la superficie del agua.Las correas rotatorias en movimento hacia arriba llevan el hidrocarburo hasta el límite superior donde es raspado o exprimido hacia un tanque de almacenamiento. A la inversa, las correas en movimiento descendente, primero sumergen el hidrocarburo que luego flota hacia la superficie por detrás de la correa debido a su flotabilidad, hacia un área definida dentro de la embarcación.
Límite operacional – para correas con movimiento ascendente 0.5 nudos, estado de mar 1; para correas con movimiento descendente, 2 nudos, estado de mar 2.
Preferencia – viscosidad media, pero las correas con movimiento ascendente también toleran material más pesado.



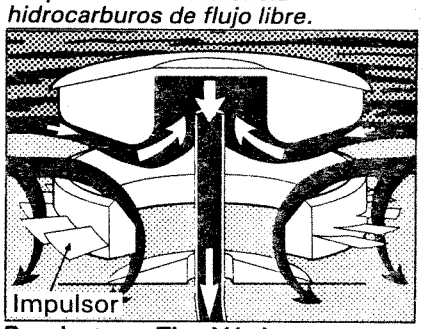
Recolectores con Cuerda Oleofílica
Una cuerda con núcleo central de tensión, a través de la cual se han entretejido hebras oleofílicas formando una larga soga contínua. La soga flotante es movida por dos rodillos propulsores alrededor de una polea de retorno. Los rodillos exprimen el hidrocarburo hacia un tanque de almacenamiento.
Límite operacional – estado de mar 3. Sensible a incrementos de viscosidad.
Preferencia – hidrocarburos de viscosidad media.



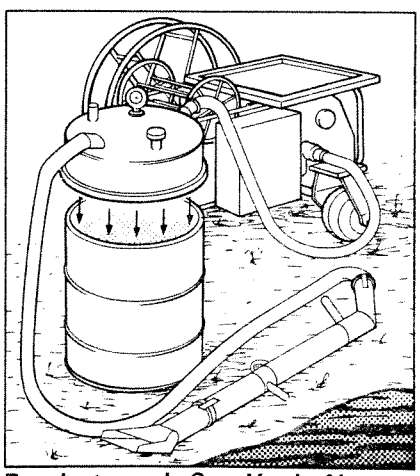
Recolectores de disco
Los discos rotan entre la interfase hidrocarburo/agua. El petroleo se adhiere a la superficie del disco, es removido por unos raspadores hacia un punto de recolección central y es bombeado hacia un depósito.
Límite operacional – estado de mar 2. Sensible a hidrocarburos emulsificados, olas, desperdicios. Preferencia – hidrocarburos de viscosidad media.



Recolectores Tipo Vertedero
El hidrocarburo fluye por encima de un vertedero autonivelante hacia la cavidad en el recolector y es bombeado hacia un depósito.
Límite operacional – estado de mar 1. Sensible a hidrocarburos de alta viscosidad, emulsiones, olas y desperdicios. Preferencia – hidrocarburos de flujo libre.



Recolectores Tipo Vórtice
Un remolino producido por un propulsor hace que el hidrocarburo se concentre en el centro del vórtice debido a los efectos centrífugos. El hidrocarburo recolectado es bombeado desde la parte superior y el agua no contaminada sale por la parte inferior.
Límite operacional – estado de mar 2 y 0,5 nudos de movimiento de agua. Sensible a los desperdicios. Preferencia hidrocarburos de flujo libre.



Recolectores de Succión de Aire
Consiste de un sistema de vacío o un conductor de aire unido a una manguera a la cual se le pueden adaptar cabezales de recolección especialmente diseñados. Es posible el bombeo de materiales más viscosos mediante el incremento del contenido de agua.
Límite Operacional – estado de mar 3. Sistemas de vacío más sensibles a los desperdicios. Preferencia – hidrocarburos de viscosidad baja a media, aunque los conductores de aire pueden tolerar hidrocarburos de alta viscosidad.

Equipo no especializado

La experiencia ha demostrado que el rendimiento de los recolectores es bajo de no poder ser operados en aguas tranquilas y en capas relativamente gruesas de hidrocarburo. Sin embargo, en estas situaciones, un dispositivo sencillo de succión, como un camión de vacío puede alcanzar tasas de recuperación comparables o aún superiores, siempre y cuando el cabezal de succión esté colocado en la capa de hidrocarburo.

Selección de recolectores

Hay que considerar muchos factores al seleccionar un recolector. Primero debe definirse el uso al que se destinará y las condiciones de operación esperadas, antes de tomar en consideración el tamaño, resistencia, facilidad de operación, manejo y mantenimiento. Las consideraciones más importantes son la viscosidad y propiedades adhesivas del hidrocarburo derramado, incluyendo cualquier posible cambio en estas propiedades a lo largo del tiempo. En situaciones predecibles tales como en terminales marinos y refinerías se conoce el tipo de hidrocarburo manejado y puede identificarse de antemano el tipo óptimo de recolector.

Rendimiento/Limitaciones

Bombas

La fase de bombeo del proceso de recolección a menudo determina el rendimiento general de un equipo, debido a que todas las bombas pierden eficiencia, aunque a diferentes tasas, a medida que la viscosidad del hidrocarburo aumenta. Algunas bombas de tornillo especiales tienen una tolerancia muy alta a la viscosidad y pueden manejar hasta hidrocarburo solidificado, pero entonces la resistencia interna de las mangueras y tuberías puede convertirse en el factor limitante. Estos problemas pueden ser superados transportando pequeñas cantidades de hidrocarburo en volúmenes mayores de aire o agua inducida que funcionan como transportador. Donde el aumento en la viscosidad obedece a la formación de emulsiones de agua en hidrocarburo, pueden utilizarse químicos para descomponer emulsiones, siempre y cuando estén bien mezclados. El calentamiento con vapor también puede ser útil para reducir el bloqueo de bombas y mangueras en condiciones de clima frío.

Químicos para descomponer emulsiones

Mangueras

Las mangueras que transportan el hidrocarburo desde el recolector deben estar provistas de la flotación adecuada para evitar que interfieran con la flotabilidad y rendimiento del recolector. Todas las mangueras pueden resultar difíciles de manejar cuando están manchadas de hidrocarburo y deben tener acoplamientos efectivos pero sencillos. Una serie de adaptadores pueden ser de utilidad para acoplar mangueras de diferentes diámetros y unir conectores no compatibles.

Desperdicios

Los desperdicios también pueden constituir un problema en algunos diseños de recolectores, especialmente los que tienen partes móviles en contacto directo con el hidrocarburo. Así mismo, los desperdicios pueden bloquear las bombas y mangueras. Para superar este problema, algunos diseños incorporan tamices gruesos, pero estos deben mantenerse limpios para que el flujo de hidrocarburo se mantenga ininterrumpido.

Almacenamiento del hidrocarburo recuperado

En ciertas ocasiones, el rendimiento de los recolectores también puede verse limitado por la falta de instalaciones adecuadas o temporales para el almacenamiento. Los equipos que recogen grandes volúmenes de agua junto con el hidrocarburo, requieren particularmente de amplias instalaciones temporales de almacenamiento para permitir la separación y drenaje del agua antes de que el hidrocarburo sea transportado para su eliminación final.

Tasas de recuperación

Debido a las diversas restricciones impuestas en los recolectores en el campo, pocas veces se logran los rendimientos de diseño. La experiencia muestra consistentemente que el hidrocarburo no se concentra lo suficiente como para mantener las tasas óptimas de recolección que se logran en condiciones de prueba. Por lo tanto, los resultados de las pruebas pueden no ser exactos y sólo deben ser utilizados con propósitos de comparación

Sorbentes

Tipos

Los sorbentes pueden ser definidos como cualquier material que recupere hidrocarburo mediante la absorción o adsorción. Existen tres tipos básicos de sorbentes:

1) materiales orgánicos naturales, tales como corteza, turba, paja, heno, plumas, conchas de coco, desecho de cana de azúcar (bagazo);

2) materiales con base mineral tales como vermiculita, perlita y ceniza volcánica;

3) sorbentes sintéticos orgánicos tales como espuma de poliuretano y fibras de polipropileno.

Capacidad para el hidrocarburo Los sorbentes sintéticos orgánicos por lo general tienen la mayor capacidad para la retención de hidrocarburo con relación a su propio volumen y pueden obtenerse en una variedad de formas, incluyendo fibras, mopas, láminas y almohadillas. Hasta cierto punto son de uso repetido. Algunos sorbentes, especialmente los naturales, pueden ser tratados con agentes oleofílicos o con calentamiento controlado, lo cual mejora la propiedad del material para ser empapado preferentemente por el hidrocarburo en vez del agua. Esto mejora su rendimiento y evita que se saturen de agua y se hundan.

Usos En general el uso de sorbentes sólo es apropiado en las etapas finales de limpieza o para ayudar en la remoción de películas delgadas de hidrocarburo de sitios inaccesibles. Por lo general la aplicación se realiza manualmente, o en caso de utilizarse material suelto en gran cantidad, con un soplador. En áreas susceptibles tales como pantanos, los sorbentes naturales pueden a veces resultar útiles para inmovilizar el hidrocarburo, reduciendo así la cantidad de éste disponible para contaminar la vegetación y las aves. En tales situaciones puede ser apropiado dejar que el sorbente empapado de hidrocarburo se degrade naturalmente, a no ser que sea probable que migre y contamine otras áreas.

Recuperación Sin embargo, por lo general es necesario recuperar todo el material empapado en hidrocarburo de manera de no acentuar los problemas causados por el hidrocarburo. A menudo la recuperación manual es el único medio posible ya que muchos de los recolectores se tapen con cualquier material sorbente. Algunos recolectores de correa y mallas son la excepción.

Agentes Solidificantes

Usos A pesar de no ser una técnica de recolección en si, han sido desarrollados compuestos químicos que convierten el hidrocarburo líquido en material casi sólido, facilitando así la recuperación por medios manuales o redes. Mientras que estos compuestos químicos han tenido éxito a nivel de laboratorio, las dificultades para lograr el mezclado intensivo de estos con el hidrocarburo y su alto

Experiencia costo probablemente impida su utilización, a no ser para pequeñas cantidades de hidrocarburo en localidades restringidas.

Recuperación Manual

Hidrocarburos viscosos/ desperdicios Donde el acceso es difícil, es posible que el hidrocarburo tenga que ser recogido utilizando baldes, palas y otro equipo sencillo. La recuperación manual de grandes cantidades de hidrocarburo altamente viscoso e hidrocarburo mezclado con desperdicios que no pueden ser recogidos utilizando un recolector, puede ser apoyada con equipo mecánico no especializado. Por ejemplo,

Equipo no especializado los hidrocarburos viscosos y desperdicios pueden ser recogidos del agua utilizando una excavadora o la pala de una retroexcavadora, donde el agua limpia se colará por las ranuras de la pala.

OPERACIONES COSTAFUERA

En muy pocas ocasiones se puede utilizar un recolector eficientemente sin la ayuda de una barrera para restringir el esparcimiento del hidrocarburo sobre la superficie del mar y concentrarlo y retenerlo para su recuperación. Por lo tanto, las estrategias para el despliegue de barreras determinarán en gran parte las prácticas operativas para los recolectores.

Operaciones con Varias Embarcaciones

Configuración de las barreras

En un esfuerzo por evitar el esparcimiento y maximizar la tasa de encuentro, pueden remolcarse longitudes de barrera de 300 metros en configuración de U,V o J, mediante dos embarcaciones. El dispositivo recolector es remolcado bien sea junto con la formación de barreras (Figuras 8a y 8b) o es desplegado por separado desde una tercera embarcación detrás de la barrera (Figura 8c). El recolector debe ser mantenido en la parte más gruesa de la mancha de hidrocarburo, pero no debe permitirse que roce o dañe la barrera. La reflección de las olas creada por recolectores grandes puede interferir con el flujo de hidrocarburo hacia el elemento recuperador y se requiere de un manejo especializado del equipo con contínuos ajustes a medida que cambian las condiciones.

Olas

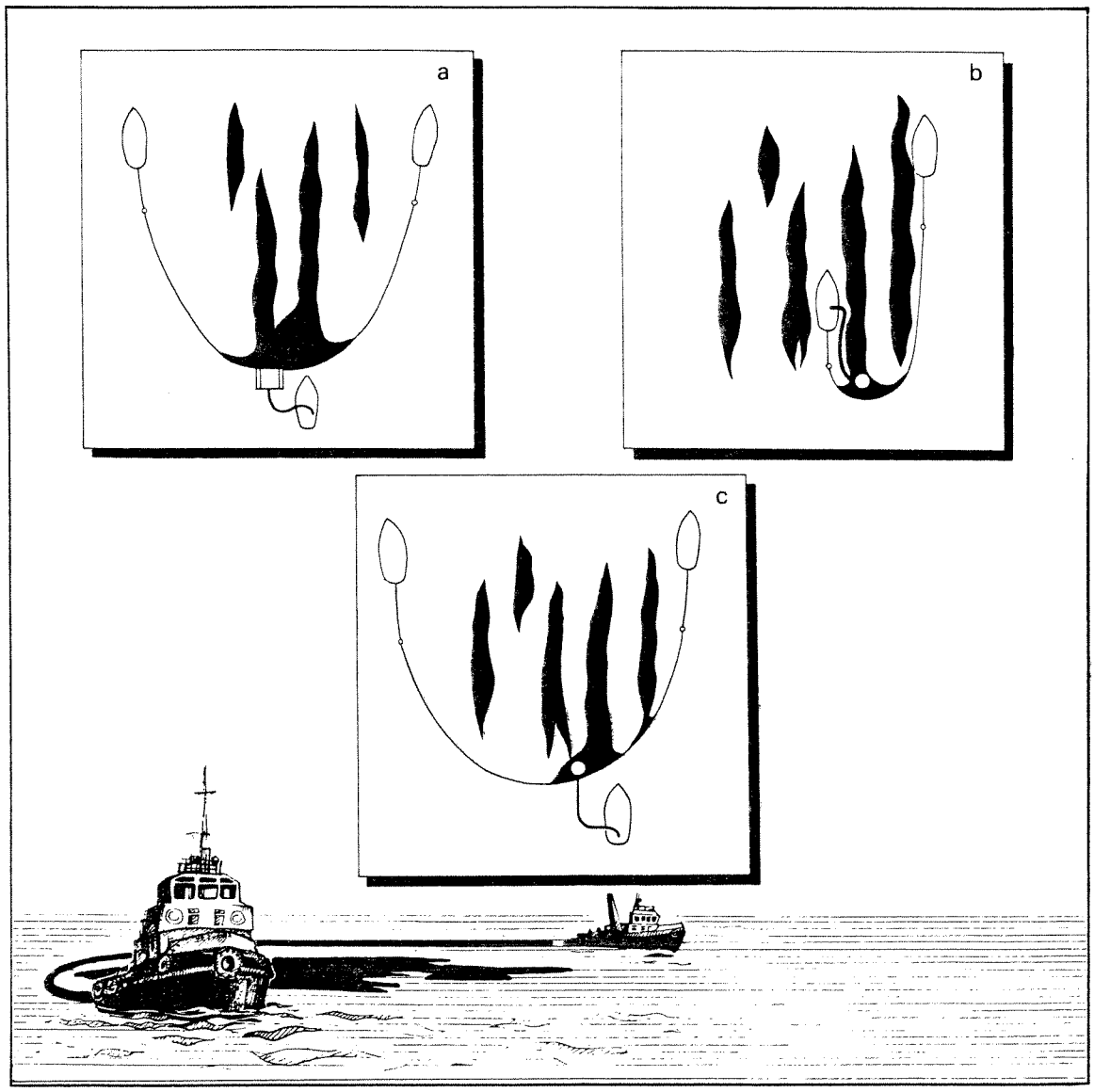


Figura 8:

a) Configuración en V remolcada por dos embarcaciones – el dispositivo recolector remolcado con la formación de barrera y el hidrocarburo es transferido a una tercera embarcación.

b) Configuración en J remolcada por dos embarcaciones, una de las cuales despliega un dispositivo recolector.

c) Configuración en U remolcada por dos embarcaciones – el dispositivo recolector es desplegado de la tercera embarcación.

Diseño óptimo de barreras

Un diseño de barrera efectivo para este propósito incorpora miembros tensores separados de la tela de la barrera bien sea por una formación de tirantes o una sección de red por debajo del faldón (Figura 9). Estas adaptaciones permiten que la barrera permanezca vertical mientras es remolcada y con libertad para adaptarse al movimiento de las olas. Por contraposición las barreras tensadas en su punto medio o al nivel de agua tienen tendencia a pasar rasando sobre la superficie del agua.

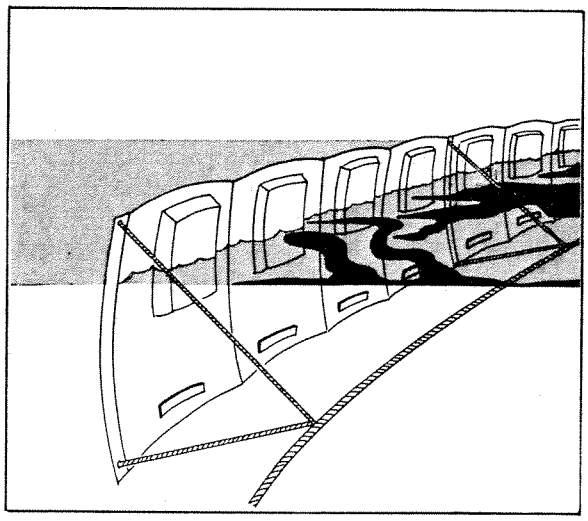


Figura 9:
Barrera de valla con cuerda de tensión separada fijada con tirantes a montantes de refuerzo en la cara de la barrera.

Remolque de barreras

Al remolcar secciones de barreras en una configuración "U", deben utilizarse un número impar de secciones para evitar tener una unión en el centro de la barrera, por la cual pueda escapar hidrocarburo con mayor facilidad. Para evitar tensiones fuertes o desgarres de la barrera mientras está siendo remolcada, los cabos entre los extremos y la embarcación deben ser lo suficientemente largas. Para remolcar una longitud de barrera de unos 300 m serían apropiados unos cincuenta metros o más.

Indices de rendimiento

El rendimiento de una barrera puede determinarse a ojo en el ápice de la "U" o "J". El hidrocarburo que escapa por debajo de la barrera aparecerá como pequeños glóbulos o gotas unos 2-10 metros por detrás de ésta. La aparición de remolinos por detrás de la barrera también es indicativo de que está siendo remolcada a demasiada velocidad. Sin embargo, aparecerán brillos aún cuando la barrera esté funcionando bien.

Requerimientos de embarcaciones

Se necesitan embarcaciones especializadas tanto para mantener la configuración correcta de las barreras remolcadas como las velocidades muy bajas requeridas; es decir menores a la velocidad de escape. No sólo necesitarán ambas embarcaciones de por lo menos la mitad de la potencia total requerida para remolcar la barrera a la velocidad máxima consistente con la retención del hidrocarburo, sino también máxima maniobrabilidad a bajas velocidades. Como referencia, cada caballo de potencia nominal de un motor dentro de borda proporciona un arranque de unos 20 Kg de fuerza. También son útiles las unidades dobles de propulsión, propelas de inclinación variable y propulsores de proa y popa. El punto ideal de remolque a bordo de la embarcación deberá ser determinado por experimentación y puede que tenga que ser alterado según el curso y la dirección del viento. Por ejemplo, una embarcación monohélice remolcando desde la popa será muy poco maniobrable y es preferible el remolque desde el punto de giro de la embarcación.

Maniobrabilidad

Una buena maniobrabilidad es también necesaria para las embarcaciones utilizadas para desplegar y mantener los recolectores en la posición seleccionada. Se requiere un equipo de gruas para desplegar y recuperar el recolector rápidamente. La concentración del hidrocarburo por las barreras remolcadas puede ser lenta y sólo será necesario un recolector para servir a varias barreras.

Almacenamiento del hidrocarburo recuperado

El hidrocarburo recuperado debe ser almacenado. Si la embarcación utilizada para desplegar el recolector no tiene suficiente capacidad, se requerirá una embarcación adicional o un tanque flexible flotante. Debe tenerse en mente que la remoción de hidrocarburos viscosos y emulsiones agua en hidrocarburo de los tanques de almacenamiento temporales puede crear dificultades especiales al seleccionar las facilidades de almacenamiento temporales.

Operaciones con una Sola Embarcación

Componentes principales

La coordinación de la operación de remolque de barreras con varias embarcaciones es muy difícil y en la práctica sólo en pocas oportunidades se ha logrado un éxito significativo. Una alternativa es el combinar la concentración, recuperación y almacenamiento de hidrocarburo en un sistema de una sola embarcación (Figura 10). Dicho sistema consiste de una sección corta de barrera flexible, un brazo rígido batiente o una formación de cuerda mopa o soga sorbente para recoger y concentrar el hidrocarburo; una bomba o recolector de alta capacidad para recogerlo; y tanques para el almacenamiento temporal del hidrocarburo y agua recuperada. Los sistemas de una sola embarcación operan relativamente bien en estados de mar 3 y algunos pueden recuperar hidrocarburos viscosos, pero con cantidades considerables de agua. De allí que debe haber un espacio adecuado a bordo para tanques a fin de permitir la separación del agua del hidrocarburo.

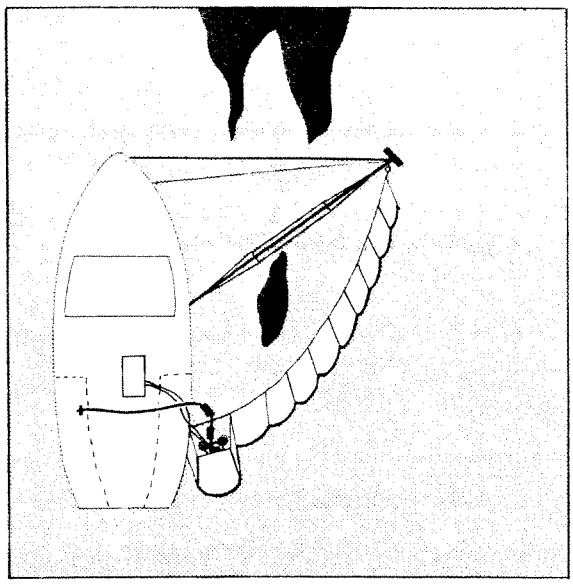


Figura 10:
Sistema de recuperación de una sola embarcación con una barrera mantenida en posición por un brazo rigido y obenques. Un bolsón en la barrera contiene un recolector conectado a una fuente de potencia en cubierta. El hidrocarburo recogido es bombeado hacia tanques de almacenamiento en cubierta.

Rendimiento

A pesar de que los sistemas de una sola embarcación son más manejables que los complejos sistemas de varias embarcaciones, la amplitud de su encuentro con el hidrocarburo es limitado, siendo equivalente al ancho máximo de la embarcación. Esta desventaja puede ser menos significativa cuando el hidrocarburo flotante es dirigido en hileras estrechas.

Aumento de la tasa de encuentro

Hay dos mejoras sencillas que pueden aumentar la tasa de encuentro con el hidrocarburo en los sistemas de una sola embarcación, aunque ambas requieren embarcaciones adicionales y equipo, por lo que es probable que se presenten problemas de coordinación (Figuras 11a y 11b). El primero es la dificultad de que una embarcación pequeña mantenga tensa una sección corta de barrera conectada a la embarcación colectora. Las dos embarcaciones mantienen la formación con el objeto de desviar el hidrocarburo hacia las barreras de recolección. El segundo método requiere de dos embarcaciones remolcando una gran longitud de barrera a 1-2 nudos. El hidrocarburo que escapa en hileras estrechas por detrás de la barrera puede entonces ser recuperado por el sistema de una sola embarcación.

Control de Operaciones

Comunicaciones aire-mar

Una dificultad corriente de las operaciones de recuperación es la de controlar los movimientos y actividades de las embarcaciones, asegurándose que estén operando en los sectores donde la mancha de hidrocarburo es más gruesa. Esto puede solucionarse utilizando aeronaves equipadas con sistemas adecuados de comunicación aire-mar. Los helicópteros tienen la ventaja de una capacidad de observación sobre el objetivo y pueden operar desde una base cercana al derrame.

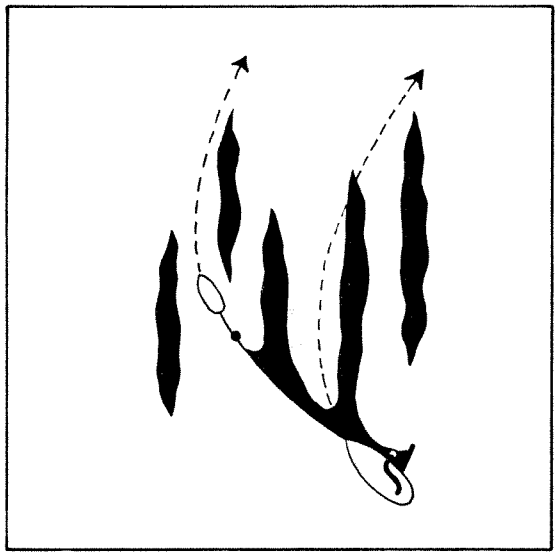


Figura 11a:
Sistema de una sola embarcación ampliado con otra embarcación de remolque de barrera para aumentar la tasa de encuentro.

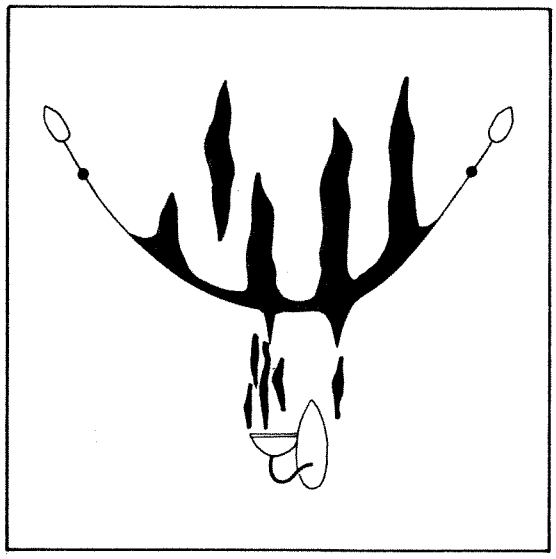


Figura 11b:
Configuración en U remolcada por dos embarcaciones a 1-2 nudos. El hidrocarburo que escapa por detrás de la barrera es interceptado por un sistema de una sola embarcación.

OPERACIONES COSTERAS

Contención en el Punto de Origen

Filtraciones en tanqueros/torres de perforación

Colocación rutinaria de barreras

Problemas potenciales

Excepcionalmente puede resultar práctico contener el hidrocarburo derramado con barreras ancladas muy cerca al origen del derrame, tal como por ejemplo en un tanquero o un pozo costafuera. En algunos puertos, se colocan barreras alrededor de los tanqueros durante las operaciones de carga y descarga como medida de rutina. Sin embargo, por lo general es difícil mantener las barreras ancladas en la configuración deseada. A menudo, las aguas están muy expuestas o las corrientes son demasiado fuertes para que estos despliegues sean efectivos. Además la colocación de barreras cerca del punto de origen del derrame puede crear riesgos de explosión e interferir con los esfuerzos de contención del flujo del hidrocarburo. En situaciones donde el hidrocarburo se disipará naturalmente, el uso de barreras es en cualquier caso inapropiado y puede provocar la formación de emulsiones de agua en hidrocarburo.

Protección de Areas Susceptibles

Prioridades

Planificación

Las barreras se utilizan más corrientemente cerca de la costa para proteger áreas susceptibles tales como estuarios, pantanos, zonas recreacionales o tomas de agua. En la práctica, puede que no sea posible proteger todos estos lugares. Por lo tanto se debe realizar una planificación cuidadosa abocada primero hacia la identificación de aquellos lugares que pueden ser protegidos efectivamente con barreras y en segundo lugar, establecer un orden de prioridad. Una ventaja adicional de dicha planificación es que se pueden efectuar preparativos para la selección de barreras, anclajes y recolección del hidrocarburo. La planificación es particularmente importante para los terminales de hidrocarburo e instalaciones similares donde el origen del derrame y probablemente su tamaño así como el tipo de hidrocarburo pueden ser estimados.

Selección de localidades adecuadas

Remoción del hidrocarburo contenido

Un reconocimiento aéreo puede ser muy útil para la identificación de los puntos adecuados para la colocación de barreras. Al seleccionar la situación y método de despliegue puede ser necesario convenir en decisiones sobre requisitos en conflicto. Por ejemplo, aunque puede ser deseable proteger un río en su totalidad, el estuario puede ser demasiado ancho o las corrientes demasiado fuertes para lograrlo. Podrá tener que ser ubicado un lugar más adecuado río arriba, tomando en cuenta la necesidad de un acceso para el despliegue de barreras y la remoción del hidrocarburo recogido. Si el hidrocarburo no es removido a la tasa de su llegada, se acumulará y moverá hacia el centro del río donde las corrientes más fuertes pueden empujarlo por debajo de la barrera. Si no se conocen las velocidades de las corrientes, pueden estimarse cronometrando el movimiento de objetos flotantes a lo largo de una distancia conocida.

Desviación del hidrocarburo

Con frecuencia es mejor utilizar las barreras para desviar el hidrocarburo hacia aguas relativamente tranquilas donde pueda ser recogido, en vez de tratar de contenerlo. Como se muestra en la Tabla 1, es factible desviar hidrocarburo flotante aún en corrientes de 3 nudos (1,5 m/s), donde una barrera colocada en ángulo recto al flujo no podría contener el hidrocarburo. Siguiendo este principio, un río puede ser protegido colocando una barrera en posición oblícua a la dirección del flujo. Si es necesario mantener un canal de navegación, se pueden espaciar dos secciones de barrera desde las márgenes opuestas del río (Figura 12).

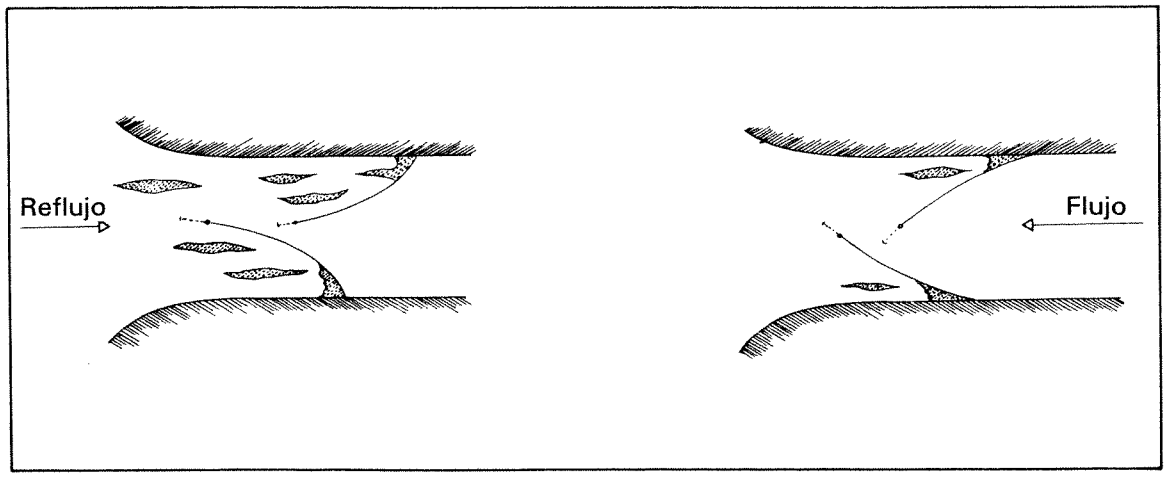


Figura 12:
Configuración de barrera espaciada a lo largo de un canal

Tabla 1. Angulos máximos de despliegue de barreras con relación a la dirección de flujo en corrientes de diferente fuerza para evitar el escape de hidrocarburo. Cálculos basados en una velocidad de escape de 0.7 nudos (0,35 m/s).

Fuerza de la Corriente		Angulo Máximo
(nudos)	(m/s)	(Grados)
0,7	0,35	90
1,0	0,5	45
1,5	0,75	28
2,0	1,0	20
2,5	1,25	16
3,0	1,5	13

Tabla 2. Fuerza de aguante de un ancla tipo Danforth en fango poco compacto, arena, grava o arcilla.

Peso del ancla (Kg)	Fuerza de aguante (Kg fuerza)		
	Fango	Arena	Arcilla
15	200	250	300
25	350	400	500
35	600	700	700

Desviación del Hidrocarburo

Otra manera de proteger áreas susceptibles en lugares donde las corrientes fuertes probablemente no permitan la contención y recolección del hidrocarburo, es utilizando barreras para desviar el hidrocarburo. Sin embargo, esto es casi invariablemente una solución temporal y deberá prestarse atención a la dirección que tomará entonces el hidrocarburo, para asegurar que no se provoquen problemas aún mayores.

Anclaje de Barreras

Corrientes

Anclaje

Bloques de concreto

Anclajes permanentes

El anclaje correcto es crucial ya que el rendimiento depende de que el ángulo de desviación sea el apropiado para la fuerza de la corriente prevaleciente. Pueden requerirse varios puntos de anclaje para mantener éste ángulo y evitar la formación de bolsones. Sin embargo, la colocación de puntos de anclaje múltiples es un trabajo especializado y a menudo no es práctico durante una emergencia. La fórmula dada anteriormente puede ser utilizada junto con las Tablas 1 y 2 como una guía para determinar los anclajes requeridos para mantener una barrera en una corriente de fuerza conocida y viento máximo probable. Un ancla del tipo Danforth es efectiva en sustratos arenosos y pantanosos, pero un ancla de tipo Pescador es mejor en fondos rocosos (Figuras 13a y 13b). Si se dispone de tiempo se pueden lanzar bloques de concreto para proporcionar puntos de anclaje convenientes y confiables pero su peso en el aire debe ser al menos tres veces el peso esperado, para compensar por la reducción de peso en el agua. Se requeriría de una embarcación de trabajo equipada con grúa para manejar los anclajes pesados. En áreas de alto riesgo tales como cerca de terminales de petróleo, pueden ser preparados puntos claves para la colocación de anclajes permanentes. Las longitudes apropiadas de barrera debidamente cubiertas también pueden ser almacenadas en estos puntos, en rollos o de otra manera que facilite su rápido despliegue.

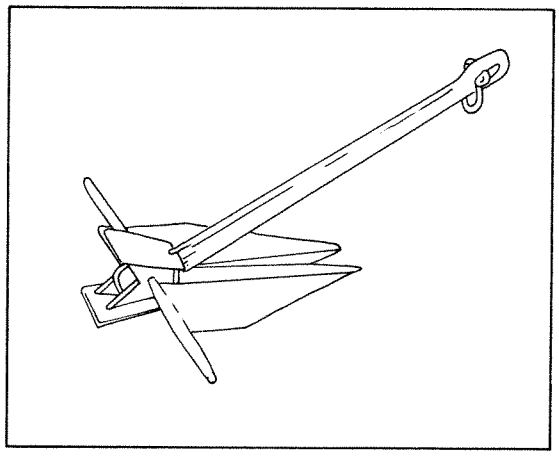


Figura 13a:
Ancla Danforth

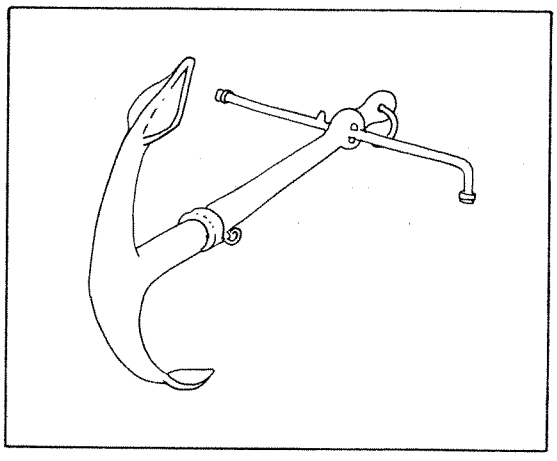


Figura 13b:
Ancla de pescador

Profundidad del agua, oleaje y mareas

Prácticas de anclaje

Costas

Cualquiera que sea el tipo de anclaje utilizado, es importante seleccionar un largo de cabos para anclaje adecuado para la profundidad de agua, oleaje y rango de la marea esperada. Si los cabos son demasiado cortos, la barrera no flotará bien en el agua y la tirantéz producida en los cabos por olas puede desprender los anclajes. Por el contrario, si estos son demasiado largos será difícil controlar la configuración. Un pedazo de cadena pesada u otro peso entre el ancla y la línea mejoran considerablemente el poder de anclaje de esta, y el uso de una boya intermedia entre la barrera y el ancla ayudará a evitar el hundimiento de la barrera en los puntos de anclaje y puede absorber algo de la "tirantéz". Igualmente, un peso colgado del cabo de anclaje evita que flote en la superficie cuando no esté tensa (Figura 14). Al desplegar una barrera desde la costa a menudo se puede asegurar a objetos fijos en la costa. En una playa arenosa sin rocas un objeto tal como un tronco enterrado proporciona un excelente punto de anclaje.

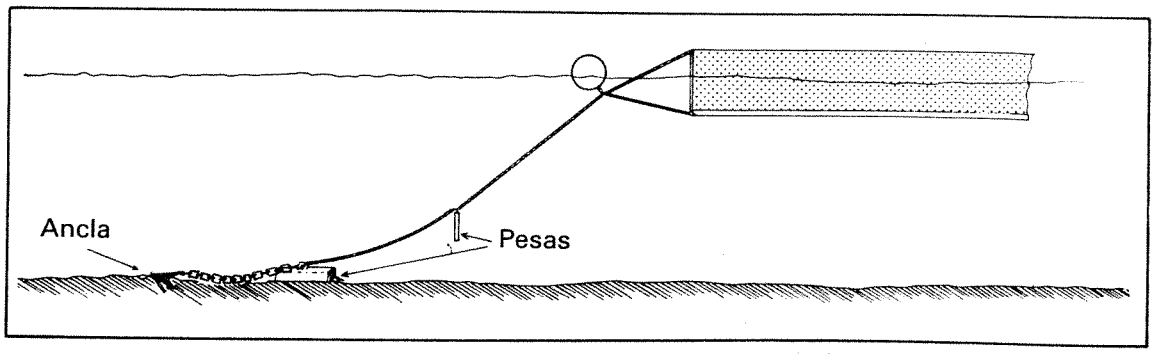


Figura 14:
Anclaje corriente

Anclajes con deslizamientos

En zonas de marea donde existan barreras instaladas permanentemente o donde es probable que se requiera de un despliegue frecuente, es posible que se necesite algún tipo de anclaje con deslizamiento que proporcione un bloqueo entre la barrera y la costa en todas las fases de la marea (Figura 15).

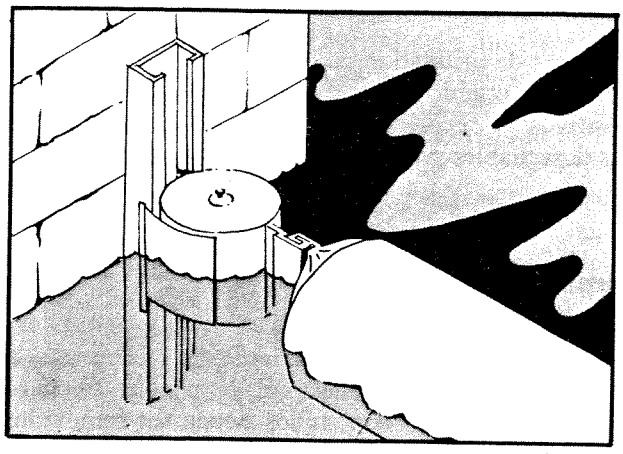


Figura 15:
Conexión de barrera que consiste de un cilindro flotante con una canal de deslizamiento que encaja en una corredera vertical fijada a la pared del muelle.

Barreras para bancos de marea

El uso de barreras en bancos de pantano o arena en estuarios o en otras situaciones donde la barrera pudiera quedar varada durante la marea baja, puede causar problemas especiales y requiere de la utilización de barreras disenadas específicamente para tales situaciones (Figura 16).

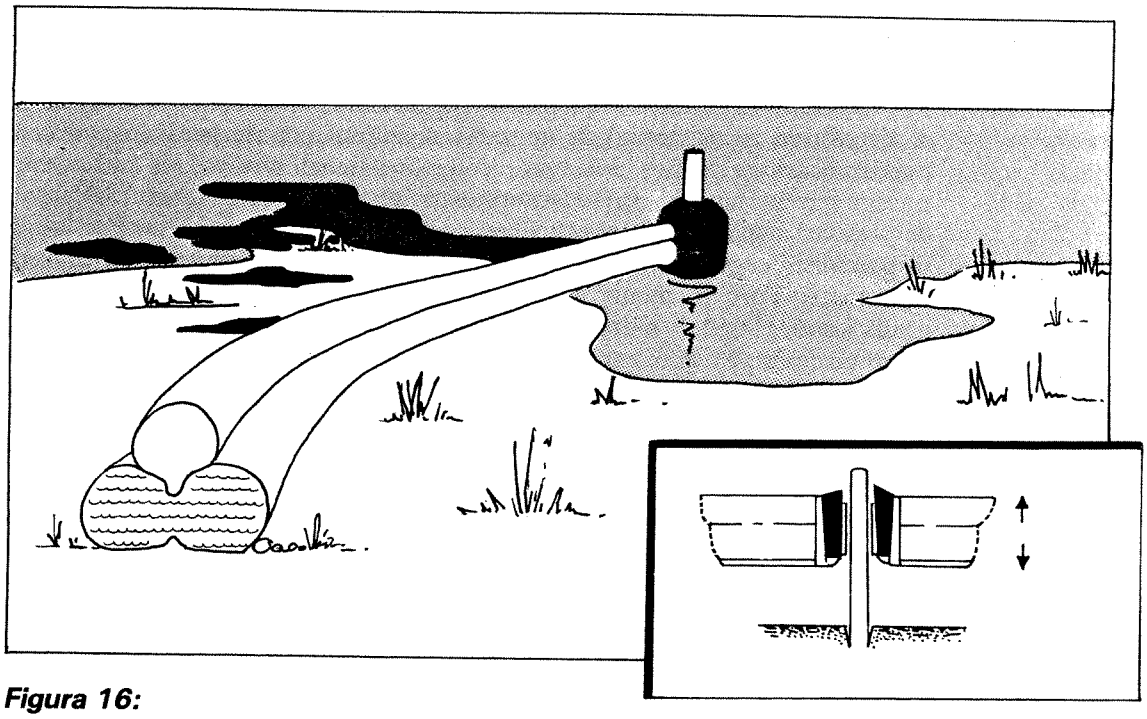


Figura 16:
Barrera costera con tubos de agua gemelos que proporcionan lastre debajo de un tubo de flotación de aire. Una cámara de flotación hueca fijada en una estaca clavada en el pantano proporciona un punto de anclaje que compensa el movimiento de marea.

Otros Usos de las Barreras

En costas

Desperdicios

Al igual que los demás materiales flotantes, el hidrocarburo se acumula en lugares determinados a lo largo de la costa bajo la influencia de los movimientos del viento y el agua. Pueden utilizarse barreras para concentrar aún más el hidrocarburo y evitar su movimiento hacia otros sitios si las condiciones cambian. Esto no sólo minimiza la extensión de la contaminación sino que permite la remoción controlada del hidrocarburo atrapado. Como es factible que existan desperdicios asociados al hidrocarburo en tales localidades, los recolectores utilizados deben ser capaces de

Recuperación del hidrocarburo

operar ante la presencia de tales materiales. Puede que sea necesario trabajar desde embarcaciones de poco calado pero por lo general es más fácil operar los recolectores desde la costa, especialmente si existe una vía de acceso y hay disponible cerca del sitio de recolección un área de trabajo firme y plana. Una vez más, no deben ser olvidados los problemas del almacenamiento temporal del hidrocarburo recuperado.

Limpieza de playas

Las barreras también pueden ser de utilidad en la limpieza de costas al contener el hidrocarburo lavado desde las playas y rocas. Acercando la barrera a la orilla se puede concentrar el hidrocarburo y moverlo hacia los dispositivos de recolección. En algunas circunstancias, se pueden utilizar barreras sorbentes sencillas desechables para recoger películas delgadas de hidrocarburo.

Inspección y Mantenimiento

Vientos, corrientes, mareas

Temperatura

Daños ocasionados por embarcaciones

En la medida en que cambian los vientos, las corrientes y las mareas, también cambiará la configuración de las barreras. Se requerirán revisiones y reajustes frecuentes de los puntos de anclaje. El hidrocarburo y los desperdicios contenidos deben ser removidos rápidamente, de lo contrario el rendimiento de la barrera se verá enormemente reducido. En condiciones donde la temperatura del aire es elevada durante del día y fría por la noche es importante tomar en consideración la expansión y contracción del aire en las barreras inflables. Esto puede requerir el soltar el aire durante el día y reinflarlas durante la noche, y es recomendable tomar algunas precauciones tales como notificar a los marineros y colocar luces de aviso. Las barreras de colores vivos son más visibles durante el día y de más fácil localización con las luces de noche.

Desperdicios

Rendimiento óptimo

Los recolectores también requieren de supervisión para asegurar que el hidrocarburo está llegando al dispositivo recolector y que no se están acumulando desperdicios que reduzcan la eficiencia o puedan ocasionar daños. Muchos recolectores tienen tamices los cuales, con bastante frecuencia pueden quedar tapados con hidrocarburo o desperdicios. Las reparaciones por lo general requieren de personal especializado y el mantener inventarios de repuestos. Por la noche deben realizarse inspecciones regulares y cuando sea necesario operar el equipo de recolección alumbrando con reflectores. Para mantener un alto rendimiento, la tasa de recolección debe ajustarse a las condiciones, el tipo de hidrocarburo y ser igual a la velocidad a la cual llega el hidrocarburo al punto de recolección. Si sólo hay presentes pequeñas cantidades de hidrocarburo, la recolección debe realizarse a intervalos para evitar una acumulación excesiva de agua. Las cuerda-mopas pueden ser efectivas a lo largo del interior de la barrera para recoger cantidades pequeñas de hidrocarburo.

Limpieza y reacondicionamiento

Después de utilizarse, los recolectores deben ser limpiados y reacondicionados para identificar y rectificar cualquier desgaste o daño. Pueden utilizarse picos para rociado de vapor o solventes de hidrocarburo para limpiarlos, pero no deben emplearse dispersantes o detergentes para limpiar las mopas o los discos plásticos; estos pueden ser limpiados con diesel. Los recolectores y sus fuentes de potencia deben ser protegidos del daño por corrosión que ocasionan las atmósferas húmedas y salinas. Las mopas sorbentes, las correas de goma y los materiales plásticos contenidos en los recolectores se estropean si quedan expuestos al sol directo durante largos períodos. La inspección regular y prueba del equipo son esenciales, especialmente porque su uso puede ser poco frecuente y hay una tendencia a que se pierdan piezas importantes.

Almacenamiento

Reparaciones

La recuperación, mantenimiento y almacenamiento adecuado de las barreras protegidas del sol directo, también es vital para prolongar su vida y asegurar que siempre estén disponibles para ser utilizadas con corto plazo de aviso. Por lo general, las barreras deben limpiarse después de utilizadas, lo cual puede resultar difícil en algunos modelos. Generalmente se utilizan dispersantes o limpieza al vapor, pero al emplear químicos es importante asegurarse que el material de la barrera no se dañe. Deben tenerse a mano equipos de reparación de emergencia para atender los daños menores que pueden causar que una sección o hasta la barrera completa quede inutilizada.

PLANIFICACION DE CONTINGENCIA Y ADIESTRAMIENTO

Reacción rápida

Cuando se toma la decisión de contener o tratar de proteger un área susceptible, es esencial una reacción rápida. Igualmente importante es la pronta eliminación del hidrocarburo contenido. Como ya se ha hecho notar en otras secciones de esta parte del libro, esto puede facilitarse mediante la planificación anterior al evento, tal como: selección de localidades apropiadas para la colocación de barreras, preparación de puntos de anclaje adecuados, selección de recolectores que se ajusten a los requerimientos más probables, tomar previsiones para instalaciones temporales de almacenamiento del hidrocarburo recuperado y otros arreglos de apoyo logístico.

Prácticas

El adiestramiento del personal y la realización de ejercicios prácticos es esencial. Hasta una mobilización y despliegue de equipos bajo condiciones controladas y buen clima sin la presencia de hidrocarburo, pondrá a prueba los procedimientos y estrategias y resaltará algunas de las dificultades que probablemente se enfrenten durante un derrame real. Los ejercicios prácticos también proporcionarán a las cuadrillas de limpieza la oportunidad de aprender nuevas técnicas y ensayar los principios básicos de pericia náutica.

PUNTOS A RECORDAR

1. Estimar los méritos de contención y recuperación en relación a otras opciones del limpieza y contra condiciones prevalecientes tales como estado del mar, vientos, movimientos de agua y la identificación de las áreas que requieran de protección.

2. Decidir si las áreas costeras prioritarias seleccionadas deberán ser protegidas con barreras remolcadas o ancladas, o algún otro tipo de barrera.

3. Seleccionar las barreras adecuadas u otro tipo de obstáculo que se ajustea los requerimientos y las condiciones prevalecientes, tomando en consideración disponibilidad, confiabilidad, facilidad y velocidad de despliegue y costo.

4. Seleccionar los recolectores adecuados en base al tipo y cantidad de hidrocarburo a ser recogido, su viscosidad a temperatura ambiente y cualquier cambio a través del tiempo, y tomando en consideración su disponibilidad, confiabilidad, resistencia, rendimiento en el campo, peso, facilidad de manejo, fuente de potencia y costo.

5. Identificar la disponibilidad de camiones de vacío y otros sistemas de succión que puedan ser utilizados para la recuperación de capas gruesas de hidrocarburo en aguas tranquilas y otras técnicas de recuperación que puedan ser apropiadas en ciertas situaciones.

6. Utilizar aeronaves o helicópteros para vigilar y controlar las operaciones en el mar.

7. Revisar continuamente el funcionamiento de las barreras y el rendimiento de los recolectores para asegurar su óptima eficiencia.

8. Asegurar que se toman previsiones de logística de movilización, transporte, despliegue y almacenamiento así como los arreglos para la eliminación del hidrocarburo recuperado.

9. Adiestrar debidamente al personal y mantener los estándares a través de ejercicios prácticos. Hacer los arreglos para el almacenamiento adecuado y las inspecciones regulares y revisiones del equipo, y rectificar cualesquiera fallas.

10. Conocer las limitaciones del equipo y los materiales disponibles para las operaciones de contención y recuperación y estar preparado para improvisar al surgir la necesidad.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CONCAWE (1981) a field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 9/81.112 pp.

CONCAWE (1983) A field guide to inland oil spill clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 10/83. 104 pp.

Cormack, D. (1983) Response to oil and chemical marine pollution. Applied Science Publishers, London. 531 pp.

Dhennin, A. (1983) Les barrages: La lutte contre les pollutions accidentelles des eaux. CEDRE, Brest, France. Publication No. R83.810.E. 16pp

Environment Canada (1984) A winter evaluation of oil skimmers and booms. Environmental Protection Service, Environment Canada. Report No. EPS 4-EP-84-1

Fingas, M.F., Duval W.S. and Stevenson, G.B. (1979). The basics of oil spill clean-up. Environmental Protection Service, Environment Canada 155 pp.

IMO (1980) Manual on oil pollution – Section IV. Practical information on means of dealing with oil spillages. IMO, London. 143 pp. (Under revision).

ITOPF (1981) Use of booms in combating oil pollution. Technical Information Paper No. 2, ITOPF, London. 8 pp.

ITOPF (1983) Use of skimmers in combating oil pollution. Technical Information Paper No.5, ITOPF, London. 7 pp.

Koops, W. (1985) Manual of oil pollution, on sea, on coast and on inland waters. Staatsuiedecery (Government Publishing Office), The Hague, Netherlands (in Dutch).

Peigne, G. (1984) Skimmers. CEDRE, Brest, France. Publication No. R84.903.E 60pp.

Schulze, R. (1987) World catalog of oil spill response products – Complete listing of oil booms, skimmers and sorbents. Robert Schulze (Ed.). Maryland, USA. 470 pp.

Solsberg, L.B. (1983) A catalogue of oil skimmers. Enironmental Protection Service, Environ ment Canada. Report No. EPS 3-EP-83-1. 258 pp.

III EL USO DE DISPERSANTES

La acción de las olas sobre las manchas de hidrocarburo en el agua puede provocar la dispersión natural del hidrocarburo en pequeñas gotas. A medida que las gotas se mezclan a través de la columna de agua, la concentración del hidrocarburo se reduce y este se hace más accesible para su degradación eventual por microorganismos. Para acelerar este proceso, a veces es apropiado utilizar un dispersante químico, especialmente cuando la contención y recuperación no son convenientes. La remoción del hidrocarburo de la superficie del mar evita la formación de emulsiones persistentes de agua en hidrocarburo y residuos que pueden representar un riesgo para las costas y aves marinas.

Esta parte del libro explica como trabajan los dispersantes; los tipos disponibles; los métodos de aplicación en el mar y las costas, y las consideraciones ambientales relacionadas.

CONTENIDO

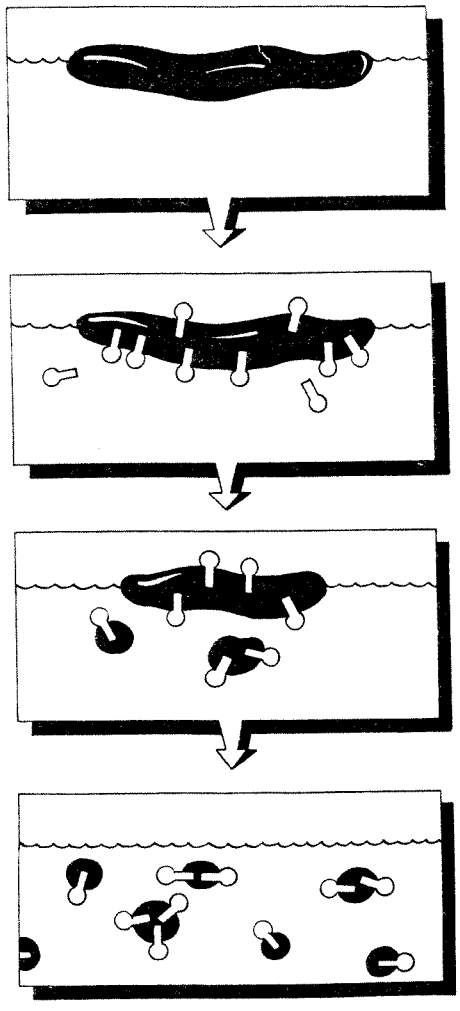
	Página
CARACTERISTICAS DE LOS DISPERSANTES	III.3
Mecanismo de Dispersión Química	3
Efectividad del Dispersante	4
Tipos de Dispersantes	4
METODOS DE APLICACION EN EL MAR	III.7
Rociado con Embarcaciones	7
Equipo Improvisado de Rociado	7
Equipo Especializado de Rociado	8
Rociado Aéreo	9
Tipos de Aeronaves	9
Selección de Aeronaves	9
Equipo de Rociado Aéreo	11
Tasas de Aplicación	14
Consideraciones Especiales para el Rociado Aéreo	14
Control de las Operaciones de Rociado	15
Organización y Seguridad	15
ROCIADO DE DISPERSANTE SOBRE LAS COSTAS	III.16
CONSIDERACIONES AMBIENTALES	III.17
PLANIFICACION PREVIA AL DERRAME	III.18
Pruebas de Laboratorio y en el Campo	18
Reservas y Almacenamiento	18
Aprovisionamiento de Embarcaciones y Aeronaves	18
PUNTOS A RECORDAR	III.19
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	III.20

CARACTERISTICAS DE LOS DISPERSANTES

Mecanismo de Dispersión Química

Surfactantes

El componente principal de un dispersante es un agente de superficie activo (surfactante) que tiene una estructura molecular tal que una parte de la molécula tiene afinidad con el hidrocarburo (oleófila) y la otra tiene afinidad con el agua (hidrófila). Al ser aplicado homogéneamente y mezclado con el hidrocarburo flotante, las moléculas se arreglan en la interfase hidrocarburo/agua de tal manera que se reduce la tensión interfacial entre el hidrocarburo y el agua. Esto promueve la formación de pequeñas gotas de hidrocarburo finamente dispersado con un área superficial combinada mucho mayor que la mancha de hidrocarburo original (Figura 1). Aplicando una determinada energía de mezcla se reduce la tensión interfacial entre el hidrocarburo y el agua, lo que resultará en un aumento correspondiente en el área combinada de gotas.



a) mancha sin tratar

b) aplicación de dispersante

c) formación de pequeñas gotas

d) dilución de hidrocarburo dispersado

Figura 1. *Mecanismo de Dispersión*

Tamaño de la gota de hidrocarburo

Apariencia del hidrocarburo dispersado

Mientras más pequeñas sean las gotas, major será la posibilidad de que se mantengan suspendidas en el agua debido a su muy baja velocidad de ascenso. En la práctica, para la mayoría de los crudos es poco probable que las gotas regresen a la superficie, excepto en condiciones de aguas tranquilas, siempre y cuando las gotas producidas tengan un diámetro promedio de 0,2 mm o menor. Sin embargo, en el caso de los productos refinados livianos con gravedades específicas bajas, tales como gasoil o diesel, se requieren gotas mucho más pequeñas para contrarrestar su mayor flotabilidad. Si un hidrocarburo negro es dispersado satisfactoriamente, se observará una sombra o columna de agua característica color café, dispersándose lentamente debajo de la superficie del agua unos minutos después de la aplicación.

Prevención de la coalescencia

Además de promover la formación de gotas, los dispersantes juegan un papel secundario evitando la coalescencia de las gotas de hidrocarburo una vez que se han formado. Esto es porque el agente activo de superficie permanece en la interfase hidrocarburo/agua el tiempo suficiente como para actuar de barrera entre cualquier gota que choque con otra por azar.

Solventes

Extensas pruebas de laboratorio y en el campo de la efectividad de diferentes dispersantes sobre diferentes hidrocarburos muestran que para que el dispersante sea efectivo debe estar distribuído en todo el hidrocarburo. Es por esto que la mayoría de los dispersantes contienen un solvente apropiado o combinación de solventes que penetran en el hidrocarburo y actúan como distribuidor del surfactante.

Efectividad del Dispersante

Viscosidad máxima

Punto de fluidez

Si el hidrocarburo es muy viscoso, los dispersantes no son efectivos ya que tienden a deslizarse entre el hidrocraburo hacia el agua antes de que el solvente pueda penetrarlo. Como regla general, los dispersantes pueden dispersar la mayoría de los hidrocarburos líquidos y las emulsiones líquidas de agua en hidrocarburo con viscosidades menores de unos 2000 centistokes (cSt), equivalente a combustible mediano a 10-20°C. Una vez que la viscosidad excede los 2000 cSt, los dispersantes aplicados en el mar son menos efectivos y a medida que la viscosidad alcanza los 5000-10000 cSt no son efectivos. No son apropiados para emulsiones viscosas (mousse) o hidrocarburos con un punto de fluidez cercano o por encima de la temperatura ambiente. El combustible pesado casi nunca puede ser dispersado y la Tabla 1 indica algunos crudos que pueden no ser receptivos a los dispersantes debido a su viscosidad o punto de fluidez. La Figura 2 muestra algunos valores corrientes de viscosidad para diferentes hidrocarburos a diversas temperaturas. Aún aquellos hidrocarburos que pueden ser dispersados al ser derramados, se vuelven resistentes debido al aumento de la viscosidad durante el proceso de curtido por la intemperie.

Reacción rápida

El tiempo que toma para que un hidrocarburo en particular se haga resistente a los dispersantes por los procesos de evaporación y emulsificación, depende de factores tales como estado de mar y temperatura; pero en la mayoría de los casos es poco probable que tome más de un día o dos. Esto significa que las cuadrillas de reacción deben decidir rápidamente si van a aplicar dispersante. Los dispersantes a veces son más efectivos con hidrocarburos viscosos atrapados en las costas porque el tiempo de contacto puede prolongarse para permitir la penetración del químico en la capa de hidrocarburo.

Tipos de Dispersantes

Los dispersantes utilizados hoy en día son principalmente de dos tipos:

Dispersantes a base de hidrocarburo

A. Los dispersantes a base de hidrocarburo o dispersantes convencionales tienen una base de solvente de hidrocarburo y contienen entre 15 y 25% de surfactante. Están hechos para la aplicación directa al hidrocarburo y no deben ser diluídos con agua de mar antes de su aplicación ya que esto los hace ineficaces. Las tasas de aplicación por lo general varían entre 1:1 y 1:3 (dispersante:hidrocarburo). Las primeras fórmulas a base de hidrocarburo, denominadas a veces "de primera generación," utilizaban solventes aromáticos tóxicos mientras que los actuales, conocidos como "de segunda generación," tienen un solvente sin compuestos aromáticos.

Concentrados

B. Los concentrados o dispersantes auto-mezclantes tienen solventes de alcohol o glicol y por lo general contienen una concentración mayor de componentes surfactantes. Estos productos "de tercera generación" deben ser aplicados preferiblemente puros, pero pueden ser diluídos con agua de mar antes de ser rociados. Por lo general las tasas de aplicación están entre 1:5 y 1:30 (dispersante puro:hidrocarburo).

Mezclado

Tanto los concentrados diluídos con agua de mar como los dispersantes de base de hidrocarburo requieren de un mezclado a fondo con el hidrocarburo después de la aplicación para producir una dispersión satisfactoria. Sin embargo, si los concentrados son aplicados directamente al hidrocarburo sin diluir, no requieren de mismo grado de mezclado y por lo general la acción de las olas es suficiente. Como resultado de esto, y de las tasas de aplicación menores requeridas, los concentrados han desplazado grandemente a los dispersantes de base de hidrocarburo para aplicación en el mar.

TABLA 1. Hidrocarburos con Viscosidades o Puntos de Fluidez Altos

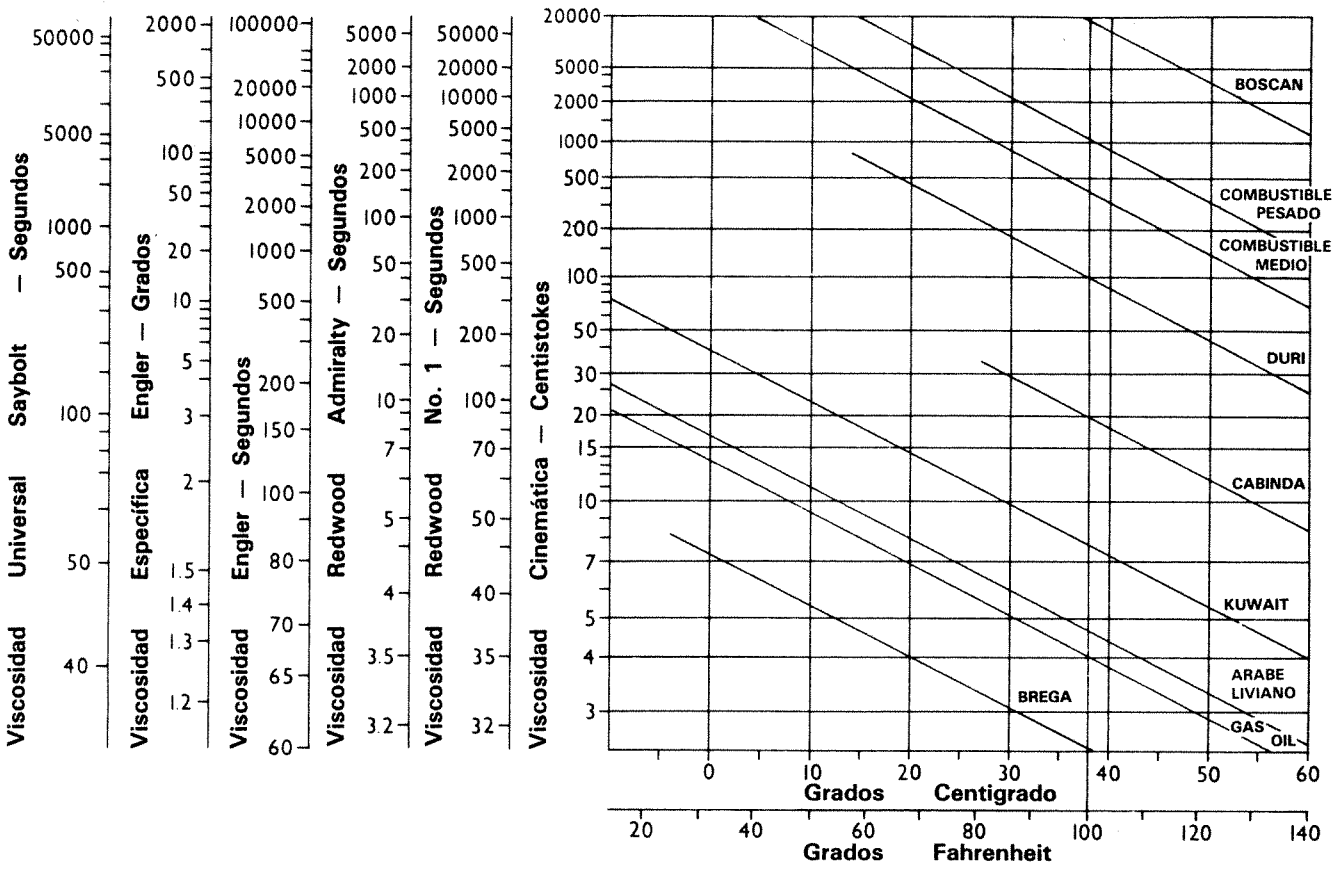
El punto de fluidez de un hidrocarburo es la temperatura por debajo de la cual éste no fluye. Es muy poco probable que los hidrocarburos indicados en negrillas sean tratables con dispersantes debido a su viscosidad o punto de fluidez alto. Los demás hidrocarburos podrían ser tratables con dispersantes cuando la temperatura ambiental sea alta. Para determinar las viscosidades a la temperatura ambiente, referirse a la Figura 2, nota 1.

Nombre del Crudo	Puerto de Carga	País	Gravedad °API	Viscosidad cSt 100°F 37.8°C	Punto de Fluidez °C	°F
Amna	Ras Lanuf	Libya	36.1	13	18	65
Ardjuna	SBM	Indonesia, E. Kalimantan	37.7	3	27	80
Bachaequero	La Salina	Venezuela	16.8	275	-23	-10
Bahia	**Salvador**	**Brazil**	**35.2**	**17**	**38**	**100**
Bakr	Ras Gharib	Egypt	20.0	152	7	45
Bass Strait		Australia	46.0	2	15	60
Belayim	Wadi Feiran	Egypt	27.5	18	6	43
Boscán	**Bajo Grande**	**Venezuela**	**10.3**	**>20,000**	**15**	**60**
Bu Attifel	**Zueitina**	**Libya**	**40.6**	**–**	**39**	**102**
Banju	Balikpapan	Indonesia, E. Kalimantan	32.2	3	17.5	63
Cabinda	SPMB-Landana	Angola	32.9	20	27	80
Cinta	**SBM**	**Indonesia, Sumatra**	**32.0**	**–**	**43**	**110**
Duri	Dumai	Sumatra	20.6	100	14	57
El Morgan	Shaukeer	Egypt	32.3	9.5	7	45
Es Sider	Es Sider	Libya	37.0	5.7	9	48
Gamba	SPMB-Gamba	Gabon	31.8	38	23	73
Gippsland Mix	Western Port Bay	Australia	44.4	2	15	60
Handil	**SBM**	**Indonesia, E. Kalimantan**	**33.0**	**4.2**	**29**	**85**
Lago Mezclado pesado	La Salina	Venezuela	17.4	600	-12	10
Iranian Nowruz	Bahrgan	Iran	18.3	270	-26	15
Jatibarang	**SBM**	**Indonesia, Java**	**28.9**	**–**	**43**	**110**
Jobo/Morichal (Monagas)	**Puerto Ordaz**	**Venezuela**	**12.2**	**3780**	**-1**	**30**
Lagunillas	La Salina	Venezuela	17.7	500	-20	-5
Mandji	Cap Lopez	Gabon	29.0	17	9	48
Merey	Puerto La Cruz	Venezuela	17.2	520	-23	10
Minas	**Dumai**	**Indonesia, Sumatra**	**35.2**	**–**	**32**	**90**
Panuco	**Tampico**	**Mexico**	**12.8**	**4700**	**2**	**35**
Pilon	**Carpito**	**Venezuela**	**13.8**	**1900**	**-4**	**25**
Qua Iboe	SBM	Nigeria	35.8	3.4	10	50
Quiriquire	Caripito	Venezuela	16.1	160	-29	-20
Ras Lanuf	Ras Lanuf	Libya	36.9	4	7	45
Rio Zulia	Santa María	Colombia	40.8	4	27	80
San Joaquín	Puerto La Cruz	Venezuela	41.5	2	24	75
Santa Rosa	Puerto La Cruz	Venezuela	49.4	2	10	50
Seria	Lutong	Brunei	36.9	2	2	35
Shengli	Qingdao	P.R. China	24.2	–	21	70
Taching	**Darien**	**P.R. China**	**33.0**	**138**	**35**	**95**
Tia Juana Pesada	**Puerto Miranda**	**Venezuela**	**13.2**	**>10,000**	**-1**	**30**
Wafra Eocene	Mina Saud/Mina Abdulla	Neutral Zone/Kuwait	18.6	270	-29	-20
Zaire	SBM	Zaire	34.0	20	27	80
Zeta North	Puerto La Cruz	Venezuela	35.0	3	21	70

$$* \, °API = \frac{141.5}{\text{Gravedad Específica}} - 131.5$$

$$* \, \text{Gravedad Específica} = \frac{141.5}{°API + 131.5}$$

***Figura 2:** Relación entre temperatura y viscosidad del hidrocarburo para algunos crudos y combustibles de hidrocarburo.*



Notas:

1. Pueden graficarse otros hidrocarburos colocando el valor conocido de viscosidad en la temperatura considerada (Ver Tabla 1) y dibujando una línea paralela a las líneas existentes.
2. Es poco probable que los hidrocarburos con viscosidades mayores a los 2000 centistokes a temperatura ambiente (por ejemplo el Combustible Mediano a menos de 20°C) sean tratables con dispersantes.
3. El gas oil es también conocido como Diesel Liviano o Combustible No. 2 (nomenclatura ASTM) y tiene un rango entre 30-36 segundos Redwood No. 1 a 100°F.
4. El Combustible Mediano es también conocido como Combustible No. 4 (nomenclatura ASTM) y tiene un rango entre 900-1500 segundos Redwood No. 1 a 100°F.
5. El Combustible Pesado es también conocido como Combustible Marino C (Bunker C) o Combustible No 6 (nomenclatura ASTM) y tiene un rango entre 3000-10000 segundos Redwood No. 1 a 100°F.

METODOS DE APLICACION EN EL MAR

El método de aplicación depende principalmente del tipo de dispersante, el tamaño y ubicación del derrame y la disponibilidad de embarcaciones o aeronaves para el rociado del dispersante. En la Tabla 2 se resumen las características principales de los diferentes sistemas de rociado.

TABLA 2. Comparación de los Sistemas de Aplicación de Dispersantes

Sistema de Rociado	Tipo de Dispersante	Tasa Máxima de aplicación del dispersante litros/min.	Tasa Máxima de tratamiento del hidrocarburo toneladas/hora	Ventajas	Desventajas
UNIDADES TIPO MORRAL	BASE DE HIDROCARBURO	2.5	0.3	Liviano, portátil económico ye fácilmente disponibles	Tasa de aplicación ye de carga limitadas
	CONCENTRADO	2.5	3.3		
EQUIPOS CONTRA INCENDIO	CONCENTRADO	10-70	1	Disponibles en la mayoría de las embarcaciones	Tasa de encuentro limitada y desperdicio de dispersante
WARREN SPRING EQUIPO DE ROCIADO COSTAFUERA	HIDROCARBURO	90	10	Relativamente económico puede ser acoplado a la mayoría de las embarcaciones	Tasa de encuentro con el hidrocarburo limitada, tableros mezcladores de superficieincómodo; no puede ser acoplado a la proa para evitar el efecto de ola de proa. Tasa de bombeo constante
	CONCENTRADO	9.0	10		
WARREN SPRING EQUIPO DE ROCIADO COSTERO	HIDROCARBURO	32	4	Relativamente económico, acoplable a la mayoría de las embarcaciones con motores de 15 hp y puede ser adaptado para limpieza de costas	Tasa de encuentro limitada con el hidrocarburo, no puede ser ser acoplado en la proa para evitar el efecto de ola de proa. de ola de proa. Tasa de bombeo constante
	CONCENTRADO	3.2	4		
EQUIPO DE ROCIADO PARA PURO	CONCENTRADO	220	70*	Relativamente económico, puede ser acoplado a la proa de la mayoría de las embarcaciones proporciona tasa de aplicación variable	Potencial muy alto de desperdicio de dispersante debido a la alta tasa de aplicación
AERONAVE DE ROCIADO AGRICOLA PIPER PAWNEE	CONCENTRADO	120	40	Reacción rápida, tasa de tratamiento alta, distribución precisa del químico, especialmente para manchas fragmentadas. Puede despegar y aterrizar desde pistas rudimentarias	Rendimiento y capacidad de carga limitida. Mono-motor por lo que sólo es adecuada para el rociado de aguas costeras
AERONAVE DE ROCIADO DOUGLAS DC6	CONCENTRADO	400	320	Reacción rápida, tasa de tratamiento muy alta, sólo es adecuada para derrames masivos	Requiere de una aeronave costosa de dedicación exlusiva, toma tiempo para ubicarla en el lugar del derrame, requiere pista larga y aeronave de control

*Basado en una tasa de encuentro típica para una embarcación navegando a 10 nudos y rociando con una amplitud de 40 metros.

Rociado con Embarcaciones

Tamaño de la embarcación

Las embarcaciones utilizadas en las operaciones de rociado varían considerablemente en tamaño, desde grandes naves construídas especialmente hasta pequeñas embarcaciones de oportunidad en las que se instala equipo de rociado. Las embarcaciones pequeñas no son muy apropiadas para operaciones grandes ya que no tienen suficiente capacidad de almacenamiento para las grandes cantidades de dispersante requeridos. El uso de dispersantes concentrados permite la mejor utilización de las capacidades limitadas de tales embarcaciones y el tratamiento de mayores volúmenes de hidrocarburo que la misma cantidad de dispersante a base de hidrocarburo. Una vez que el hidrocarburo se aleja de la fuente del derrame, las embarcaciones de todos los tamaños requieren de la asistencia de aeronaves que las sobrevuelen para dirigirlas hacia la mancha.

Equipo Improvisado de Rociado

Bombas contraincendio

Cuando no se dispone de equipo especializado, a veces se utilizan las bombas y mangueras contraincendio como último recurso. Sin embargo, los dispersantes a base de hidrocarburo nunca deben ser rociados con este equipo, ya que el diluído previo con agua inactiva el surfactante. El dispersante concentrado es introducido en la corriente de agua de mar por un eductor, pero la salida debe ser controlada por la tasa de bombeo o purgando el exceso de agua para lograr una concentración del 10% de dispersante. Debido a que las tasas de flujo de agua tienden a ser muy altas, puede ocurrir tanto una dilución excesiva como un alto consumo del químico. La aplicación efectiva también es difícil porque sólo una pequeña área es cubierta por el chorro fuerte de agua producido por una manguera de incendio. A pesar de estas limitaciones, las mangueras o las bombas contraincendio pueden ser apropiados para el tratamiento de derrames pequeños en espacios confinados tal como debajo de espigones.

Limitaciones

Equipo Especializado de Rociado

Tableros mezcladores de superficie

Cuando se aplican dispersantes a base de hidrocarburo o concentrados diluídos desde botalones de aspersión acoplados a embarcaciones, es posible alcanzar el nivel requerido de mezclado remolcando tableros mezcladores a través de la mancha (Figura 3a). Con este equipo, el dispersante es por lo general aplicado a una tasa constante, y la proporción de dispersante:hidrocarburo sólo puede ser ajustada cambiando la velocidad de la embarcación o cerrando uno de los botalones de aspersión. En la práctica, la embarcación sólo puede navegar entre 4 y 10 nudos ya que éste es el rango de operación de los tableros mezcladores. Los tableros, que por lo general son remolcados colgando de los botalones de aspersión, son difíciles de desplegar en ciertas embarcaciones y la tripulación a menudo no quiere utilizarlos resultando en una reducción considerable de la efectividad del dispersante. El diseño de las embarcaciones frecuentemente obliga a la colocación de los botalones de aspersión en la mitad del barco o en la popa, y en algunas embarcaciones la ola creada por la proa al navegar a velocidades mayores de unos 5 nudos puede empujar gran parte del hidrocarburo flotando más allá del alcance de la amplitud de rociado del dispersante. Esto disminuye la tasa de tratamiento del hidrocarburo y resulta en un desperdicio de dispersante.

Efecto de la ola de proa

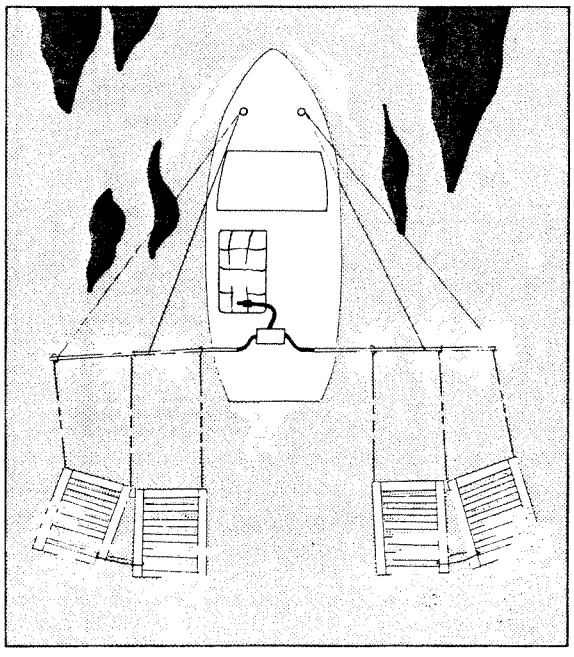


Figura 3a:
Embarcación provista de equipo de rociado para la aplicación de concentrado diluído o dispersantes a base de hidrocarburo. El dispersante es bombeado desde un tanque "plegable" a través de botalones gemelos equipados con boquillas de rociado y arrastrando tableros mezcladores de superficie.

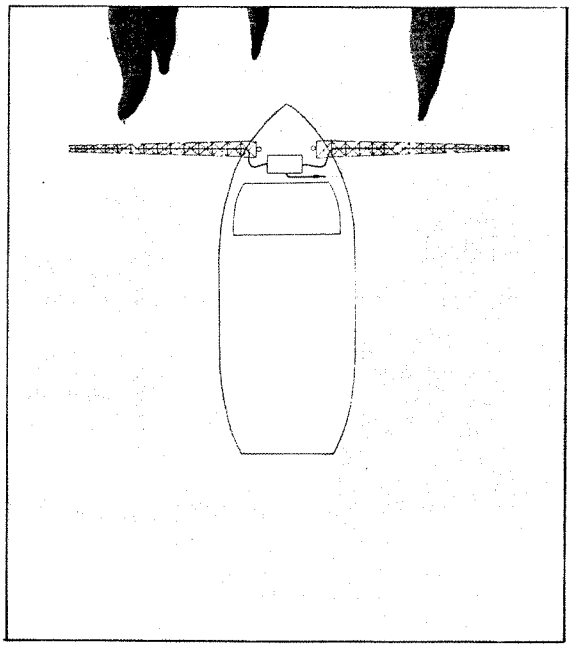


Figura 3b:
Equipo de rociado acoplado a la proa para la aplicación de dispersante concentrado no diluído. En este ejemplo el dispersante es extraído de los tanques de almacenamiento de la embarcación.

Rociado de concentrado puro

Debido a que los dispersantes concentrados son más efectivos aplicados sin diluir y requieren menos energía de mezclado, permiten una major flexibilidad y tasas mayores de tratamiento de hidrocarburo. Los botalones de aspersión pueden ser instalados en la proa, lo cual evita el problema de la ola de proa y permite que la embarcación viaje a mayor velocidad mientras se rocía (Figura 3b). Además, la ola de proa proporciona por sí misma un mezclado adicional. Debido a que el francobordo de la mayoría de las embarcaciones es mayor en la proa, los botalones de aspersión pueden ser más largos, aumentando la amplitud de encuentro con el hidrocarburo y mejorando aún más la tasa potencial de tratamiento.

Rociado Aereo

Ventajas

A pesar de las mejoras en los equipos de rociado desde embarcaciones, esta técnica siempre tendrá serias limitaciones, particularments debido a la baja tasa de aplicación y las dificultades inherentes a la ubicación de manchas desde una embarcación. Por el contrario, el rociado aéreo ofrece las ventajas de una reacción rápida, buena vigilancia, altas tasas de tratamiento, uso óptimo del dispersante y una mejor evaluación del uso del tratamiento con dispersante.

Concentrados no diluídos

Sólo son apropiados para el rociado aéreo los dispersantes concentrados aplicados puros, ya que estas no requieren de mezclado adicional al proporcionado por la acción de las olas. También hacen el mejor uso de la capacidad de carga disponible.

Limitaciones climáticas

Naturalmente, es esencial una buena visibilidad sobre el mar, y debido a que la técnica depende de la acción de las olas para romper la mancha en gotas, no es efectiva en condiciones de mar tranquilo.

Tipos de Aeronaves

Requerimientos de operación

Se han utilizado con éxito para el rociado de dispersantes helicópteros y aeronaves multimotor de ala fija. Para que una aeronave sea adecuada, debe ser capaz de operar a una altitud baja y a velocidades relativamente bajas, dentro del rango de 50-150 nudos, tener buena maniobrabilidad y la mayor capacidad de carga para dicho tamaño de aeronave.

Rociadores de cultivos

Aeronaves multi-motor

Rociado desde helicópteros con cubeta de aspersión

Las aeronaves utilizadas para el rociado se ubican en tres categorías: Las diseñadas para las operaciones agrícolas y de control de plagas, las que han sido especialmente modificadas para operaciones de rociado, y otras aeronaves que pueden ser modificadas con poco tiempo de aviso. Las aeronaves del primer tipo tienden a ser de mono-motor con capacidades de carga baja tales como el Piper Pawnee, la Cessna Agtruck y el helicóptero Bell 47. El segundo grupo incluye aeronaves multi-motor, que varían en tamaño desde el Piper Aztec al Douglas DC6. El tercer grupo incluye la mayoría de los helicópteros y aeronaves mayores de transporte tal como el Hercules C130. La Tabla 3 enumera las principales características de algunas aeronaves comunes para el rociado aéreo. Además, muchos helicópteros están equipados con un gancho de carga para elevar cargas colgantes y sin necesidad de modificación alguna pueden cargar un sistema de rociado de cubeta de aspersión.

A fin de reducir los altos costos de mantener una aeronave destinada exclusivamente para esta actividad, se han desarrollado sistemas de rociado embandejados que pueden ser rápidamente instalados en aeronaves de carga.

Selección de Aeronaves

Tasas de aplicación

La aeronave óptima para una operación en particular estará determinada primordialmente por el tamaño y la ubicación del derrame, aunque en realidad, la disponibilidad de una aeronave será el factor primordial. En caso de un derrame masivo, las consideraciones sobre la capacidad de carga podrían determinar el uso de grandes aeronaves multi-motores. Por ejemplo, un derrame de 4,000 toneladas requeriría en teoría la aplicación de unas 200 toneladas de dispersante en 24 horas (12 horas de luz). Considerando únicamente la capacidad de carga, esto podría lograrse con un DC6, 10 Piper Aztecs o 20 Piper Pawnee. En realidad, tendrían que tomarse en consideración muchos otros factores, incluyendo el comportamiento del hidrocarburo mismo.

Ubicación del derrame

Las aeronaves pequeñas de ala fija con alta resistencia, bajo consumo de combustible, corta duración de viaje redondo y la capacidad de operar desde pistas de aterrizaje cortas, e incluso improvisadas, son a menudo las más adecuadas para derrames pequeños o manchas fragmentadas cercanas a la costa. Sin embargo, las aeronaves mono-motor también estarán limitadas por la distancia de la costa desde la cual pueden operar con seguridad. A menudo es de un valor considerable la capacidad de los helicópteros de rociar en situaciones confinadas y operar de una base muy cercana al sitio del derrame. La posibilidad de utilizarlos para otros trabajos (por ejemplo, transporte rápido de personal y equipo a localidades costeras inaccesibles donde se esté efectuando limpieza) puede constituir una ventaja adicional. A pesar de que las aeronaves multi-motor mayores ofrecen el rango requerido, capacidad de carga, velocidad y seguridad para el tratamiento de derrames masivos costafuera, debe tomarse en cuenta que necesitan de pistas de aterrizaje más largas y mayor apoyo operacional, tienen tiempos mayores de viaje redondo y visibilidad y maniobrabilidad más restringidas. En algunas partes del mundo puede ser difícil o aún imposible

TABLA 3. Características de Aeronaves apropiadas para el Rociado Aéreo de Dispersantes

Tipo de Aeronave	*Propulsión*	*Capacidad del Tanque de Dispersante (lt)*	*Velocidad de Crucero (nudos)*	*Longitud Mínima de Pista (metros)*
Aeronave mono-motor especialmente diseñada para uso agrícola				
Aerospace Fletcher Cresco	turbina	1530	140	300
Aerospace Fletcher	pistón	1045	115	245
Antanov An 2 R	pistón	1400	100	150
Basant	pistón	900	100	215
Cessna Agtruck	pistń	1060	100	400
Desmond Norman Fieldmaster	turbina	2640	145	175
EBM 701 Ipanema	pistón	680	105	465
IAR-822	pistón	600	80	300
Pilatus Porter PC-6	turbina	950	110	180
Piper Brave 300	pistón	850	125	295
Piper Pawnee D	pistón	570	90	245
PZL Dromader M18	pistón	2500	100	250
PZL 106A Kruk	pistón	1400	90	220
Super AgCat B	pistón	1135	100	180
Thrush Commander	pistón	1365	100	300
Turbo Thrush	turbina	2275	125	250
Transavia Air Truk	pistón	820	95	335
Aeronave mono y multi-motor modificada				
Helicópteros (acoplado al fuselaje)				
Aérospatiale Lama	1 turbina	1140	80	—
Aérospatiale AS 350	1 turbina	1100	120	—
Bell 47	1 pistón	400	75	—
Bell 206	1 turbina	680	115	—
Bell 212	2 turbinas	1515	125	—
Hiller UH-12E	1 pistón	500	80	—
Hughes 500	1 turbina	680	115	—
Enstrom F-28C	1 pistón	400	70	—
Ala fija				
Beech Baron	2 pistón	450	200	410
BN Islander	2 pistón	480	140	170
BN Trislander	3 pistón	1250	145	395
Canadair CL 215	2 pistón	5300	160	915
DC3	2 pistón	4600	130	1000
DC4	4 pistón	9460	190	1525
DC6	4 pistón	13250	210	1525
Fokker F-27	2 turbinas	3780	260	990
Grumman Avenger	1 pistón	2000	200	915
Lockheed C130	4 turbinas	20820	300	1575
Piper Aztec	2 pistón	570	175	300
Shorts Sky Van	2 turbinas	1200	170	510
Twin Otter	2 turbinas	2100	170	320
Volpar Turbo Beech 18	2 turbinas	1100	220	510

Gasolina de aviación

de obtener las cantidades suficientes de combustible. Este es el caso para la gasolina de aviación (Avgas) utilizada como combustible para motores de pistón y en esos lugares la escogencia de una aeronave está limitada a aquellas provistas de motores de turbina, que consuman combustible de turbina para aviación (Avtur).

Equipo de Rociado Aéreo

Componentes de los sistemas de rociado

La Figura 4 muestra los componentes típicos de un sistema para una aeronave pequeña de ala fija. Una bomba accionada por el viento extrae el químico a una tasa controlada desde uno o más tanques para alimentar los botalones de aspersión que por lo general están situados cerca del borde de salida o por encima del ala. El químico es descargado por las boquillas de aspersión o atomizadores espaciados a intevalos a lo largo del botalón que genera las gotas dentro del rango de tamaño requerido.

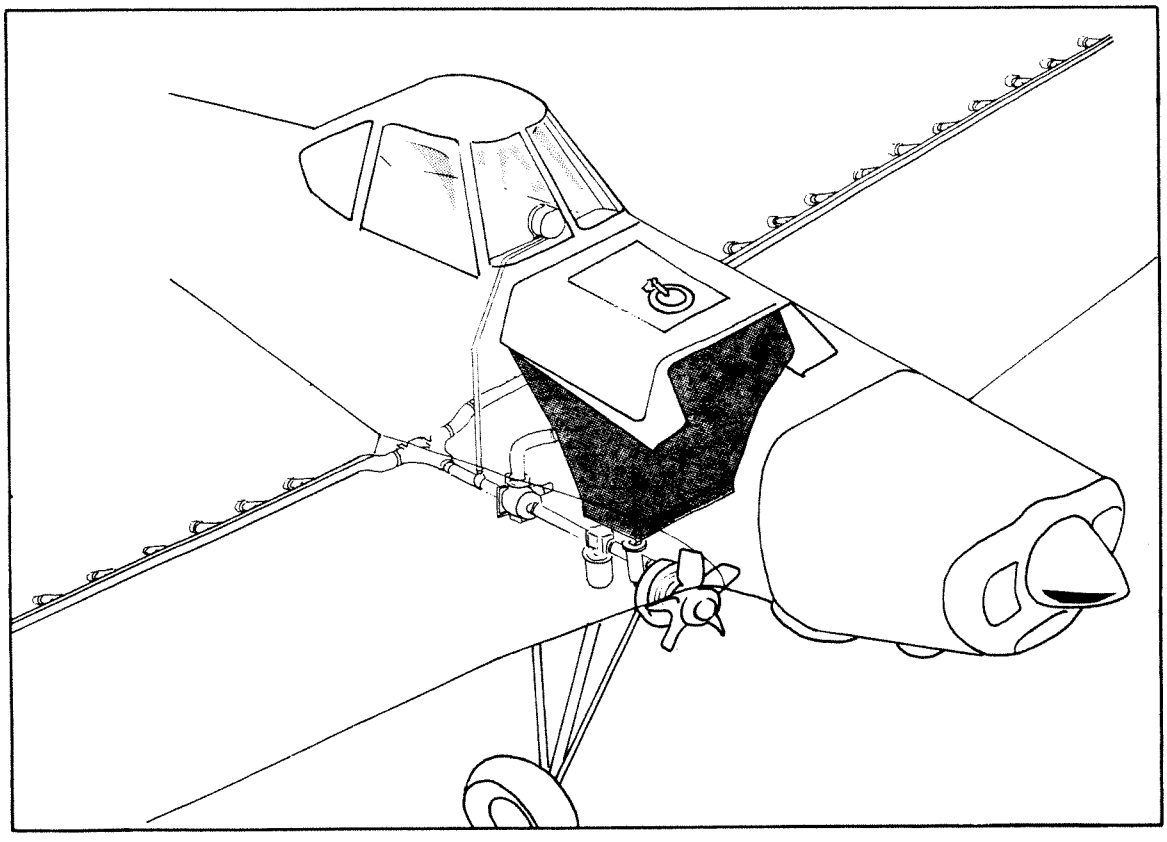


Figura 4:
Montaje de rociado acoplado a una aeronave pequeña de ala fija. Una bomba de propulsión por viento debajo del fuselaje alimenta el químico desde el tanque de almacenamiento hacia los botalones de aspersión en el borde de salida de las alas. Un medidor en la cabina permite al piloto controlar la tasa de flujo mediante una válvula.

Cubetas de aspersión colgantes

El equipo de rociado para helicópteros con frecuencia es similar al que se acopla a las aeronaves de ala fija con el tanque y el botalón de aspersión fijado al fuselaje. También pueden llevar un tanque combinado, bomba y botalón de aspersión suspendido del gancho para carga por medio de aparejos de cables con un mecanismo de acople rápido (Figura 5). El rociado es controlado directamente desde la cabina. Utilizando dos de estas unidades "de cubeta" alternadamente, los tiempos de viaje redondo pueden ser reducidos. Mientras que estos también presentan la ventaja de que es menos probable que el patrón de rociado se vea afectado por el tiro de la corriente de aire del rotor, es más difícil mantener la altitud baja necesaria cuando se utiliza un sistema colgante a no ser que utilice un aparejo corto de cables. Sin embargo, los cables deben ser de al menos 1.5 m (5 pies) de largo a fin de que haya suficiente espacio para que la "cubeta" pueda ser desenganchada con seguridad.

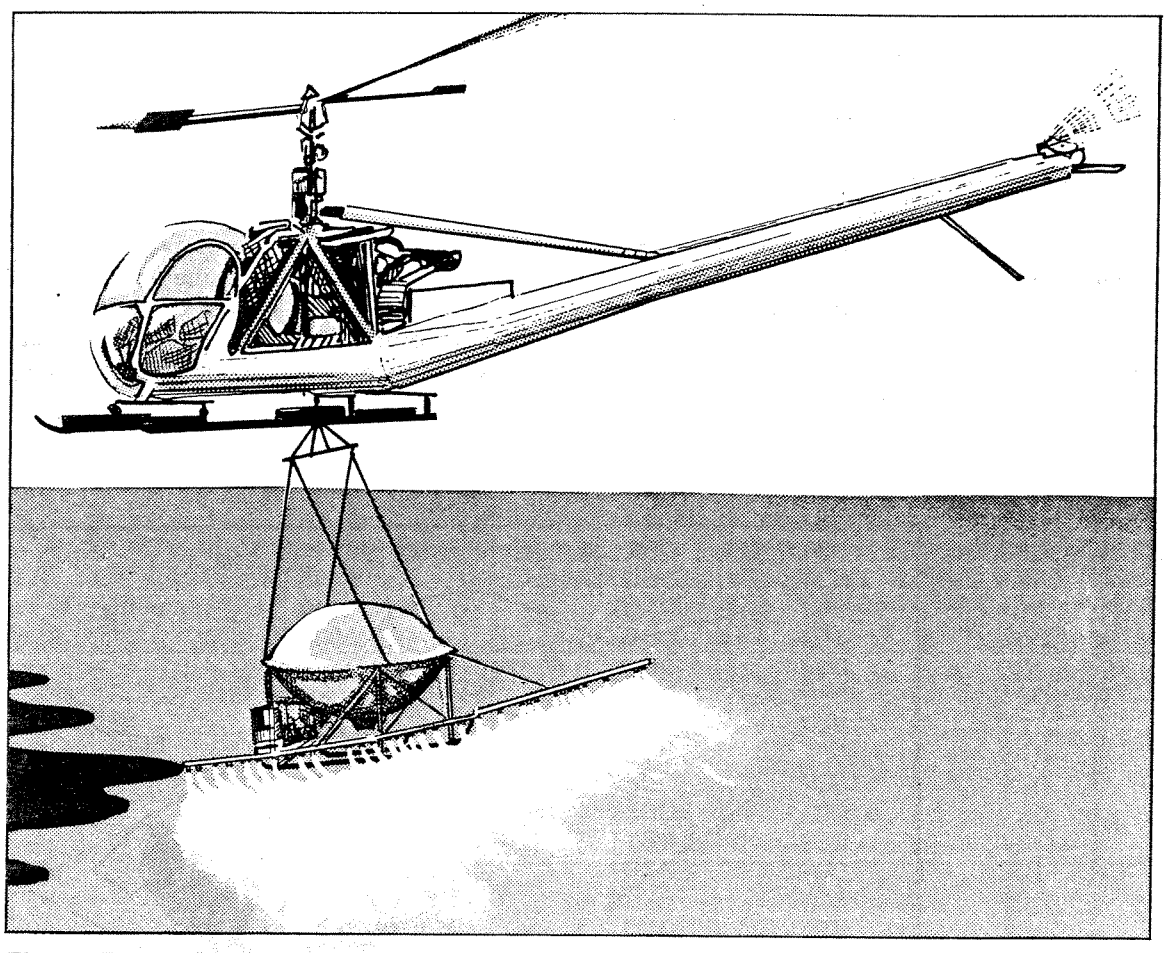


Figura 5.
Cubeta de aspersión colgante consistente de un tanque de almacenamiento de dispersante, una bomba y un botalón de aspersión.

Los dispositivos utilizados para controlar el tamaño de las gotas se clasifican en dos categorías principales (Figura 6).

Dispositivos de rociado

Boquillas de presión (por ejemplo, Sistemas de Rociado "Tee-jet", Boquilla Develan "Raindrop") que se colocan a intervalos a lo largo del botalón de aspersión.

Dispositivos rotatorios (por ejemplo, el Atomizador Rotatorio Micronair) que consisten de un tambor rotatorio de tela metálica de propulsión por viento, a través del cual se bombea el químico formando gotas del tamaño requerido. Estos están más espaciados y fijados bien sea sobre los botalones de aspersión o abrazaderas especiales.

Tanto las boquillas de presión como los atomizadores rotatorios son utilizados en los helicópteros o aeronaves mono-motor de rociado y en las aeronaves bi-motor más pequeñas. Las boquillas de presión también son utilizadas en aeronaves mayores tales como el Douglas DC4 y DC6, porque los dispositivos rotatorios no se consideran adecuados para este tipo de aeronave debido a la gran cantidad de unidades que se requeriría para obtener el rendimiento necesario.

Tamaño de la gota de dispersante

A pesar de que el rociado de dispersantes es en muchos aspectos similar al rociado de químicos agrícolas, difiere de éste en dos aspectos muy importantes: las tasas de aplicación tienden a ser mayores (por lo general 100 litros/hectárea, 10 gal imp./acre) y el tamaño de las gotas es mayor (500 micrómetros (μm) de diámetro promedio), esto último para minimizar la deriva por el viento y posibles pérdidas por evaporación.

Boquillas "Tee-Jet"

Aparte de las boquillas Devalan "Raindrop", los dispositivos mencionados arriba fueron originalmente diseñados para producir las gotas pequeñas requeridas para el rociado agrícola. Sin embargo, pueden ser rápida y facilmente modificadas para producir gotas más grandes. En el caso de las boquillas "Tee-Jet", se debe eliminar la placa de remolino y seleccionar una placa orificio que proporcione una apertura de unos 5 mm. Además las boquillas deben orientarse paralelas al flujo de aire y dirigidas hacia popa.

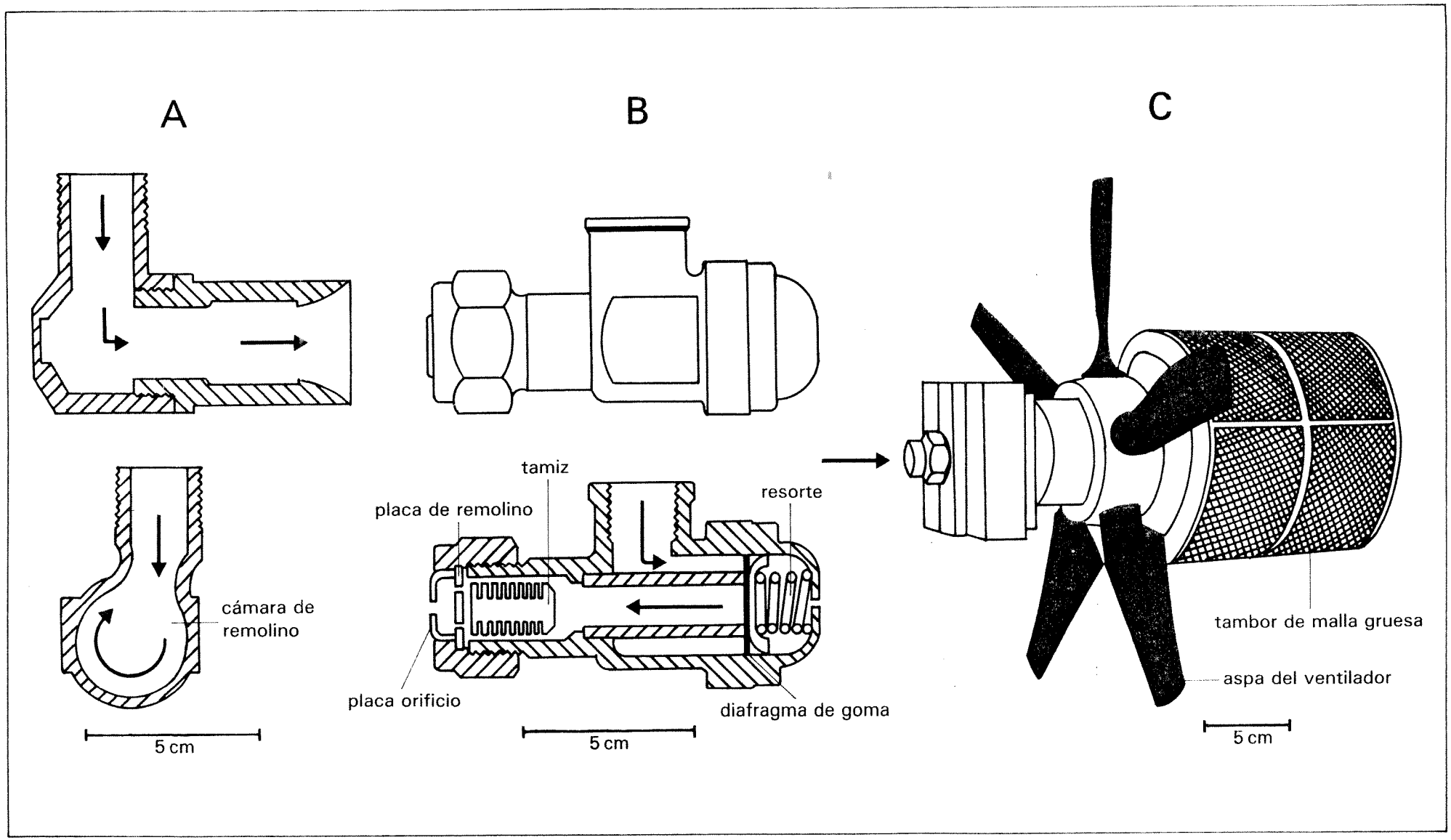


Figura 6:
Aspersores de Rociado. Diagrama simplificado mostrando los principios operativos y dirección de flujo. **A.** Boquilla Delavan ''Raindrop'' tipo RA con entrada tangencial de flúido a una cámara de remolino. **B.** Sistema de Rociado Boquillas ''Tee-Jet''. Para obtener gotas más grandes deben ser eliminados el filtro, la placa remolino y en aeronaves mayores, también la placa orificio. **C.** Atomizador Rotatorio Micronair con aspas de ventilador de inclinación variable y un tambor de 5 pulgadas que contiene el distribuidor del flúido. Para obtener gotas más grandes se debe sustituir el tambor por uno menor de $3\frac{1}{2}$ pulgadas.

Los diafragmas de goma acoplados a las boquillas "Tee-Jet" para evitar la pérdida de dispersante cuando se apaga la bomba, se deterioran rápidamente al entrar en contacto con el dispersante y deben ser revisados y reemplazados con frecuencia. Existen otros materiales resistentes al dispersante. La modificación de las unidades Micronair comprende la instalación de un tambor de tela metálica de $3\frac{1}{2}''$ con una malla de 10. También es necesario disminuir la velocidad de rotación orientando las aspas del ventilador a unos 70 grados para la propela estándar de $11\frac{1}{2}''$ de diámetro.

Unidades Micronair

El equipo de rociado es susceptible a tupirse, en especial con algunos dispersantes que pueden formar un gel al contaminarse con pequeñas cantidades de agua. Por lo tanto, todos los componentes del equipo de rociado deben ser revisados regularmente y provistos del mantenimiento adecuado. Las cuadrillas operadoras deben recibir un adiestramiento general en cuanto a su instalación y métodos de empleo y se deben realizar prácticas frecuentes.

Tasas de Aplicación

La tasa de aplicación requerida está determinada por el tipo de hidrocarburo, su espesor y las condiciones prevalecientes. El control de la tasa de aplicación puede lograrse de dos maneras, bién sea variando la tasa de descarga de la bomba o variando la velocidad de la embarcación o aeronave mientras se mantiene la tasa de descarga constante. La relación general entre las variables se muestra a continuación:

tasa de descarga de la bomba (litros/min)	= 0.003 ×	tasa de aplicación (lt./hect.)	×	velocidad (nudos)	×	anchura de rociado (m)

Para una mancha cuyo espesor se estime en 0.2mm, que represente un volumen de hidrocarburo de $2m^3$/hectárea se requeriría una tasa de aplicación de 100 litros/hectárea (10 gal imp./acre) si se utiliza un concentrado de dispersante a una dosis de 1:20. Una embarcación viajando a 10 nudos con una amplitud de rociado de 30 metros, necesitaría descargar el dispersante a una tasa de 90 litros/min (20 gal imp./min) para lograr esa tasa de aplicación. Si una aeronave volando a 90 nudos con una amplitud de rociado efectivo de 15 metros fuera utilizada para tratar la misma mancha, se requeriría una tasa de descarga de 405 litros/min (90 gal imp./min).

Ejemplo de cálculo

Es importante concentrar el tratamiento en los sectores más gruesos de la mancha ya que la aplicación de dispersante a los brillos resulta en un desperdicio del químico. Mientras que se ha determinado que tasas de aplicación en el orden de los 100 litros/hectárea son apropiadas en muchas situaciones, las manchas más gruesas pueden requerir de un aumento de la tasa de aplicación o aplicaciones múltiples para alcanzar la dosis requerida. Las tasas de descarga pueden ser variadas siempre y cuando las boquillas seleccionadas produzcan un rociado estable y que la descarga sea controlada por un medidor de flujo. En condiciones de clima muy frío, se debe prestar atención a la viscosidad de los dispersantes concentrados, lo cual limita el rendimiento tanto de las boquillas como de los medidores de flujo.

Sectores más gruesos de la mancha

Medidores de flujo

El equipo actualmente disponible para la aplicación de concentrado puro desde embarcaciones proporciona una amplitud de rociado entre 30 y 40 metros con tasas de flujo en el rango de 36 a 220 litros/min (8 a 48 gal imp./min). Estos sistemas de rociado de tan alta capacidad tienen el potencial para tasas de aplicación excesivas lo cual causa un desperdicio de dispersante y puede que sea necesario intercambiar las boquillas para obtener las tasas de aplicación óptimas.

Rociado desde embarcaciones

Consideraciones Especiales para el Rociado Aéreo

Es esencial minimizar las pérdidas de dispersante debidas a la deriva por el viento y la turbulencia del aire. Las gotas grandes ayudan en este sentido, pero adicionalmente la aeronave debe volar lo más bajo posible que permitan las consideraciones de seguridad. Por lo general se utiliza una altitud de 5-15 m (16-50 pies), dependiendo del tamaño de la aeronave y las condiciones prevalecientes. Debido a la dificultad para medir la altura sobre el mar por la ausencia de un punto de referencia conocido, algunas aeronaves, especialmente las grandes, están equipadas con altímetros de radio para ayudar al piloto a volar a estas altitudes tan bajas. La deriva por el viento puede ser limitada aún más volando hacia el viento mientras se rocía. Esto por lo general es necesario de todos modos debido a la tendencia del hidrocarburo flotante de alinearse en hileras estrechas en la dirección del viento entremezcladas con zonas de brillos delgados o mar límpio.

Deriva por el viento

Hileras de hidrocarburo

Pruebas de calibración

Para estimar las pérdidas de dispersante y poder establecer la tasa de aplicación efectiva para una combinación particular de aeronave y sistema de rociado, es recomendable en la etapa de planificación realizar pruebas de calibración sobre tierra simulando salidas reales de rociado. Los efectos sobre la tasa de aplicación de factores tales como velocidad de la aeronave, altitud, velocidad y dirección del viento, amplitud de rociado, tamaño de la gota de dispersante y tasa de flujo del mismo deben ser examinados utilizando un dispersante al cual se le ha añadido un tinte. Dichas pruebas pueden ser realizadas convenientemente sobre un campo de aviación donde se coloquen tarjetas de muestreo atravesando la amplitud de rociado esperada de manera que pueda analizarse la tasa de aplicación y distribución del tamaño de las gotas. Este procedimiento también proporciona la oportunidad de optimizar la posición y espaciamiento de las boquillas para obtener el patrón más uniforme a lo largo de la amplitud de rociado, compensando efectos tales como los de remolino de hélice y los vórtices de punta de ala.

Control de las Operaciones de Rociado

Aeronave de control

Cualquiera que sea el método empleado para la aplicación de dispersantes en el mar, se debe realizar una evaluación objetiva y contínua de la efectividad para evitar el desperdicio del costoso químico. Para asegurar que la operación de rociado desde una embarcación o aeronave es llevada a cabo con efectividad, es recomendable el control desde una aeronave sobrevolando el área. Esta puede ser una aeronave liviana o un helicóptero pero debe tener una alta resistencia y buena comunicación tanto con la aeronave o embarcación de rociado, como con el centro de control en tierra.

Función de la aeronave

La aeronave de control puede ser utilizada en una serie de funciones. Puede identificar las concentraciones mayores de hidrocarburo, o aquellas manchas que representen la mayor amenaza, para dirigir la nave de rociado al objetivo y evaluar la exactitud de aplicación y la efectividad del tratamiento. Estas funciones son particularmente importantes para las operaciones de rociado desde una embarcación cuando el rango de visión es limitado. El apoyo aéreo también se recomienda cuando se utilizan para el rociado aeronaves multi-motor, porque una vez que estas vuelan a baja altitud la tripulación tendrá bastante dificultad para distinguir entre el hidrocarburo y los brillos, especialmente cuando la mancha se ha roto. Cuando se utilizan aeronaves pequeñas para el rociado, todas estas tareas pueden ser llevadas a cabo por el piloto, siempre y cuando éste tenga experiencia en la técnica.

Organización y Seguridad

Logística

Se requiere de una buena organización para mantener las operaciones de rociado por el mayor tiempo posible durante las horas de luz. Esto puede requerir el mantenimiento rutinario del equipo y reabastecimiento de los materiales durante la noche. También deben mantenerse suministros de combustible y dispersante para las aeronaves y embarcaciones. Mientras que los dispersantes en tambores pueden ser apropiados para atender operaciones en pequeña escala, una mayor tendrá que ser abastecida desde camiones cisterna con bombas de alta capacidad.

Procedimientos de seguridad

En el caso de rociado aéreo, pueden requerirse tripulaciones de relevo ya que es extremadamente árdua la tarea de volar sobre el mar a altitudes muy bajas. Todos los procedimientos de seguridad deben ser observados a pesar de las condiciones difíciles. El personal que opera en embarcaciones y actividades de apoyo deben estar conscientes de las precauciones a ser observadas al utilizar dispersantes y deben consultar las guías específicas del fabricante correspondiente.

Efectos nocivos

Los dispersantes crean un área de trabajo resbalosa y por ende poco segura, especialmente en la cubierta de una embarcación, y deben minimizarse los derrames promoviendo buenas prácticas operacionales. Los dispersantes también exhiben una fuerte acción desgrasadora, por lo que se recomiendan revisiones regulares para asegurar que no contaminen los lubricantes, especialmente en el rotor de cola de helicóptero, y que no ataquen componentes de goma que están expuestos. Estos tienden a causar un efecto deteriorante en muchas pinturas y pueden agrietar ligeramente el Perspex utilizado en los limpiaparabrisas y ventanas. Las embarcaciones y aeronaves deben ser lavadas con manguera regularmente utilizando agua dulce para quitarles tanto el agua de mar como el dispersante.

ROCIADO DE DISPERSANTE SOBRE LAS COSTAS

Limpieza natural

Los dispersantes también pueden ser utilizados en algunas costas, especialmente durante las etapas finales de la limpieza. Sin embargo, cuando la contaminación es alta, es importante recoger primero el grueso del hidrocarburo atrapado mediante alguna otra téchnica de limpieza. Las playas sujetas a la acción de oleaje fuerte a menudo se limpian naturalmente y no deben tocarse a no ser que las circunstancias exijan la remoción inmediata de todo el hidrocarburo.

Tasas de aplicación

Tanto los dispersantes de base de hidrocarburo como los concentrados pueden ser utilizados para la limpieza de costas aunque el primer tipo puede resultar más efectivo con hidrocarburos viscosos debido a la mayor penetración obtenida con el solvente de hidrocarburo. Las tasas de aplicación del dispersante deben estar en el mismo rango que las utilizadas en el mar. Sin embargo, es difícil predecir cuan efectivos serán los dispersantes sobre el hidrocarburo atrapado, por lo que es recomendable realizar pruebas a pequeña escala antes de ejecutar una operación global. En caso de contaminación grave a menudo es preferible limpiar las superficies contaminadas con dos o más tratamientos separados, en vez de intentar remover todo el hidrocarburo con una sola aplicación.

Lavado con la marea

Al utilizar dispersantes sobre costas, es importante aplicarlos de manera que la playa se lave con agua de mar unos 30 minutos después de la aplicación para minimizar la penetración de éste en el material de playa. Para las playas de cascajos se recomienda un período aún más corto. La mejor manera de utilizar el dispersante en una costa de marea es rociando el hidrocarburo justo antes del avance de la marea alta. En costas sin cambios de marea se puede considerar lavarlas con agua de mar a baja presión teniendo cuidado de no empujar el hidrocarburo hacia el sustrato.

Equipo de rociado

El equipo más apropiado para la aplicación depende del tipo de material de playa que será limpiado, la facilidad de acceso y el tamaño de la operación. Para las playas pequeñas inaccesibles, los más adecuados son los equipos de morral portátiles. Para grandes extensiones de playa, se pueden utilizar vehículos especiales construídos para este propósito, tractores o aeronaves.

Limpieza de rocas

Los dispersantes también pueden ser utilizados para limpiar rocas, rompeolas y otras estructuras construídas por el hombre, aunque a menudo es necesario utilizar cepillos de mano para facilitar el mezclado, y el lavado con chorros de agua a alta presión para limpiar el hidrocarburo de las superficies verticales y por debajo de las rocas. La mezcla de agentes gelificantes con el dispersante puede evitar que este se escurra por las paredes verticales aumentando así el tiempo de contacto entre el hidrocarburo y el dispersante.

Hidrocarburos viscosos

Los hidrocarburos viscosos, tales como el combustible pesado, a veces pueden desprenderse de las rocas y paredes utilizando el dispersante como un agente liberador. Muy poca parte del hidrocarburo lavado se dispersará por lo que debe ser recogido con sorbentes o recolectores.

Control

El control de la efectividad de las operaciones de rociado en la playa por lo general puede ser llevado a cabo desde la costa. Es importante asegurar que el hidrocarburo tratado permanezca dispersado y no resurja en la superficie para formar una mancha que podría contaminar otras áreas.

Ropa de protección

Se recomienda que las personas que trabajen en las operaciones de rociado usen ropa de protección la cual debe incluir guantes, botas y anteojos protectores. Mientras se realiza el rociado debe restringirse el acceso del público.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Aunque la toxicidad de los dispersantes modernos es mucho menor que la de fórmulas anteriores, su uso todavía despierta mucha controversia. Los diversos paises tienen opiniones diferentes sobre el uso de dispersantes. La preocupación se deriva principalmente del hecho que el uso de dispersantes representa no sólo una introducción deliberada al mar de un contaminante adicional sino que ocasiona el aumento local de la concentración de hidrocarburos en la columna de agua, lo cual puede causar un daño biológico. Existe una gran cantidad de datos de laboratorio acerca de la toxicidad de los dispersantes y mezclas de hidrocarburo/dispersantes con una serie de organismos marinos, pero hay menos conocimiento acerca de sus efectos en derrames reales donde la dilución por lo general reduce significativamente las concentraciones y tiempos de exposición. Basándose en datos de pruebas de campo, se ha conseguido que las concentraciones iniciales pueden alcanzar 50 mg/litro pero disminuyen rápidamente a niveles de segundo término en unas pocas horas.

Información de toxicidad

Estudios en el campo

Los pocos estudios realizados en áreas donde se han utilizado ampliamente los dispersantes, no han demostrado efectos significativos sobre las poblaciones de especies particulares o comunidades biológicas. Tampoco hay disponibles evidencias concluyentes acerca de un aumento en la contaminación de las especies comerciales como resultado del uso de dispersantes.

Potencial de dilución

Un estudio del potencial de dilución constituye la base más útil para decidir si los dispersantes pueden ser utilizados para proteger ciertos recursos sin riesgo de daño innecesario a otros. Los factores relevantes son la distancia entre los puntos de aplicación y las áreas susceptibles así como la dirección de las corrientes y la profundidad de mezclado de las aguas superficiales. Con frecuencia es posible hacer un estimado aproximado tanto de la concentración máxima probable de hidrocarburo/dispersante y el tiempo de exposición para un lugar en particular. En áreas donde el potencial de dilución es alto, tal como en el mar, es poco probable que las concentraciones elevadas persistan por más de unas pocas horas y por lo tanto son poco probables efectos biológicos significativos. En aguas poco profundas cercanas a la costa donde el intercambio de agua es bajo, las concentraciones altas pueden persistir por períodos más largos y posiblemente alcancen valores cercanos a los que se sabe causan efectos observables en los experimentos de laboratorio. Debido a esto, a menudo se expresa gran preocupación por el uso de dispersantes en tales áreas. A pesar de este riesgo mayor, la aplicación cuidadosa de dispersantes puede en estas ocasiones tener un beneficio general, si como resultado de esta aplicación se reduce el daño a costas adyacentes ecológicamente susceptibles.

Intercambio de agua

Consideración de prioridades

Las circunstancias que favorecen el uso de dispersantes raras veces son bien definidas y la decisión lleva necesariamente a sopesar otras opciones, la relación efectividad-costo y las prioridades conflictivas para la protección de diferentes recursos del daño de la contaminación. En ocasiones, el beneficio potencial que se obtiene con el uso de dispersantes para proteger los puntos de interés de las zonas costeras, aves marinas y la fauna marina intermareal puede tener más peso que cualquier desventaja potencial, tal como el manchado temporal de moluscos comerciales. Por el contrario la opción de utilizar dispersantes puede ser rechazada en zonas de desove en mar abierto, aún cuando el riesgo de daño es muy bajo y normalmente no sería recomendable cerca de tomas de agua industriales, bancos de moluscos, arrecifes de coral o en regiones pantanosas. A pesar de las dificultades, es importante que se establezca un orden de prioridad para los recursos a ser protegidos y que antes de que ocurra un derrame si fijen las circunstancias bajo las cuales pueden aplicarse dispersantes.

PLANIFICACION PREVIA AL DERRAME

Mapas de susceptibilidad

Antes de que ocurra un incidente es importante identificar y trazar en mapas todas las áreas susceptibles al dispersante y al hidrocarburo dispersado, tales como áreas de desove de peces, bancos de moluscos, áreas de pantanos, zonas bajas de marea y lagunas. Luego deben examinarse por adelantado los casos de uso de dispersantes en diferentes localidades y circunstancias de manera que el equipo y materiales puedan ser ubicados y almacenados convenientemente. Tales medidas reducen el tiempo de reacción y mejoran la posibilidad de una operación exitosa.

Pruebas de Laboratorio y en el Campo

Efectividad

Toxicidad

En muchos paises se han desarrollado procedimientos de prueba y aprobación, a fin de asegurar que los dispersantes a ser utilizados son efectivos, se biodegradan rápidamente y tienen una toxicidad mínima a la vida marina cuando son utilizados correctamente. La efectividad de los diferentes dispersantes químicos varía considerablemente y siempre es aconsejable realizar pruebas bien sea de laboratorio o en el campo para identificar el mejor producto disponible para las condiciones esperadas. Deben tomarse en cuenta los factores ambientales tales como temperatura del agua y salinidad y los tipos probables de hidrocarburo derramado. Igualmente, al llevar a cabo las pruebas de toxicidad utilizando organismos marinos locales, se pueden seleccionar las fórmulas de baja toxicidad y elaborar una lista de los dispersantes aprobados.

Reservas y Almacenamiento

Cantidad de reserva

Almacenamiento a granel

Cuando se guardan reservas de dispersantes para ser utilizados en una emergencia, se debe prestar especial consideración a las cantidades requeridas en relación al tamaño probable del derrame esperado. También se debe tomar en consideración la logística de manufacturar y transportar cantidades adicionales en caso de un derrame masivo. Los dispersantes pueden ser almacenados en tambores de 200 litros o en envases para almacenamiento a granel. En este caso, se deben tomar precausiones para evitar la contaminación con materiales previamente almacenados y de la entrada de agua. Si se van a almacenar a granel dispersantes de diferentes marcas, es importante asegurarse de que sean compatibles; los dispersantes de base hidrocarbonada no deben mezclarse con concentrados ya que esto puede ocasionar la formación de gels viscosos.

Tambores

Almacenamiento en embarcaciones

Para una reacción rápida puede ser particularmente útil el almacenamiento en camiones cisterna. Aunque la mayoría de los dispersantes tienen un largo tiempo de vida, los tambores de acero a menudo se corroen desde el exterior con pérdida de químico. Por lo tanto para el almacenamiento a largo plazo son preferibles los tambores plásticos, siempre y cuando se mantengan fuera del sol directo. Bien sea que estén almacenados a granel o en tambores, por lo general será necesaria una bomba portátil para reducir las demoras al cargar embarcaciones o aeronaves. Donde se utilicen embarcaciones especialmente diseñadas, puede ser posible almacenar el químico en depósitos estructurales a bordo. Para la mayoría de las demás embarcaciones, se pueden colocar en cubierta tanques "plegables" de hasta 4,500 litros (1,000 galones) de capacidad.

Aprovisionamiento de Embarcaciones y Aeronaves

Ubicación de materiales y equipo

Si no se ha planificado tener embarcaciones especializadas a la orden permanentemente, se debe asegurar la ubicación y disponibilidad de remolcadores, barcos pesqueros y otras embarcaciones para la aplicación de dispersantes desde embarcaciones. Si se piensa efectuar una aplicación aérea, deben identificarse las pistas de aterrizaje a lo largo de la costa y hacer arreglos para el mantenimiento de las aeronaves, las fuentes de suministro de dispersante y combustible y los arreglos para su transporte.

Aeronaves para uso agrícola

Aeronaves para uso múltiple

Aunque pueden utilizarse aeronaves locales para uso agrícola en el rociado de derrames pequeños, estas pueden ser difíciles de obtener en ciertas épocas del año. Los derrames masivos, especialmente aquellos alejados de la costa, requieren de aeronaves mayores y debido a que estas por lo general no están siempre disponibles, puede ser necesario proporcionar una capacidad de reacción para dicho propósito. Debido a que esto significaría el pago de un costo substancial, es conveniente asignar a la aeronave funciones compatibles adicionales. Una tal función podría ser el combate de incendios, que tiene mucho en común con el rociado de dispersantes. Alternativamente, pueden ser utilizadas para controlar tráfico y detectar e identificar embarcaciones que ilegalmente descarguen hidrocarburo al mar. De esta manera la tripulación tendría conocimiento tanto de vuelos bajos sobre el mar como de reconocimiento de hidrocarburo.

PUNTOS A RECORDAR

1. La aplicación de dispersantes aumenta la desintegración natural del hidrocarburo eliminándolo así de la superficie del agua y protegiendo las costas y recursos naturales tales como aves marinas.

2. Existen dos tipos de dispersantes, los de base de hidrocarburo y los concentrados. Los concentrados pueden ser utilizados puros o diluídos en una proporción 1:10 (dispersante:agua) pero son más efectivos sin diluir. Las dosis más comunes oscilan entre 1:5 y 1:30 de dispersante puro a hidrocarburo. Los dispersantes de base de hidrocarburo no deben ser diluídos con agua y las dosis comunmente oscilan entre 1:1 y 1:3 de dispersante a hidrocarburo.

3. Es importante conocer las limitaciones de los dispersantes, particularmente su incapacidad para tratar hidrocarburos viscosos y emulsiones de agua en hidrocarburo. Debido a que la mayoría de los hidrocarburos derramados en el mar se convierten rápidamente en resistentes a los dispersantes, es esencial una reacción rápida y una alta tasa de tratamiento.

4. Mientras que las embarcaciones son adecuadas para el tratamiento de derrames pequeños cercanos a puerto, las aeronaves ofrecen potencialmente una reacción más económica en cuanto a costo se refiere en derrames majores costafuera.

5. El rociado aéreo presenta la ventaja de una rápida reacción, buena vigilancia, altas tasas de tratamiento, utilización óptima del dispersante y buena evaluación del tratamiento.

6. Los dispersantes sólo deben ser utilizados para la limpieza de playas después que el grueso de la contaminación ha sido recogida. Se debe tener cuidado de evitar la penetración del hidrocarburo en el material de playa y de reducir los daños a la vida marina ocasionados por la exposición prolongada a las mezclas de dispersante/hidrocarburo.

7. El éxito depende del control positivo de las operaciones de rociado que exigen un sistema de comunicación global.

8. Para elaborar una política sobre el uso de dispersantes, debe sopesarse el riesgo del daño ambiental como resultado de su uso contra los efectos probables del hidrocarburo no tratado. El potencial de dilución será una consideración importante. La política para el uso de dispersantes debe ser acordada por adelantado para cada área.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

CONCAWE (1981) A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 9/81. 112 pp.

Cormack, D. (1983) Response to oil and chemical marine pollution. Applied Science Publishers, London. 531 pp.

Croquette, J. (1985) The use of dispersants at sea to control oil slicks. CEDRE, Brest, France. Publication No. R85.70.E. 35 pp.

IMO (1980) Manual on oil pollution — Section IV Practical information on means of dealing with oil spillages. IMO, London. 143 pp. (under revision).

IMO/UNEP (1982) Guidelines on oil spill dispersant application and environmental considerations. IMO, London. 43 pp.

Institute of Petroleum (1986) Guidelines on the use of oil spill dispersants (second edition), John Wiley & Sons, London.

ITOPF (1982) Aerial application of oil spill dispersants. Technical Information Paper No. 3, ITOPF, London. 8 pp.

ITOPF (1982) Use of oil spill dispersants. Technical Information Paper No. 4, ITOPF, London. 8 pp.

Morris, P.R. and Martinelli, F. (1983) A specification for oil spill dispersants. Warren Spring Laboratory, Stevenage, U.K. Report LR 448 (OP) M. 21 pp.

IV LIMPIEZA DE COSTAS

A pesar de los esfuerzos para combatir los derrames de hidrocarburo en el mar y proteger las costas, muchos derrames causan la contaminación de éstas. Por lo general, la limpieza de costas no es complicada y normalmente no requiere de equipo especializado. Sin embargo, el uso de técnicas inapropiadas y la falta de organización pueden agravar el daño hecho por el hidrocarburo en sí.

Esta parte del libro describe las técnicas que han sido aplicadas con éxito en una serie de diferentes tipos de costa. Casi siempre la limpieza de costas lleva a la recolección de cantidades substanciales de hidrocarburo y desperdicios manchados; se describen varias opciones de elminación.

CONTENIDO

	Página
ESTRATEGIA DE LIMPIEZA	IV.3
Evaluación del problema	3
TECNICAS DE LIMPIEZA	IV.5
Rocas, Peñones y Estructuras construídas por el Hombre	5
Etapa I	5
Etapas II y III	6
Cantos, Guijaros y Cascajos	7
Etapa I	7
Etapas II y III	7
Playas Arenosas	8
Etapa I	8
Etapa II	8
Etapa III	10
Costas Pantanosas	12
ORGANIZACION	IV.13
ELIMINACION DEL HIDROCARBURO Y DESPERDICIOS	IV.14
Tipo y Naturaleza del Hidrocarburo y Desperdicios Manchados	14
Almacenamiento y Preparación para la Eliminación	14
Opciones de Eliminación	16
Recuperación del Hidrocarburo	16
Técnicas de Separación	17
Eliminación Directa	18
Estabilización	18
Incineración	19
Aceleración de la Biodegradación	20
PLANIFICACION DE CONTINGENCIA	IV.21
PUNTOS A RECORDAR	IV.22
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	

ESTRATEGIA DE LIMPIEZA

Evaluación del Problema

Evaluación

Antes de efectuar cualquier acción para limpiar hidrocarburo sobre las costas, es necesario determinar el tipo y cantidad de hidrocarburo de que se trata, la extensión geográfica de la contaminación y la longitud y naturaleza de la costa afectada. Además es importante identificar el punto de origen del hidrocarburo, de manera que pueda ser evaluada la posibilidad de impactos posteriores en la costa y para dirigir los reclamos subsiguientes por compensación de danos a las partes responsables correspondientes.

Estimación de la Cantidad de Hidrocarburo

La estimación precisa de la cantidad de hidrocarburo esparcido es difícil en la mayoría de los tipos de costa debido a que la distribución de éste rara vez es uniforme. En las costas rocosas expuestas, esta tarea puede ser particularmente difícil debido a la gran cantidad de huecos y ranuras donde puede acumularse el hidrocarburo. Sin embargo, aún un estimado aproximado de la cantidad de hidrocarburo es deseable a fin de organizar el trabajo de limpieza de costa más apropiada y la indentificación de los requerimientos de fuerza hombre para dicha tarea.

Estudio de la Costa

La extensión global de la contaminación puede ser estimada primero visualmente sobrevolando el área. Una evaluación más detallada de la cantidad de hidrocarburo presente en una pequeña sección representativa de las costas afectadas puede efectuarse luego a pie. Esto debe ser repetido en otras secciones donde el grado de cobertura del hidrocarburo puede ser diferente o donde cambie la característica de la costa (Tabla 1). Al mismo tiempo, el estudio de la costa proporciona una buena oportunidad para tomar muestras del hidrocarburo en caso de requerirse un análisis químico, y para confirmar las rutas de acceso y la factibilidad de limpieza.

A veces es mejor dejar que el hidrocarburo en las costas se curta por la intemperie y degrade naturalmente. Cuando se requiera de la limpieza de la costa, por lo general esta comprende tres etapas:

ETAPA I Remoción de la contaminación mayor e hidrocarburo flotante;

ETAPA II Limpieza de la contaminación moderada, hidrocarburo apresado y materiales costeros manchados;

ETAPA III Limpieza de las costas ligeramente contaminadas y manchas de hidrocarburo.

Prioridades

Las decisiones sobre prioridades de reacción deberán tomarse una vez considerados los conflictos potenciales de intereses. Por ejemplo, la utilización de las técnicas más efectivas puede resultar perjudicial para algunos ambientes susceptibles, mientras que en otros lugares, los intereses sobre las playas recreacionales pueden invalidar tales consideraciones. Esto requerirá de un juicio objectivo en base a cada localidad.

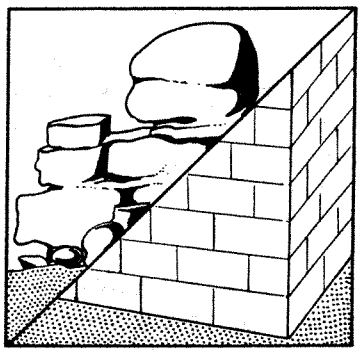
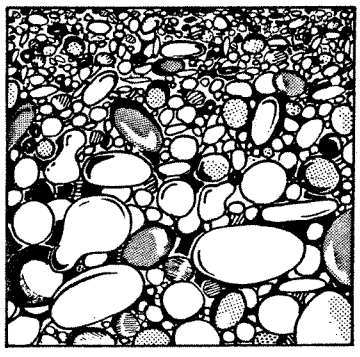
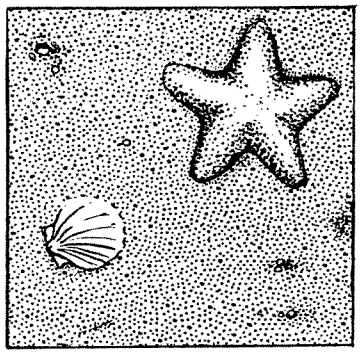
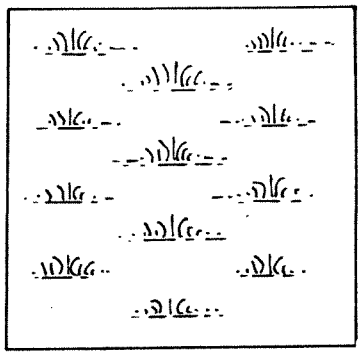
Etapa I

En la primera etapa, el hidrocarburo flotante que llega a la costa debe ser contenido y recogido lo más pronto posible para evitar que se mueva hacia zonas no contaminadas. Esto también aplica para las concentraciones grandes de hidrocarburo apresado que puede desprenderse y flotar, especialmente en regiones con cambios de marea. A veces pueden utilizarse barreras para mantener el hidrocarburo en la costa mientras se adelantan las operaciones de limpieza. Sin embargo, esta estrategia puede no ser apropiada para ambientes costeros susceptibles, donde puede ser preferible dejar que el hidrocarburo migre hacia zonas menos susceptibles.

Etapa II

Si no existe riesgo de migración del hidrocarburo, por lo general es mejor esperar a que todo el hidrocarburo del derrame llegue a la costa antes de comenzar la operación de limpieza para evitar el tener que limpiar la misma área más de una vez. Sin embargo esta posibilidad debe ser sopesada contra la posibilidad de que el hidrocarburo se mezcle con el sustrato, o peor aún, que se entierre si se demora demasiado la limpieza. Esta etapa de la limpieza de costas es frecuentemente la más larga. Se requiere de gran cuidado para limitar las cantidades de material removido de la playa junto con el hidrocarburo, de manera de minimizar tanto el riesgo de una erosión subsiguiente como la cantidad de material que deberá ser eliminado.

Tabla 1: COMPORTAMIENTO DEL HIDROCARBURO EN ALGUNOS DE LOS TIPOS MAS CORRIENTES DE COSTAS

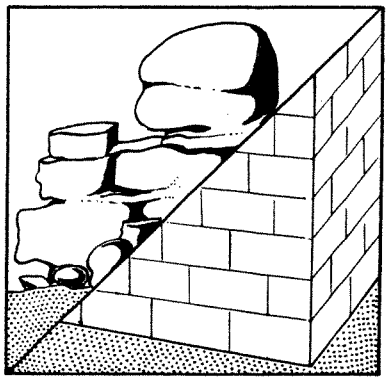
	Tipo y Rango de Tamaño	*Comentarios*
	Rocas, Penones y Estructuras construidas por el hombre > 250 mm	Con frecuencia el hidrocarburo es llevado hacia afloramientos y riscos por las olas reflejadas, pero puede ser lanzado a la zona de salpicado donde puede acumularse sobre superficies abruptas o porosas. En regiones de marea, el hidrocarburo se acumula en pozos entre las rocas y puede manchar rocas a todo lo largo del rango de marea. Este hidrocarburo por lo general es rápidamente limpiado por la acción de las olas, pero es más persistente en aguas protegidas.
	Cantos, Guijarros y Cascajo 2-250 mm	La penetración del hidrocarburo aumenta con el incremento del tamaño de las rocas. En áreas con oleaje fuerte, las piedras de la superficie se limpian rápidamente por abrasión, mientras que el hidrocarburo enterrado puede persistir por algún tiempo. Los hidrocarburos de baja viscosidad pueden ser lavados de la playa por el movimiento natural del agua.
	Arena 0.1-2 mm	El tamaño de las partículas, la profundidad del nivel freático y las caracteristicas de drenaje determinarán la penetración del hidrocarburo en la arena de las playas. Las playas de arena gruesa tienden a formar un banco de arena más empinado y se secan durante la marea baja, permitiendo que ocurra cierto grado de penetración, particularmente con hidrocarburos de baja viscosidad. El hidrocarburo por lo general se concentra cerca de la marca de la marea alta. La arena de grano fino casi siempre se encuentra en playas de perfil más plano, permaneciendo húmeda durante todo el ciclo de marea, de manera que ocurre poca penetración. Sin embargo, alguna cantidad de hidrocarburo puede quedar enterrada cuando queda expuesta a las olas rompientes por ejemplo, durante una tormenta.
	Lodo (bancos de lodo, pantanos, manglares) < 0.1 mm	Los grandes depósitos de pantano son característicos de los ambientes de baja energía. Ocurre poca penetración del hidrocarburo en el sustrato debido a que el sedimento está empapado de agua, pero el hidrocarburo puede permanecer sobre la superficie por largos períodos. Si el derrame coincides con una tormenta, el hidrocarburo puede quedar incorporado al sedimento y persistir indefinidamente. Las cuevas de animales y canales de raices de plantas también pueden facilitar la penetración del hidrocarburo.

Culminación de la Limpieza

Con frecuencia es difícil decidir en qué etapa debe culmiar la operación de limpieza. Por lo general esto se determina por factores tales como la importancia que se da al área, la época del año y la tasa a la cual se espera que ocurra la limpieza natural. Los costos también juegan un papel determinante en esta decisión ya que el esfuerzo requerido para lograr una mejora aumentará desproporcionadamente a medida que disminuye el hidrocarburo que permanece en la costa. Por esta razón una etapa final de limpieza exhaustiva por lo general sólo se requiere en zonas de alto valor recreativo durante o justo antes de la temporada de turismo.

Etapa III

TECNICAS DE LIMPIEZA



Rocas, Peñones y Estructuras Construídas por el Hombre

Etapa I

Recuperación Mecánica

Donde los vehículos o las embarcaciones puedan llegar hasta la orilla del agua, el hidrocarburo puede ser recogido utilizando recolectores, bombas o camiones de vacío. Muchos recolectores no trabajan bien en aguas poco profundas o con olas y un camión de vacío o tanque de remolque será más efectivo. Por lo general estos pueden recoger 20m^3 por día. Hasta donde sea posible, el agua limpia recogida junto con el hidrocarburo debe dejarse asentar y luego drenar antes de que el hidrocarburo sea trasladado para su eliminación. En ciertas costas, el hidrocarburo puede ser lavado de las rocas o piedras y recogido con barreras o sogas flotantes.

Recuperación Manual

Donde los vehículos no puedan acercarse lo suficiente al agua, el hidrocarburo debe ser recogido manualmente utilizando baldes, palas u utros recipientes. Los tambores abiertos de 200 litros no son adecuados ya que son difíciles de mover sobre terrenos rocosos cuando están llenos. Sin embargo pueden ser transportados en embarcaciones pequeñas para recoger el hidrocarburo atrapado entre las rocas. Si el hidrocarburo es particularmente fluído, puede ser más fácil su manejo si es mezclado previamente con sorbentes.

Sorbentes

Los más efectivos son los materiales sintéticos tales como la espuma de poliuretano expandida y las fibras de polipropileno. Estos tienden a ser costosos aunque algunos pueden ser usados repetidas veces. En ausencia de productos sintéticos, pueden utilizarse materiales naturales que se consigan en la zona, tales como paja, hojas de palma, conchas de coco, desecho de ca a (bagazo), turba y plumas de pollo. La mezcla de hidrocarburo/sorbente puede entonces ser recogida con horcas y rastrillos y llevada en bolsas plásticas resistentes o recipientes pequeños desde el lugar de recolección. El utilizar demasiado sorbente puede resultar impráctico si ocasiona una contaminación secundaria y una buena regla es la de no aplicar más de lo que pueda ser fácilmente recogido.

Utilización de Bolsas Plásticas

Etapas II y III

Recolección del Hidrocarburo Derramado

En muchos casos, una vez que el hidrocarburo móvil ha sido recogido, el que permanece sobre las rocas, piedras grandes y estructuras construídas por el hombre puede dejarse para que se curta por la intemperie ya que se formará rápidamente una película dura, minimizando el esparcimiento de la contaminación. Sin embargo donde las costas rocosas forman parte de lugares recreacionales, se pueden limpiar aún más lavándolas con agua a alta presión. Tanto el agua fría como la caliente puede utilizarse dependiendo del equipo disponible y el tipo de hidrocarburo; para desprender hidrocarburos viscosos a veces son necesarias altas temperaturas, y hasta vapor. Por lo general el agua se calienta hasta 60°C y es rociada a 10-20 litros/minuto con un aspersor manual que opera entre 80 y 140 bar. El hidrocarburo desprendido en esta forma debe ser recogido, o de lo contrario puede contaminar superficies previamente limpias o no contaminadas. El hidrocarburo puede ser lavado hacia una barrera desplegada en la orilla del agua y recogido con recolectores o camiones de vacío (Figura 1) o puede ser recogido mediante la colocación de sorbentes en la base de la superficie que está siendo limpiada. En los ambientes tropicales y sub-tropicales el lavado con agua caliente tiende a ser menos efectivo que en los climas templados, ya que el hidrocarburo expuesto al sol se seca pegándose a las rocas. Las áreas pequeñas pueden limpiarse con chorros de arena a presión.

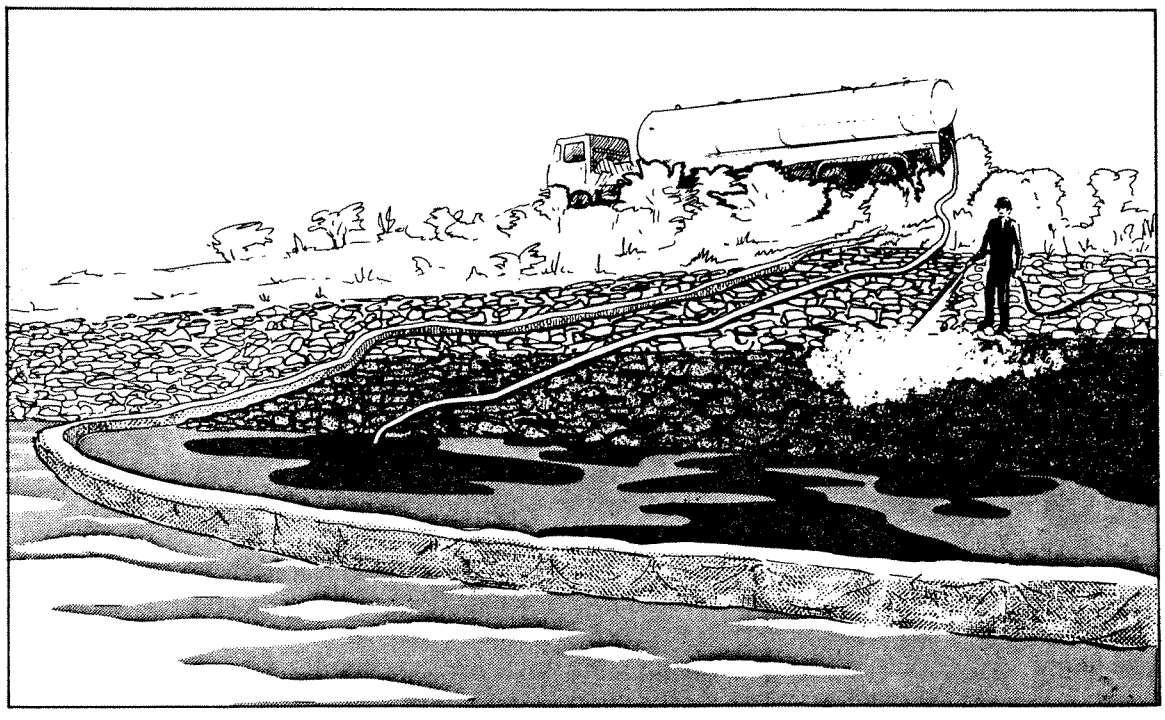


Figura 1. *El hidrocarburo es lavado de un terraplén de piedras hacia una barrera para ser recuperado por un camión de vacío.*

Efectos Adversos

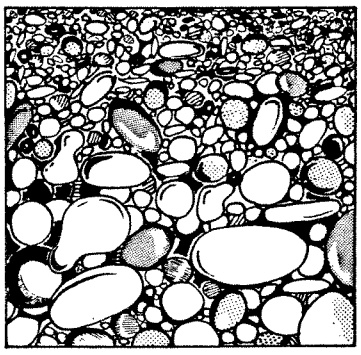
Mientras que la mayoría de las plantas y animales marinos pueden sobrevivir al efecto de una sola contaminación, cualesquiera de los métodos descritos anteriormente destruirían la mayor parte de la biota marina. También pueden ocurrir daños físicos a las superficies tratadas . Estos métodos deben ser reservados para áreas donde hay acceso fácil y donde el público quizás entre en contacto con el hidrocarburo de no tomarse alguna medida.

Dispersantes

El uso de dispersantes a veces ayuda a la remoción del hidrocarburo aunque estos deben estar restringidos a las áreas donde el movimiento del agua permita su rápida dilución evitando daños a la fauna marina susceptible. En algunos casos, y particularmente en los de hidrocarburos más viscosos, el dispersante simplemente actúa desprendiendo el hidrocarburo de la superficie y no provoca dispersión. En tales casos se deben hacer todos los esfuerzos posibles para recoger este hidrocarburo y evitar la recontaminación .

Limpieza de Manchas

Las manchas a veces pueden ser limpiadas con cepillo frotando dispersante sobre el hidrocarburo o aplicándolo como un gel y luego lavando la mezcla de hidrocarburo/dispersante con chorros de agua. En esta estapa de la limpieza el hidrocarburo formará películas muy delgadas de manera que sólo se requerirán de aplicaciones muy ligeras.



Cantos, Guijarros y Cascajos

Etapa I

Penetración del Hidrocarburo

Este tipo de costa es probablemente la más difícil de limpiar bién porque la mayor parte del hidrocarburo habrá penetrado hacia lo más profundo del sustrato a través de los espacios entre las piedras. La primera etapa de limpieza de este tipo de costa sigue lineamientos similares al anterior: bombeo del hidrocarburo líquido donde sea posible o limpieza a mano. Las características de soporte malo de estas playas pueden dificultar el movimiento tanto de los vehículos como del personal.

Etapas II y III

Lavado con Agua a Alta Presión

El agua a alta presión puede ser utilizada para lavar el hidrocarburo de la superficie hacia la orilla del mar pero parte del hidrocarburo también será incorporado a la playa. Los hidrocarburos de baja viscosidad pueden ser lavados de entre las piedras y el uso de dispersantes a veces puede aumentar la eficacia del lavado. Inevitablemente parte del hidrocarburo penetrará aún más en la playa después de que las piedras de la superficie hayan sido lavadas. Esto filtrará lentamente como brillos a lo largo de un período de varias semanas o más.

Remoción de las Piedras

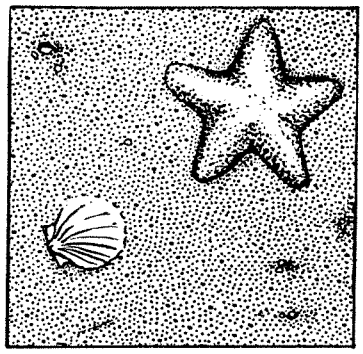
La remoción de las piedras manchadas pocas veces será práctico y por lo general sólo será posible si se utilizan palas mecánicas. La remoción de piedras sólo debe ser considerada si existe la certeza de que no causará una erosión grave de la playa y que será posible eliminar el material.

Recubrimiento

Otro enfoque que puede ser utilizado en localidades sujetas a tormentas invernales fuertes, es el de cubrir el área manchada con piedras de una zona más arriba de la playa, para proporcionar así una superficie limpia durante el verano para aquellos que utilizan la playa como zona recreacional. Ocurrirá cierto curtido durante el verano debido a las temperaturas veraniegas y entonces durante el reordenamiento natural de la playa que ocurre en el invierno, el hidrocarburo se descompondrá y dispersará. Este método sólo puede ser considerado donde la playa tenga una contaminación moderada y no es apropiado para playas compuestas por material más fino ya que el hidrocarburo tiende a migrar de nuevo a la superficie. El perfil de la playa también puede quedar permanentemente alterado y debilitadas las defensas naturales.

Limpieza Natural

Un método de limpiar la película grasosa que a menudo persiste sobre las piedras después de su limpieza es el de empujar la capa superior de estas hacia el mar, donde la acción abrasiva de las olas las limpiará rápidamente. Sin embargo, esto obviamente no es apropiado si quedan expuestas las piedras de las capas inferiores. También debe considerarse que puede tomar varios años antes de que el perfil de una playa de cantos quede restaurado, ya que es necesario un oleaje vigoroso para que los cantos de ese tamaño regresen hacia la parte superior de la playa.



Playas Arenosas

Etapa I

Alta Prioridad

Con frecuencia las playas arenosas son consideradas como recursos recreacionales valiosos y se les dá prioridad de limpieza. Por otra parte, los bancos de arena intermareales a menudo son biológicamente productivos e importantes para las pesquerías comerciales. Las consideraciones ambientales pueden entonces dictar la selección de los métodos que probablemente causen el menor daño adicional, tales como los descritos más adelante para las costas pantanosas.

Equipo mecánico vs métodos manuales

Las playas recreacionales a menudo tienen buen acceso aunque en algunas costas tendrán que ser construídas vías temporales para permitir el paso de la maquinaria pesada hacia la playa. Mientras que el grueso del hidrocarburo puede ser removido de las playas arenosas con relativa facilidad, el deseo de limpiarlas rápidamente a veces causa dificultades. En un derrame masivo, debe establecerse un equilibrio entre la velocidad a la cual grandes cantidades de hidrocarburo pueden ser recogidas utilizando maquinaria pesada y el incremento en la contaminación del sustrato de la playa. Esto es determinado en gran medida por el tipo de playa. Las playas de arena gruesa con frecuencia no pueden soportar vehículo alguno sin que las ruedas o huellas se hundan en la arena haciendo que el hidrocarburo se mezcle aún más en la playa. Peor aún, los vehículos en la playa pueden quedar atascados con el peso de la carga.

Métodos Manuales

Los métodos manuales deben utilizarse donde no exista acceso para vehículos ni sustrato firme en la playa, o si está demasiado lejos para que las bombas o las mangueras de succión lleguen a la orilla del agua. El hidrocarburo así como los sorbentes y desperdicios manchados pueden ser recolectados en bolsas plásticas resistentes u otros recipientes y transportados hacia la parte superior de la playa, por encima de la línea de agua.

Niveladoras y Palas Mecánicas

Las playas llanas y de sustrato compacto pueden sopartar vehículos pesados tales como niveladoras y palas mecánicas. La hoja de la niveladora se gradúa de manera que pase justo por debajo de la superficie de la playa y el hidrocarburo y la arena son acumulados en hileras paralelas a la costa (Figura 2). Idealmente, la niveladora debe comenzar por la parte limpia de la playa y trabajar hacia arriba. Esto quizás tenga que ser modificado dependiendo del patrón de contaminación, estado de la marea y si la arena es suelta o compacta. El hidrocarburo acumulado es luego recogido con palas mecánicas. El trabajo puede realizarse sólo con palas mecánicas, aunque la cantidad de arena recogida será inevitablemente mayor. En todo caso, debe tenerse cuidado de asegurar que la remoción excesiva de arena no cause erosión de la playa.

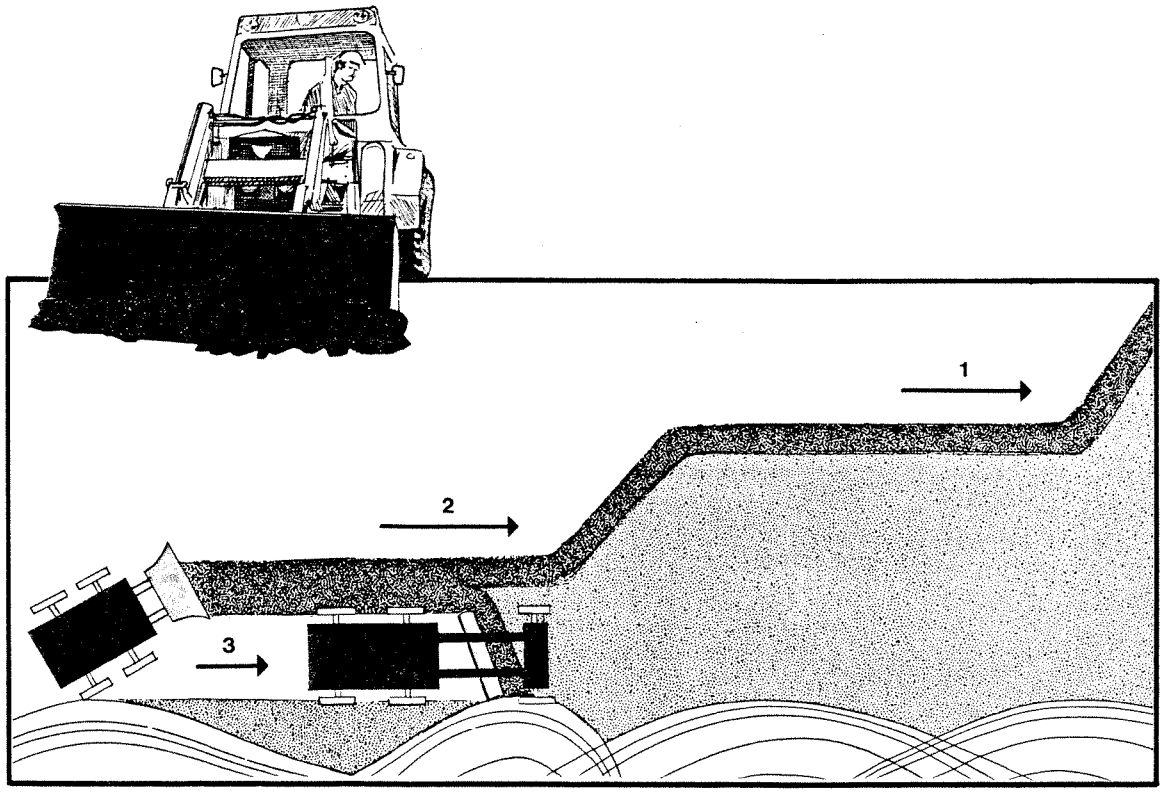
Etapa II

Proporción de Hidrocarburo: Arena

La arena y desperdicios moderadamente contaminados se limpian mejor de las playas arenosas con cuadrillas de hombres trabajando conjuntamente con palas mecánicas, utilizándose estas últimas sólo para el transporte del material recolectado a los puntos temporales de almacenamiento en la parte superior de la playa. Por lo general, una persona recoge entre 1y 2 m^3 por día utilizando este método. Las palas mecánicas y otra maquinaria pesada pueden recoger la arena manchada directamente en una medida entre 100 – 200 m^3/día/maquina. Sin embargo, como regla general, el contenido de hidrocarburo de la arena recogida por las máquinas es de sólo 1 a 2%, mientras que el recogido manualmente contiene 5 a 10% de hidrocarburo. Esto es debido a que la maquinaria pesada tiende a mezclar el hidrocarburo con la arena y es menos selectiva en lo que recoge, con el resultado de que se recoge por los menos tres veces más arena en comparación con los métodos manuales.

Recolección Metódica

Para hacer el uso más eficiente de cada pala mecánica, las cuadrillas de limpieza deben recoger la arena manchada y formar pilas o sino llenar tambores de 200 litros colocados a intervalos a lo largo de la playa. Para evitar que el hidrocarburo se esparza hacia la parte superior de la playa, la pala mecánica debe trabajar lo más cerca posible del comienzo de la zona no contaminada. Los vehículos equipados con cauchos de baja presión son por lo general más adecuados que los vehículos de carril.



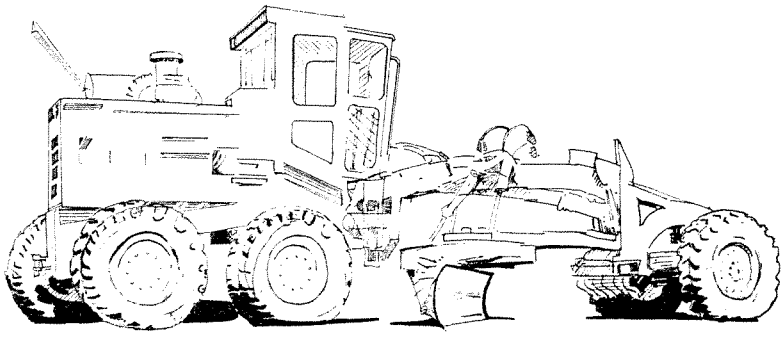


Figura 2. *Una niveladora es utilizada sistemáticamente en una playa con contaminación uniforme para concentrar el hidrocaburo en hileras y su posterior recolección por una pala mecánica para traslado a un depósito temporal.*

Donde no exista la posibilidad de hacer llegar vehículos hasta la playa, la arena contaminada deberá ser llevada de la playa en bolsas plásticas. Son adecuadas las bolsas resistentes tales como las utilizadas para fertilizantes. No deben llenarse por completo debido a la dificultad de llevarlas a través de la arena blanda. Se puede construir una camilla sencilla transportada por dos hombres para cargar las bolsas (Figura 3). Las bolsas plásticas expuestas al sol directo por más de 10 días comenzarán a deteriorarse por lo que no debe demorarse la eliminación de dichas bolsas.

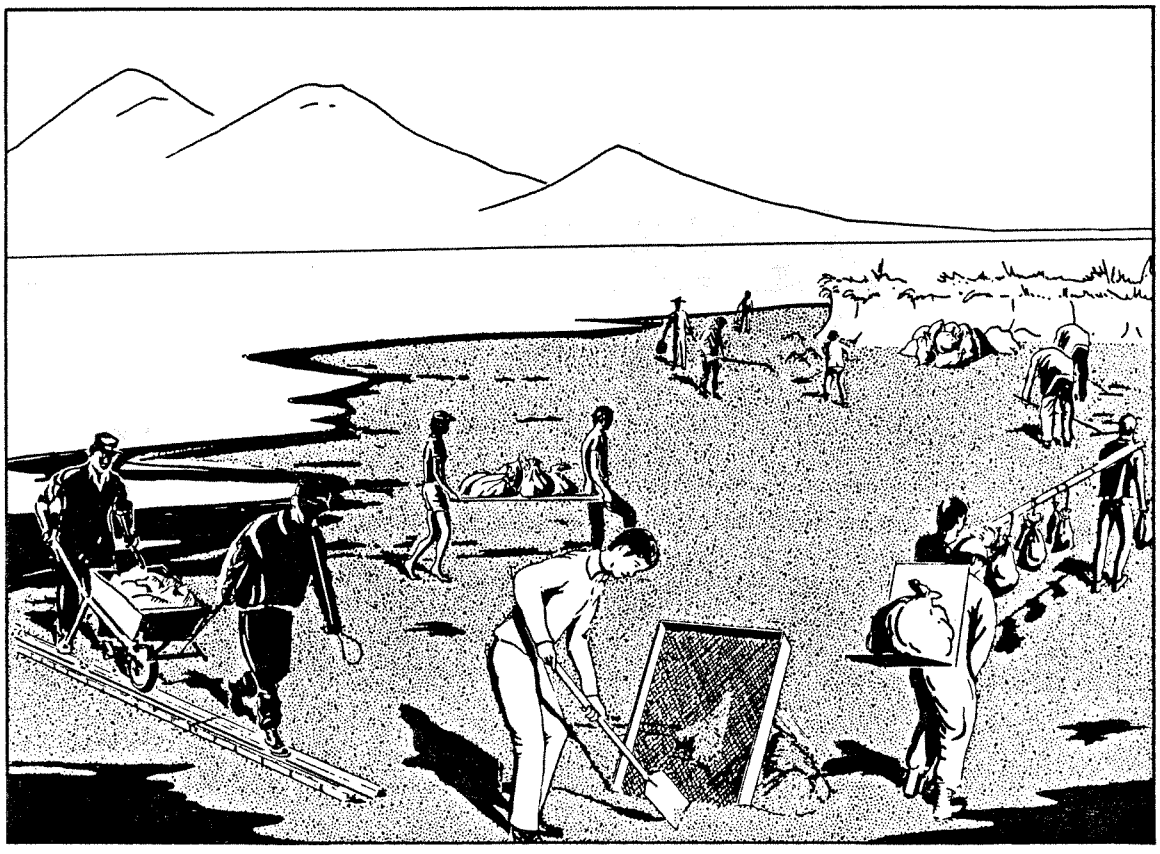


Figura 3. *Limpieza de una playa moderadamente contaminada utilizando métodos manuales.*

Etapa III

Dispersantes

Después de que la mayor parte del material de playa contaminado ha sido recogido, es probable que el restante sea grasoso y descolorido. Generalmente no estará lo suficientemente limpio para una playa recreacional y será necesaria una etapa final. Pueden utilizarse dispersantes, aplicados por morrales, vehículos agrícolas o aeronaves. El dispersante debe permanecer en contacto con la playa contaminada durante 30 minutos antes de que sea lavado por la marea alta. En regiones donde no hay cambios de marea o en áreas sin suficiente oleaje, será necesario el lavado con chorros de agua para lograr una buena dispersión.

Arado

Otro método particularmente apropiado para playas ligeramente contaminadas es el de arar o escarificar periódicamente la zona de la playa afectada en la marea baja. El hidrocarburo se mezclará entonces con un volumen mayor de arena y se verá expuesto con más frecuencia a los procesos de curtido por la intemperie.

Inundación

La arena gruesa puede ser liberada del hidrocarburo pasando grandes volumenes de agua a través de secciones de la playa. Se pasa agua de mar a través de una bomba de alta capacidad y se distribuye a través de una serie de mangueras a baja presión. Al dirigir el agua hacia un área pequeña de la playa el hidrocarburo flotará y podrá ser lavado hacia la orilla del agua para ser recogido. El método es lento y está limitado al tratamiento de pequeñas áreas.

Máquinas para limpieza de playas

El material que queda después de la limpieza de playas de arena seca por lo general tiene forma de pequeños nódulos de arena contaminada de hasta 50mm en diámetro. Estos junto con los grumos de alquitrán empujados hasta la línea de agua superior pueden ser recogidos utilizando máquinas para limpiar playas que rozan la superficie de la playa y pasan la arena a través de una serie de tamices que vibran o rotan (Figura 4). Los grumos manchados son retenidos dentro del vehículo mientras que la arena limpia cae de nuevo a la playa. Tales máquinas fueron originalmente diseñadas para la recolección general de desperdicios en la playa.

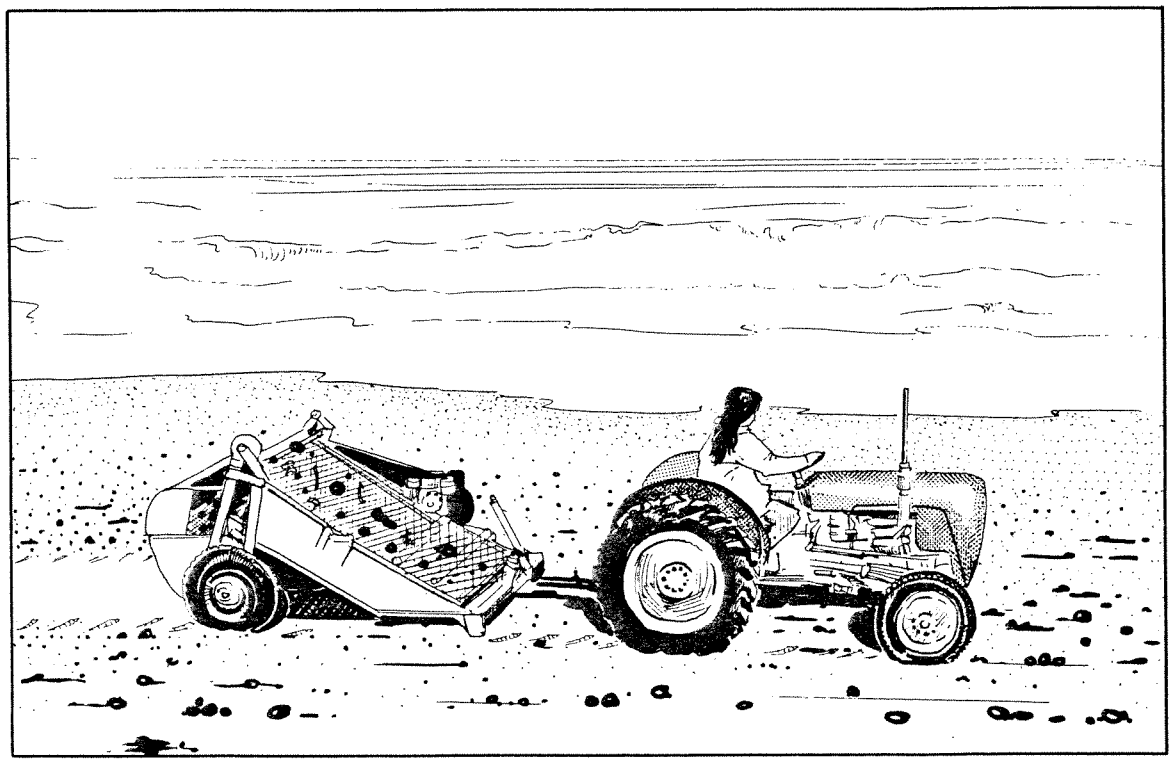


Figura 4. *Dispositivo para limpieza de playas movilizado por un tractor para la recolección de grumos de alquitrán y desperdicios.*

Relleno con arena

Si el derrame coincide con la época de turismo puede que sea necesario reacondicionar la playa a su estado original en el menor tiempo posible. Se puede traer arena limpia de otros sitios y esparcirla sobre la arena que tenga algún remanente de hidrocarburo. En la medida de lo possible esta arena limpia debe tener el mismo tamaño de grano que el material natural de manera que no altere las características físicas y biológicas de la playa. De utilizarse una arena más fina existe el riesgo de que el agua se la lleve demasiado rápidamente. Cuando se tenga notificación con suficiente antelación de la llegada de un derrame a la playa puede ser aconsejable mover parte de la arena por encima de la línea de marea alta. Esta material podrá ser entonces repuesto después de la limpieza.

Remoción previa de la arena

Costas Pantanosas

Daño ocasionado por el hidrocarburo vs daño ocasionado por la limpieza

Siempre que sea posible es preferible dejar que el hidrocarburo que llegue a este tipo de costas se degrade naturalmente, en especial en los lugares donde haya contaminado la vegetación. A menudo se ha visto que las actividades que debían limpiar la contaminación han resultado en un dano mayor que el ocasionado por el hidrocarburo mismo debido al daño físico y la erosión del sustrato (Figura 5).

Lavado con agua a baja presión Poda de la vegetación

La vegetación de los pantanos a menudo sobrevive a una sola contaminación y en varios casos se ha observado que crecen nuevas plantas a través de una cubierta de hidrocarburo. Donde la remoción del hidrocarburo sea esencial para evitar que se traslade a otro sitio se pueden utilizar chorros de agua a baja presión para escurrirlo hacia aguas abiertas donde pueda ser contenido dentro de una barrera para su posterior recolección. Esta técnica se realiza mejor si se dirigen los chorros desde el agua en embarcaciones de poco calado. Si las poblaciones de aves se ven amenazadas, puede considerarse la poda y remoción de la vegetación, pero esto debe ser sopesado contra el daño a largo plazo ocasionado por el pisoteo de la vegetación.

Manglares

Consideraciones similares son aplicables a los manglares. Donde los árboles sean particularmente densos y exista un alto riesgo de que el hidrocarburo sea arrastrado más adentro hacia las arenas del manglar, puede que sea necesario remover parte de la vegetación para permitir el acceso y de manera que el hidrocarburo pueda ser lavado. Esto puede evitar la destrucción de manglares en un área más amplia pero debe tenerse en cuenta que esto acarreará un daño local, y es probable que la recuperación sea lenta.

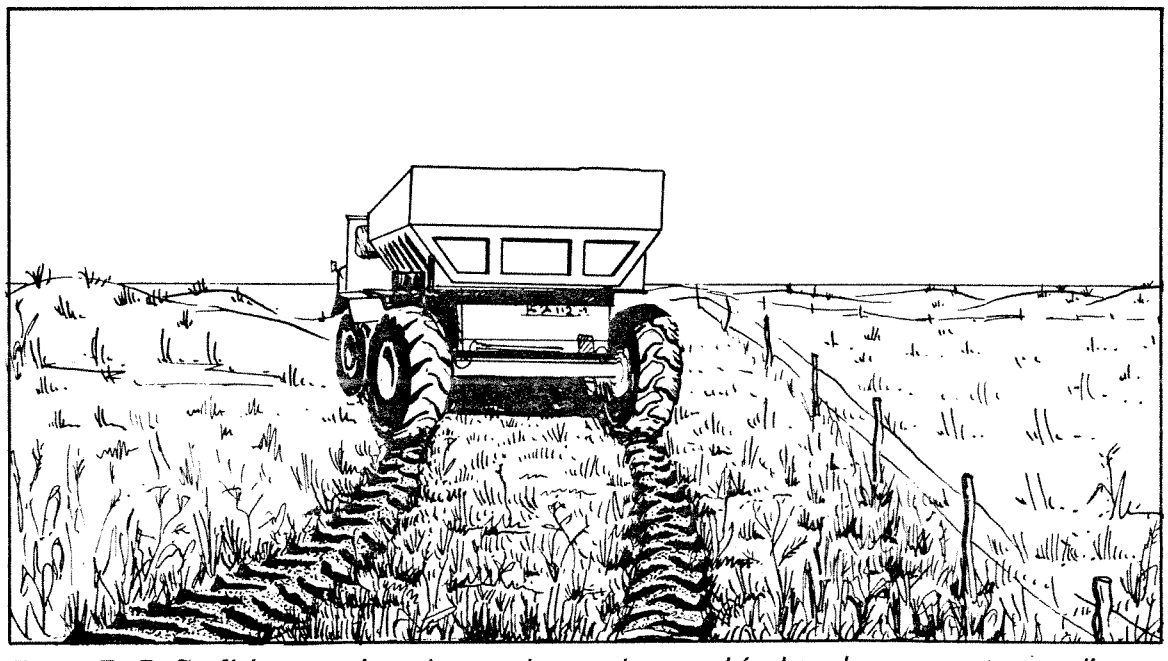


Figura 5. *Daño físico ocasionado por el paso de un vehículo sobre un pantano salino.*

ORGANIZACION

Distribución del trabajo

La organización adecuada de la fuerza hombre encargada de la limpieza de la costa afectada es vital para el éxito de la operación. Esto se puede lograr mediante la división de la costa afectada en áreas pequeñas y puede ser aconsejable relacionar estas divisiones según el tipo de costa. Se asigna un supervisor a cada área con la fuerza hombre dividida en cuadrillas (Figura 6). A cada equipo se le asigna la limpieza de una sección de la playa en base a la cantidad de material que cada persona puede recoger en un día; por ejemplo, en una playa arenosa 1-2 m^3/día. El personal tendrá entonces la satisfacción de completar la tarea de cada día y observar el progreso que ha hecho, mientras que la playa es limpiada metódicamente sector por sector. Una cuadrilla debe estar compuesta por unas diez personas y un jefe y cada supervisor debe ser responsable por unas diez cuadrillas. Aunque en principio las estructuras de comando militar se prestan bien para este tipo de operación, tiende a dar por resultado que las cuadrillas son demasiado grandes requiriendo alguna modificación. En costas de marea el trabajo debe ser organizado de manera que coincida con el ciclo de marea, con períodos de descanso y alimentación durante la marea alta. El trabajo nocturno por lo general es ineficiente aún cuando se disponga de iluminación apropiada.

Cuadrillas pequeñas

Horario de trabajo

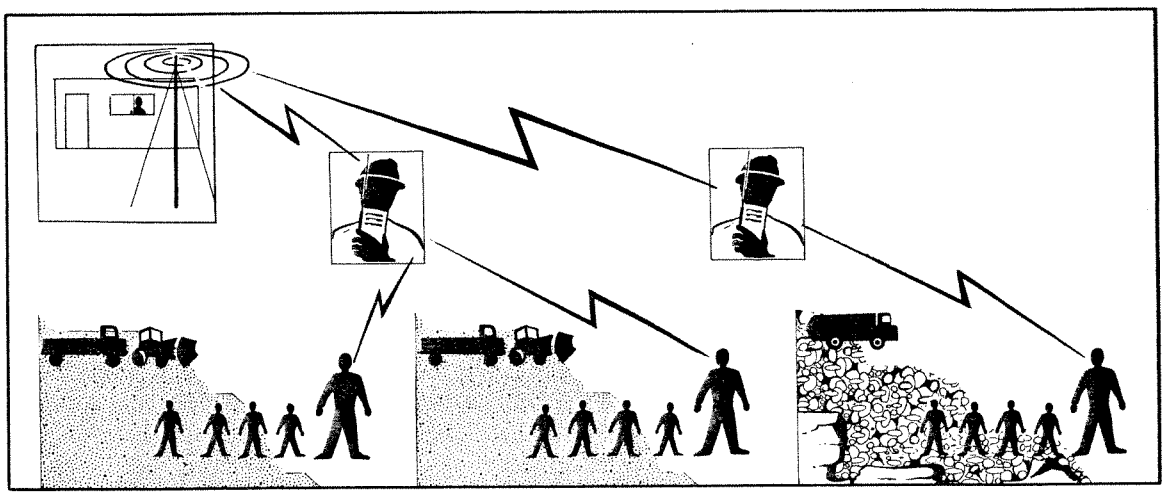


Figura 6. *Diagrama esquemático de la organización y líneas de comunicación entre el puesto de comando, supervisores y cuadrillas de limpieza de costas.*

Control de Vehículos

El equipo debe ser organizado de manera que complemente la fuerza hombre. Los vehículos que trabajan en la playa deben limitarse al área de trabajo mientras que los camiones de gran capacidad que transportan el material recolectado hacia los lugares de almacenamiento o eliminación deben quedarse fuera de la playa para mantener separadas las áreas limpias de las contaminadas. Esto no sólo limita el número de vehículos en la playa sino que también ayuda a reducir la cantidad de hidrocarburo transferido directamente desde las playas hacia las vías de acceso. El manchado de las carreteras puede ser evitado forrando los camiones con plástico.

Control del tráfico

El acceso a ciertas zonas de trabajo tendrá que ser restringido para minimizar el daño a las dunas de arena y defensas naturales del mar. El tráfico alrededor del lugar de trabajo debe estar controlado de manera que los camiones puedan moverse sin obstáculos. También puede requerirse la presencia de la policía para cerrar el acceso a la playa y caminos a fin de velar por la seguridad del público, especialmente donde se utilicen vehículos pesados.

Preparación de registros

Deben mantenerse registros diarios de la fuerza hombre y equipos empleados en cada área, ya que estos son esenciales para la preparación posterior de los reclamos por compensación. El mantenimiento de un registro al mismo tiempo de las cantidades de hidrocarburo y desperdicios recogidos permite que se evalúe fácilmente el progreso. Además de los informes escritos, el estado de cada área de trabajo y la ubicación de la fuerza hombre y equipo pueden ser convenientemente señalados en un mapa a gran escala.

ELIMINACION DEL HIDROCARBURO Y DESPERDICIOS

Idealmente, la mayor cantidad posible del hidrocarburo recolectado debería ser procesado a través de una refinería o planta de reciclaje de hidrocarburo. Desafortunadamente, esto pocas veces es posible debido al curtido del hidrocarburo y la contaminación con desperdicios, de manera que por lo general se requiere de algún otro tipo de eliminación. Esto incluye: vaciado directo, estabilización para utilización en recuperación de tierra o construcción de caminos secundarios, y destrucción mediante procesos biológicos o incineración. La opción de eliminación escogida dependerá de la cantidad y tipo de hidrocarburo y desperdicios, la ubicación del derrame, las consideraciones ambientales y legales y el costo probable que resulte.

Tipo y Naturaleza del Hidrocarburo y Desperdicios Manchados

Hidrocarburos flúidos

Por regla general, sólo los derrames de hidrocarburo persistente tales como crudo, grados pesados de combustible y algunos lubricantes requieran posiblemente de tratamiento y eliminación, ya que por lo general la limpieza de los hidrocarburos no persistentes no es necesaria. Si el hidrocarburo puede ser recogido poco después del derrame, es probable que todavía permanezca flúido y relativamente libre de contaminación. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el hidrocarburo recogido será viscoso como consecuencia del curtido por la intemperie. El hidrocarburo recogido del agua probablemente esté libre de desperdicios sólidos pero quizás contenga grandes cantidades de agua en forma de emulsión. Por otra parte, el hidrocarburo varado en las costas normalmente viene acompañado de grandes cantidades de sólidos y es difícil separarlo de manera que sea adecuado para su reciclaje. Los tres tipos principales de desechos que pueden ser recogidos de la costa son:

Desechos sólidos

hidrocarburo mezclado con arena, hidrocarburo mezclado con madera, plástico o algas marinas y grumos sólidos de alquitrán. Cada uno puede requerir de un método diferente de tratamiento y eliminación (Figura 2).

Almacenamiento y Preparación para la Eliminación

Almacenamiento temporal

Los grandes volúmenes de material que requieren de eliminación posterior a la limpieza a menudo presentan problemas considerables de manejo y transporte. Por lo general es necesario almacenar el material temporalmente para proporcionar un intervalo entre la recolección y la eliminación final y así disponer de tiempo para seleccionar el método de eliminación apropiado. En el caso del material resultante de la limpieza de costas, el almacenamiento temporal en la parte de atrás de la playa también permite que el transporte sea dividido en dos etapas: de la playa a un almacenamiento temporal y un tiempo después, del almacenamiento temporal al punto final de eliminación.

Hidrocarburos viscosos

En la medida de lo posible, el grueso del hidrocarburo debe ser almacenado separado de los desperdicios manchados de manera que puedan llevarse a cabo diferentes tratamientos. Siempre y cuando el hidrocarburo sea bombeable a temperatura ambiente, puede almacenarse en tanques cerrados. Sin embargo, debe tenerse cuidado al almacenar grandes cantidades de materiales más viscosos, especialmente si los tanques no están provistos de serpentines para calentamiento, ya que puede resultar difícil vaciarlos. Es preferible almacenar los hidrocarburos altamente viscosos en recipientes abiertos tales como gabarras, cajones o tambores para facilitar las operaciones de tratamiento y traslado.

Fosos de almacenamiento

Si no se dispone de recipientes especiales para este propósito, el hidrocarburo recogido de las costas a menudo puede ser contenido dentro de paredes de tierra compactada o simples fosos forrados de polietileno (o cualquier otro material adecuado). Se recomiendan fosos de almacenamiento largos y estrechos de aproximadamente 2 m de ancho y 1.5 m de profundidad (Figura 7). De existir la posibilidad de lluvias fuertes, los fosos no deben ser llenados por completo para asegurar que no se rebasen.

Reacondicionamiento de las áreas de almacenamiento

Donde sea necesario almacenar grandes cantidades de hidrocarburo en áreas susceptibles tales como dunas de arena, es importante evitar daños a la vegetación estabilizante ya que esto podría causar erosión. Los fosos deben ser rellenados después de la remoción total del hidrocarburo, y en lo posible, el área debe ser reacondicionada a su estado original.

Tabla 2: OPCIONES PARA LA SEPARACION Y ELIMINACION DEL HIDROCARBURO Y DESPERDICIOS

	Tipo de Material	*Métodos de Separación*	*Métodos de Eliminación*
LIQUIDOS	— Hidrocarburos no emulsificados	– Separación por gravedad del agua libre	– Utilización del hidrocarburo como combustible o combustibles para refinería
	— Hidrocarburos emulsificados	– Tratamiento de la emulsión para liberar el agua por: – tratamiento con calor – químicos para descomponer emulsiones – mezclado con arena	– Utilización del hidrocarburo como combustible o combustible para refinería – Quemado – Regreso de la arena separada al punto de origen
SOLIDOS	— Hidrocarburo mezclado con arena	– Recolección del hidrocarburo líquido que filtre de la arena durante el almacenamiento temporal – Remoción del hidrocarburo de la arena por lavado con agua o solventes – Remoción de los sólidos por tamizado	– Utilización del hidrocarburo recuperado como combustible o combustible para refinería – Eliminación directa – Estabilización con material inorgánico – Degradación mediante compostaje o técnicas de compost – Incineración
	— Hidrocarburo mezclado con cantos, piedras o cascajo	– Recolección del hidrocarburo líquido que filtre del material de playa durante el almacenamiento temporal – Remoción del hidrocarburo del material de playa por lavado con agua o solvente	– Eliminación directa – Incineración
	— Hidrocarburo mezclado con madera, plásticos, algas y sorbentes	– Recolección del hidrocarburo liquido que filtre de los desperdicios durante el almacenamiento temporal – Lavado con agua del hidrocarburo adherido a los desperdicios	– Eliminación directa – Incineración – Degradación mediante compostaje o técnicas de compost para hidrocarburo mezclado con algas c sorbentes naturales
	— Grumos de alquitrán	– Separación de la arena por tamizado	– Eliminación directa – Incineración

Bolsas plásticas

Las bolsas plásticas deben ser consideradas como un método de transporte para material manchado y no como un tipo de almacenamiento, ya que estas tienden a deteriorarse rápidamente bajo los efectos del sol, vaciando su contenido. También debe tenerse presente, que si el contenido debe recibir algún tratamiento previo a su eliminación, por lo general será necesario vaciar las bolsas y eliminarlas por separado.

Técnicas de separación

El transporte del material manchado recuperado puede resultar costoso y junto con la eliminación, los costos pueden exceder los de recolección. Por lo tanto es conveniente reducir la cantidad de material a ser transportado separándolo del agua y de la arena durante el almacenamiento temporal. Las emulsiones de agua en hidrocarburo pueden ser separadas para liberar el agua; el hidrocarburo que se filtra del material de playa y los desperdicios acumulados pueden ser recogidos en un foso que rodée el área de almacenamiento; y pueden emplearse técnicas de tamizado para separar los grumos de alquitrán de la arena.

Figura 7. *Foso forrado de plástico para el almacenamiento temporal de mezclas de hidrocarburo/agua.*

Opciones de Eliminacion

Recuperación del Hidrocarburo

Refinerías

Criterio de calidad

Almacenamiento intermedio

Bajo determinadas circunstancias puede ser posible recuperar el hidrocarburo para el procesamiento eventual o mezcla con combustibles. Esta siempre debe ser la primera opción a considerar. Los posibles receptores para el procesamiento o mezcla son las refinerías, los contratistas que se especialicen en el reciclaje de desechos de hidrocarburo, centrales eléctricas y fábricas de cemento y ladrillo. Sin embargo, la calidad del hidrocarburo debe ser alta, ya que la mayoría de las plantas sólo pueden operar con combustibles que cumplan con especificaciones precisas. Por ejemplo, para el procesamiento en una refinería, el hidrocarburo debe ser bombeable, bajo en contenido de sólidos y con un contenido de sales de menos de 0.1% o menor a 0.5% para la mezcla con combustible de hidrocarburo. Los desperdicios pequeños pueden ser removidos pasando el hidrocarburo a través de un tamiz de malla de alambre. Asumiendo que el hidrocarburo sea adecuado para el reciclaje, es probable que los refinadores potenciales u otros usuarios no dispongan de mucho espacio de almacenamiento o capacidad de procesamiento y puede que se requiera de un almacenamiento intermedio. Las estaciones de lastre de tanqueros y recepción de residuos de crudo pueden ser adecuadas para este efecto, pero también pueden tener una capacidad adicional limitada.

Separación por gravedad

El hidrocarburo recogido del agua es probablemente el más fácil de preparar para el procesamiento ya que por lo general sólo será necesario separarlo del agua. Frecuentemente esta separación puede ser lograda por gravedad, bien sea en dispositivos de recolección tales como camiones cisterna o en tanques portátiles, donde el agua es vaciada o bombeada del fondo del tanque.

Emulsiones

Separación por calor

Químicos para la descomposición de emulsiones

La extracción del agua de las emulsiones de agua en hidrocarburo (mousse) es a veces más difícil. Las emulsiones inestables por lo general pueden ser separadas por calentamiento hasta unos 80°C permitiendo que el hidrocarburo y el agua se separen por gravedad. En los climas cálidos, el calor del sol puede ser suficiente. Las emulsiones más estables pueden requerir del uso de compuestos químicos para descomponer una emulsión o de-emulsificantes que también tienden a reducir la viscosidad de la mayoría de los hidrocarburos haciéndolos más bombeables. No existe ningún compuesto químico adecuado para todos los tipos de emulsión y puede ser necesario realizar pruebas en el sitio para determinar cual es el agente más efectivo y la dosis óptima. Sin embargo por lo general una dosis tipo se encuentra en el rango de 0.1-0.5% del volumen total a ser tratado. El tratamiento se realiza mejor durante la transferencia de la emulsión desde el recipiente recolector hacia un tanque, o de un tanque a otro para asegurar un buen mezclado y por lo tanto la dosis mínima. El químico para descomponer emulsiones puede ser inyectado en el lado de entrada de una bomba o a un mezclador estático en línea acoplado a una toma de succión (Figura 8). Después de la separación, la fase de agua contendrá la mayor parte del de-emulsificante y hasta un 0.1% de hidrocarburo por lo que deberá tenerse cuidado con la eliminación de ésta.

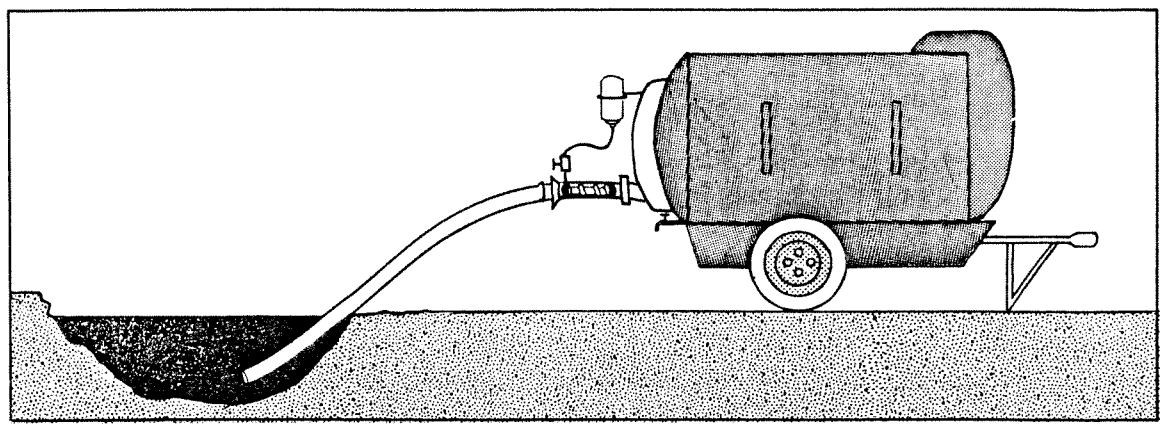


Figura 8. *Tanque de vacío al cual se le ha acoplado un dispensador para la introducción de un químico que descompone las emulsiones hacia un mezclador estático acoplado a la manguera de succión.*

Mezclado con arena

Los experimentos han asomado que las emulsiones pueden ser parcialmente descompuestas al mezclarlas bien con agua en maquinaria estándar tal como una mezcladora de concreto. Si una emulsión con 70% de agua es mezclada con un 50% de volumen de arena, el contenido de agua puede ser reducido a la mitad y devuelto a la playa junto con arena limpia separada.

Recuperación a partir del material de playa

En ciertos casos, se puede recuperar hidrocarburo a partir del material de playa contaminado. Esto por lo general requiere el lavado del material de playa manchado con agua, a veces junto con un solvente adecuado tal como diesel para liberar el hidrocarburo. Puede emplearse el lavado con agua utilizando mangueras a baja presión en un foso temporal de almacenamiento para aflojar y desprender el hidrocarburo de los desechos contaminados. La mezcla de agua/hidrocarburo resultante puede entonces ser bombeada y separada por gravedad. También puede lograrse la separación en un sistema cerrado utilizando agua o solvente. Se han desarrollado dispositivos basados en una serie de equipos de fácil obtención, desde mezcladoras de cemento para operaciones a pequeña escala hasta equipo para el procesamiento de minerales para el tratamiento contínuo a gran escala. Aunque estos sistemas han resultado existosos durante las pruebas, no han sido ampliamente utilizados en los incidentes de derrame. El costo de limpieza in situ de grandes cantidades de material de playa contaminado puede ser menor en comparación con los métodos que requieren el transporte del material a cierta distancia de la costa para su eliminación posterior.

Eliminación Directa

Rellenos de tierra

Una alternativa de eliminación comunmente adoptada cuando la recuperación del hidrocarburo no es práctica es el vaciado para relleno de tierras. Los materiales destinados para el relleno deben tener un contenido máximo de un 20% de hidrocarburo. Los sitios deben estar localizados lejos de estratos con fisuras o porosos para evitar el riesgo de la contaminación del agua subterránea, especialmente si la misma es extraída para usos domésticos o industriales. Las canteras y minas abandonadas son también frecuentemente sitios ideales.

Eliminación junto con desechos domésticos

La eliminación del hidrocarburo junto con los desechos domésticos a menudo es un método aceptable aunque la degradación del hidrocarburo es lenta debido a la falta de oxígeno. Sin embargo el hidrocarburo parece ser firmemente absorbido por todos los tipos de desechos domésticos con poca tendencia a filtrarse. Los desperdicios manchados deben ser depositados encima de por lo menos 4 m de desechos domésticos bien sea en franjas superficiales de 0.1 m de espesor o en hileras de 0.5 m de profundidad para permitir el libre drenaje de agua. El material contaminado debe ser cubierto por un mínimo de 2 m de desechos domésticos para evitar el resurgimiento del hidrocarburo hacia la superficie al ser comprimido por los vehículos en la zona. La cantidad total de hidrocarburo no debe exceder el 1.5% del volumen total del sitio.

Enterrado en la playa

En el caso de costas ligeramente contaminadas con desperdicios manchados o grumos de alquitrán, puede que sea posible enterrar el material recolectado en la parte de atrás de la playa bien por encima de la marca de la marea alta, siempre y cuando no exista riesgo de daños a la vegetación o que el hidrocarburo pueda quedar desenterrado por la erosión normal de la playa. Una cubierta de por lo menos un metro debería ser suficiente.

Estabilización

Agentes aglutinantes

Una sustancia inorgánica tal como la cal viva (oxido de calcio) puede ser utilizada para aglutinar arena manchada siempre y cuando no contenga grandes trozos de desperdicios. Se forma así un producto inerte evitando que el hidrocarburo se filtre. El material estabilizado puede entonces ser eliminado bajo condiciones menos estrictas que la arena contaminada no estabilizada y también puede ser utilizado para relleno de tierras y construcción de caminos, donde no se requieran de propiedades muy altas de soporte. Si el material va a ser usado para la construcción, es esencial que sea compactado utilizando equipo para construcción de carreteras.

Otros materiales

Aunque hasta el momento parece que la cal viva es el mejor agente aglutinante, quizás se puedan utilizar otros materiales tales como el cemento y ceniza de combustible pulverizada de instalaciones de carbón. También existen una serie de productos comerciales que se basan en la misma materia prima pero que han sido tratados para mejorar su eficiencia. Hasta la fecha la experiencia práctica en derrames demuestra que estos no son tan convenientes desde el punto de vista de costo como las materias primas no tratadas. Una ventaja de la cal viva sobre otros materiales es que el calor generado por su reacción con el agua en los desechos reduce la viscosidad del hidrocarburo lo cual facilita su absorción. Evidentemente la conveniencia de esta técnica depende de una disponibilidad suficiente del material estabilizante cerca del lugar del derrame. La cal viva por lo general es obtenida en las fábricas de cemento.

Cal riva

Cantidades requeridas

La cantidad óptima de agente aglutinante requerida depende principalmente del contenido de agua del desecho, más que de la cantidad de hidrocarburo y es mejor determinada experimentalmente. Por regla general, para la cal viva la cantidad requerida está entre 5% y 20% por peso del total del material a ser tratado. El tratamiento puede llevarse a cabo utilizando bien sea una planta mezcladora o una técnica de colocación en capas. Mientras que la primera ofrece un mejor control de calidad y necesita menos área de tierra, requiere de la utilización de maquinaria costosa incluyendo un mezclador cilíndrico contínuo. Las cantidades menores pueden ser tratadas en un proceso de lote utilizando mezcladoras corrientes de concreto. Siempre que haya suficiente tierra disponible cerca del lugar del derrame, la técnica de mezclado por capas probablemente sea la más efectiva desde el punto de vista de costo. El desecho es esparcido hasta una profundidad de unos 0.2-0.3 m y la cal es incorporada utilizando una mezcladora pulverizadora.

Mezclado o colocación en capas

Mezclado en dos etapas

En ciertos casos puede ser preferible realizar un mezclado inicial en fosos situados en el lugar del derrame para que el material esté en un estado más adecuado para su transporte. El tratamiento final puede realizarse en una instalación de recepción mayor utilizando equipo especializado. Inevitablemente, esta técnica produce una gran cantidad de polvo corrosivo y, de ser posible, el sitio de tratamiento debe ser seleccionado de manera de minimizar su esparcimiento hacia propiedades adyacentes. También es importante que el personal operador utilice ropa protectora y máscaras para proteger la piel, pulmones y ojos.

Incineración

Incineración directa

Cuando el hidrocarburo es incinerado en terreno abierto tiende a esparcirse y ser absorbido por la tierra. Además, puede quedar un resíduo de alquitrán ya que pocas veces se obtiene una combustión completa. Sin embargo, la incineración directa de desperdicios manchados en tambores abiertos u otros recipientes es una técnica útil en áreas remotas donde el humo no será una molestia.

Incineración

Se han desarollado una serie de incineradores portátiles que generan las altas temperaturas necesarias para la combustión total de los desperdicios manchados. Los hornos de tipo rotatorio y de reverbero son los más apropiados para hidrocarburos con alto contenido de sólidos. Por regla general, los incineradores utilizados para desechos domésticos no son adecuados ya que los cloruros del agua de mar pueden causar corrosión. Los incineradores industriales, aunque capaces de tolerar las sales, pueden no tener suficiente capacidad para la carga adicional creada por las grandes cantidades de desperdicios manchados. Sin embargo, donde haya disponibilidad de almacenamiento a largo plazo, esta puede ser una salida aceptable.

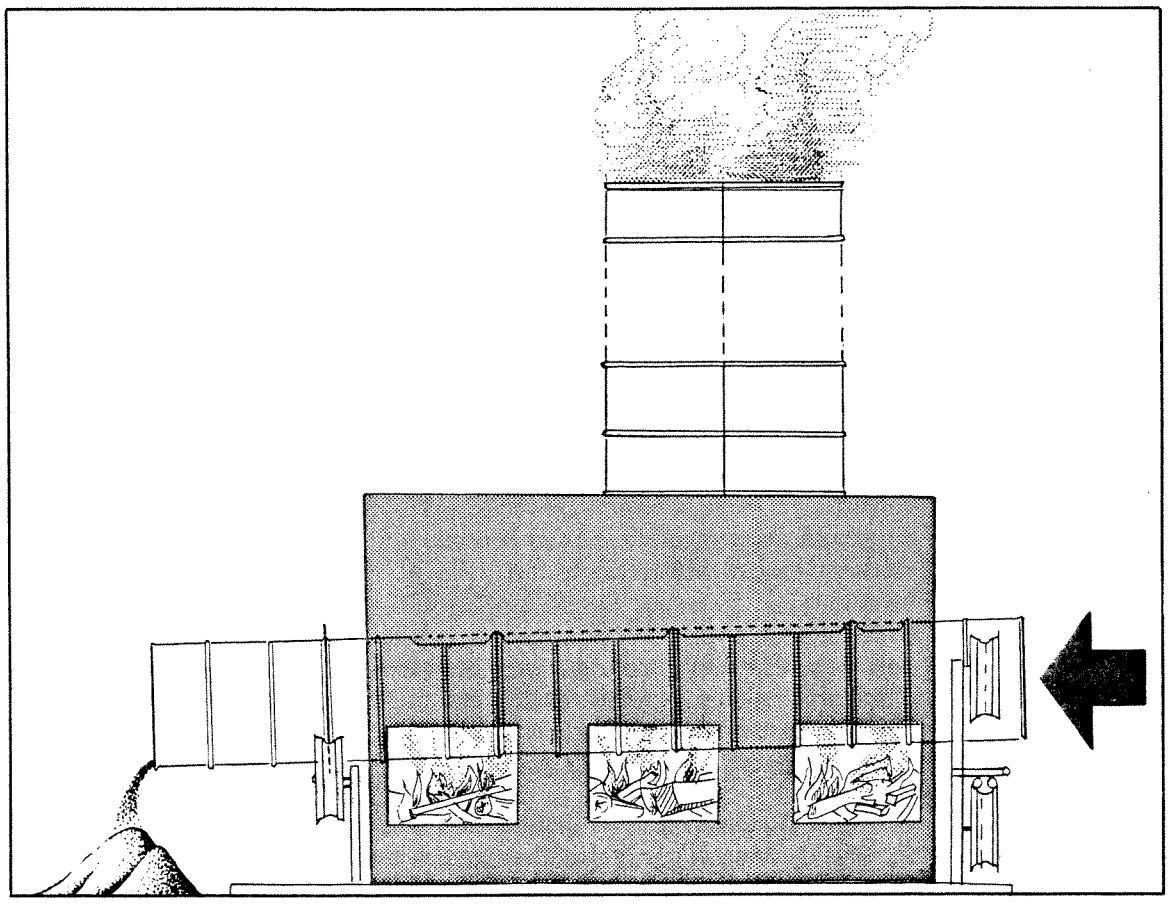


Figura 9. *Horno de combustible de madera con cilíndro inclinado de balancín construído de tambores de acero de 45 galones.*

Hornos improvisados

Un dispositivo desarrollado para localidades remotas consiste de un horno que puede ser ensamblado en el sitio del derrame con materiales de bajo costo tales como tambores de acero de 45 galones. El material de playa contaminado es introducido manualmente por un extremo a una tasa de hasta siete toneladas por hora y la arena y cantos limpios son descargados por el otro extremo (Figura 9). La combustión es autoalimentada si el material contiene al menos 25% de hidrocarburo y no más de alrededor de un 50% de agua. La vida útil del aparato puede ser muy corta pero debe ser capaz de incinerar al menos unas 100-600 toneladas de arena contaminada. Puede construirse un quemador portátil más sencillo adecuado para la incineración a pequeña escala de grumos de alquitrán y desperdicios con un sólo tambor de 45 galones. Para mantener la combustión se alimenta aire tangencialmente desde un compresor o un ventilador.

Quemador portátil

Aceleración de la Biodegradación

Factores limitantes

El hidrocarburo y los desperdicios manchados pueden a veces ser descompuestos utilizando procesos biológicos. La biodegredación del hidrocarburo por micro-organismos sólo puede ocurrir en la interfaz hidrocarburo-agua, de manera que en tierra el hidrocarburo debe ser mezclado con un sustrato húmedo. La tasa de biodegradación depende de la temperatura y la disponibilidad de oxígeno y nutrientes apropiados que contengan nitrógeno y fósforo. Algunos componentes del hidrocarburo tales como las resinas y asfaltenos son resistentes a la degradación y aún después de períodos prolongados, hasta un 20% del material original puede permanecer intacto.

Productos comerciales

Nutrientes

Existe una serie de productos en el mercado que contienen bacterias y otros micro-organismos degradadores de hidrocarburo. Algunos están destinados para la aplicación directa sobre costas junto con nutrientes para mantener el proceso de biodegradación. Los intentos de utilizar estos productos en derrames reales no han dado resultados muy exitosas debido principalmente a que las concentraciones de hidrocarburo son demasiado altas, la falta de una interfaz hidrocarburo-agua y la dificultad para mantener los niveles requeridos de nutrientes en una costa intermareal. Una investigación más reciente que parece más prometedora comprende la adición de nutrientes solubles en hidrocarburo para acelerar el proceso natural de degradación. Es más probable que estos nutrientes permanezcan en la interfaz hidrocarburo-agua en vez de disolverse en el mar.

Compostaje

Tasas de aplicación

Un enfoque más efectivo es el de distribuir el hidrocarburo y los desperdicios sobre tierras destinadas para este propósito; técnica a la que se le denomina frecuentemente "compostaje". En climas templados puede tomar hasta unos tres años antes de que la mayor parte del hidrocarburo se descomponga, aunque las tasas de degradación a menudo pueden incrementarse por aereación regular de la tierra y por la adición de fertilizantes tales como urea y fosfato de amonio. Debido a la extensión de tierra requerida, esté método sólo es aplicable a derrames relativamente pequeños. El material contaminado no debe contener más de un 20% de hidrocarburo e idealmente las tierras escogidas deben ser de poco valor y localizadas bastante lejos de manantiales de agua y deben tener una baja permeabilidad. Debe aflojarse primero la capa vegetal superior de la tierra utilizando una rastra y el área debe ser cercada para contener cualquier filtración de hidrocarburo. Los desperdicios manchados son entonces esparcidos sobre la superficie hasta una profundidad de no más de 0.2 metros, siendo la máxima tasa de aplicación de unas 400 toneladas de hidrocarburo por hectárea de tierra. Se dejará que el hidrocarburo se curta por la intemperie hasta que ya no tenga una consistencia pegajosa antes de ser bien mezclado con la tierra utilizando un arado o rotador. El mezclado debe repetirse a intervalos de 4-6 semanas durante los primeros seis meses y menos frecuentemente de allí en adelante.

Sorbentes naturales

Si se emplean técnicas de compostaje, es recomendable el uso de sorbentes naturales tales como la paja y corteza en vez de materiales sintéticos ya que estos se degradan más rápidamente. Deben eliminarse los trozos grandes de desperdicios tales como troncos y rocas. Una vez que la mayor parte del hidrocarburo se ha degradado, la tierra debe ser capáz de soportar una amplia variedad de plantas, incluyendo árboles y grama.

Técnicas de compostaje

Otro método de acelerar la degradación de pequeñas cantidades de desperdicios es el empleo de técnicas de compostaje, particularmente si se utilizan sorbentes naturales tales como paja, turba o corteza. Siempre que las mezclas contengan niveles relativamente bajos de hidrocarburo, pueden amontonarse en pilas para facilitar la formación del compostaje. Debido a que los montones retienen el calor, esta técnica es especialmente adecuada en climas fríos donde la degradación a través del compostaje es lenta.

PLANIFICACION DE CONTINGENCIA

Fuerza hombre y equipos

Dada la limitada disponibilidad de recursos, puede que no sea posible proteger y limpiar todas las zonas contaminadas de una extensión de costa y deben identificarse por adelantado las áreas prioritarias. Se deberán establecer las fuentes tanto de fuerza hombre como de equipos. Los contratistas que puedan suministrar camiones, camiones de vacío, palas mecánicas, unidades de agua caliente y otros equipos deben ser identificados para establecer los costos de alquiler. Deberán localizarse los suministros de dispersantes y sorbentes y mantener provisiones adecuadas en áreas donde el riesgo de derrame es alto.

Comunicaciones

A pesar de que el personal escogido para la supervisión por lo general tendrá un buen conocimiento de la costa local, requerirán del adiestramiento adecuado de técnicas y supervisión de limpieza de costas. Debe proporcionarse comunicación por radio entre el Coordinador In-Situ, los supervisores individuales en las playas y aquellas personas responsables del almacenamiento y eliminación.

Mapas de la costa

Las guías para la toma de decisiones presentadas como flujogramas permiten que las cuadrillas de limpieza analicen los problemas antes de un incidente. Los mapas de la costa con anotaciones deben mostrar tipos de costa, puntos de acceso de vehículos y las playas que pueden soportar vehículos pesados. Estos mismos mapas también pueden mostrar las corrientes costeras, los vientos prevalecientes, las áreas de alta prioridad, la ubicación de recursos ambientales susceptibles y las áreas donde no deben utilizarse dispersantes.

Eliminación

Instalaciones de almacenamiento

Los planes de eliminación deben ser específicos para una localidad dada, ya que los métodos adoptados dependerán principalmente de la disponibilidad de materia prima y lugares adecuados para la eliminación. Los planificadores deben establecer las capacidades de las refinerías locales y cualesquiera contratistas de recuperación y obtener especificaciones en cuanto a la calidad del hidrocarburo aceptable para procesamiento. Es necesario determinar la disponibilidad y capacidad de las instalaciones de almacenamiento y seleccionar los sitios adecuados para la excavación de fosos. Es probable que todas las rutas de eliminación tengan capacidades limitadas en relación a la tasa a la cual el hidrocarburo es recogido.

Desperdicios

Muchos de los problemas de eliminación están directamente relacionados con los desperdicios. Un estudio de la costa y la identificación de los puntos de acumulación de desperdicios a menudo indicará donde es más probable que el hidrocarburo llegue a la costa. Los desperdicios a veces pueden ser recogidos antes de que llegue el hidrocarburo, o puede hacerse un esfuerzo con la ayuda de barreras por desviar el hidrocarburo, de un área con acumulación de desperdicios.

Prácticas

Deben realizarse periódicamente ejercicios prácticos del plan de contingencia general, no sólo para poner a prueba los aspectos de organización, sino también para asegurar que el equipo y otros recursos identificados en el plan están realmente disponibles y en buen estado de funcionamiento.

PUNTOS A RECORDAR

1. El tipo de costa determinará en gran parte las técnicas de limpieza más apropiadas.

2. En general el hidrocarburo móvil debe ser recogido tan pronto como sea posible para evitar su movimiento hacia otros lugares. La recolección del hidrocarburo varado por lo general puede posponerse hasta que todo el hidrocarburo proveniente de un incidente en particular haya llegado a la costa.

3. Por lo general, es mejor que las costas ambientalmente susceptibles tales como pantanos, bancos de lodo y manglares se limpien a través de procesos naturales.

4. La utilización de equipos mecánicos acelera la limpieza de playas pero también se recogen cantidades considerables de arena lo cual puede ocasionar problemas de eliminación y erosion potencial. A menudo son mejores las técnicas manuales más lentas.

5. La efectividad de la limpieza debe ser estrechamente supervisada de manera que las técnicas y el nivel de esfuerzo se ajusten a las condiciones cambiantes y para asegurar que las operaciones culminen en el momento apropriado.

6. Al planificar y ejectuar una operación de limpieza de costas se requiere de un alto grado de organización para hacer el mejor uso de los recursos, especialmente donde estos están esparcidos en una ámplia área geográfica.

7. Deben identificarse los sitios de almacenamiento temporal que pueden funcionar como punto intermedio entre la limpieza de la costa y la eliminación final.

8. La factibilidad de la recuperación de hidrocarburo utilizable debe ser examinada antes de que se adopten otras técnicas de eliminación. Es importante establecer cuidadosamente los sitios en que se efectuarán vaciados directos para evitar la contaminación de manantiales de agua subterránea.

9. Aunque se han desarrollado una variedad de técnicas para la eliminación de hidrocarburo y desperdicios manchados, muchas tienen una aplicación y capacidad limitada. La selección de las opciones más apropiadas debe realizarse en la etapa de la planificación de contingencia. En caso de un derrame masivo, todas las opciones tendrán que ser consideradas.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

API (1985) Oil spill response: Options for minimizing adverse ecological impacts. API, Washington, D.C., U.S.A. Publication No. 4398. 98 pp.

Breuel, A. (Ed.) (1981) Oil spill clean-up and protection techniques for shorelines and marshlands. Noyes Data Corporation, New Jersey, U.S.A. 404 pp.

CEDRE (1980) Effectiveness and costs of beach clean-up techniques and waste disposal. CEDRE, Brest, France. Report No. R.79.140.E. 25 pp.

CONCAWE (1980) Sludge farming: a technique for the disoposal of oily refinery wastes. CONCAWE, The Hague Netherlands. Report No. 3/80. 94 pp.

CONCAWE (1980) Disposal techniques for spilt oil. CONCAWE, The Hague. Netherlands. Report No. 9/80, 52 pp.

CONCAWE (1981) A field guide to coastal oil spill control and clean-up techniques. CONCAWE, The Hague, Netherlands, Report No. 9/81. 112 pp.

CONCAWE (1984) Capability of oil industry installations for the disposal of spilt oil. CONCAWE, The Hague, Netherlands. Report No. 8/84. 38 pp.

Exxon (1984) Oil spill response field manual. Exxon Production Research Co., Houston, U.S.A. 137 pp.

IMO (1980) Manual on oil pollution – Section IV Practical information on means of dealing with oil spillages. IMO, London. 143 pp. (under revision)

ITOPF (1983) Shoreline clean-up. Technical Information Paper No. 7. ITOPF, London. 8 pp.

ITOPF (1984) Disposal of oil and debris. Technical Information Paper No. 8 ITOPF, London. 7 pp.

WSL (1982) Oil spill clean-up of the coastline: a technical manual. Warren Spring Laboratory, Stevenage, U.K. 72 pp.

V PLANIFICACION Y OPERACIONES

La planificación cuidadosa es un preparativo esencial porque una operación sea exitosa, especialmente en caso de emergencia tal como un derrame de hidrocarburo. Muchas personas pueden verse afectadas por un derrame y muchas organizaciones tendrán labores que realizar además de las tareas de limpieza.

Esta parte del libro proporciona los lineamientos para la preparación de un plan de contigencia. Se sugiere que la primera parte del plan debe trazar la estrategia general para la reacción ante un derrame, mientras que la segunda parte debe detallar los procedimientos operacionales a seguir cuando ocurra un derrame. A fin de illustrar como funciona un plan de contingencia en la práctica, se incluye un resumen de los eventos de un derrame de hidrocarburo hipotético dentro la descripción de un plan operacional.

CONTENIDO

	Página
ALCANCE Y CONTENIDO DE LOS PLANES DE CONTINGENCIA	V.3
ESTRATEGIA	V.5
Introducción	5
Estimación del Riesgo de Derrame	5
Movimiento y Persistencia del Hidrocarburo	5
Recursos Amenazados por Derrames de Hidrocarburo	6
Selección de Técnicas	7
Descripción de la Organización de Reacción	9
Procedimientos de Adiestramiento y de Revisión	10
EL PLAN OPERACIONAL	V.11
Notificación	11
Evaluación	12
Decisiones de Reacción	12
Operaciones de Limpieza	13
Comunicaciones	14
Culminación de la Limpieza	15
Formulación de Reclamos	16
DIEZ PREGUNTAS PARA EVALUAR LOS PLANES DE CONTINGENCIA	V.17
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	V.18

ALCANCE Y CONTENIDO DE LOS PLANES DE CONTINGENCIA

Reacción concatenada

La mayoría de los derrames de petróleo son pequeños y pueden atenderse localmente. De sobrepasar el incidente la capacidad de reacción local o afectar un área mayor, se requerirá de una reacción de mayor magnitud y compatible con ésta. La base para dicha reacción concatenada es el plan local de una instalación específica tal como un puerto o terminal de crudo o para una extensión de costa bajo riesgo. Estos planes locales pueden formar parte de un plan para una región mayor o un plan nacional. Los planes nacionales pueden a su vez estar integrados a acuerdos para reacción regionales entre dos o más paises vecinos.

Formato común

En general, el alcance de los planes de contingencia debe seguir un lineamiento similar sean estos locales, nacionales o regionales en alcance, aunque su tamaño y contendido variará con las dimensiones de área cubierta y grado de riesgo. Los lineamientos homogéneos permitirán que los planes sean fáciles de captar y compatibles y aseguren una transición adecuada de un nivel al próximo.

Dos partes

Los planes de contingencia pueden ser divididos en dos partes principales: ESTRATEGIA y PLAN OPERACIONAL. El segmento de la estrategia del plan debe definir la política, responsabilidades y razón fundamental del plan operacional, que es mayormente una lista de acciones con indicaciones sobre las fuentes de información (Figura 1). Un plan debe ser razonablemente completo en sí mismo y no debe requerir el hacer referencia a otra cantidad de publicaciones, lo cual causa retraso. Un formato de carpeta de argolla con hojas sueltas facilita la actualización periódica; debe proporcionarse un espacio para efectuar anotaciones e indicar las fechas de los cambios.

Actualización

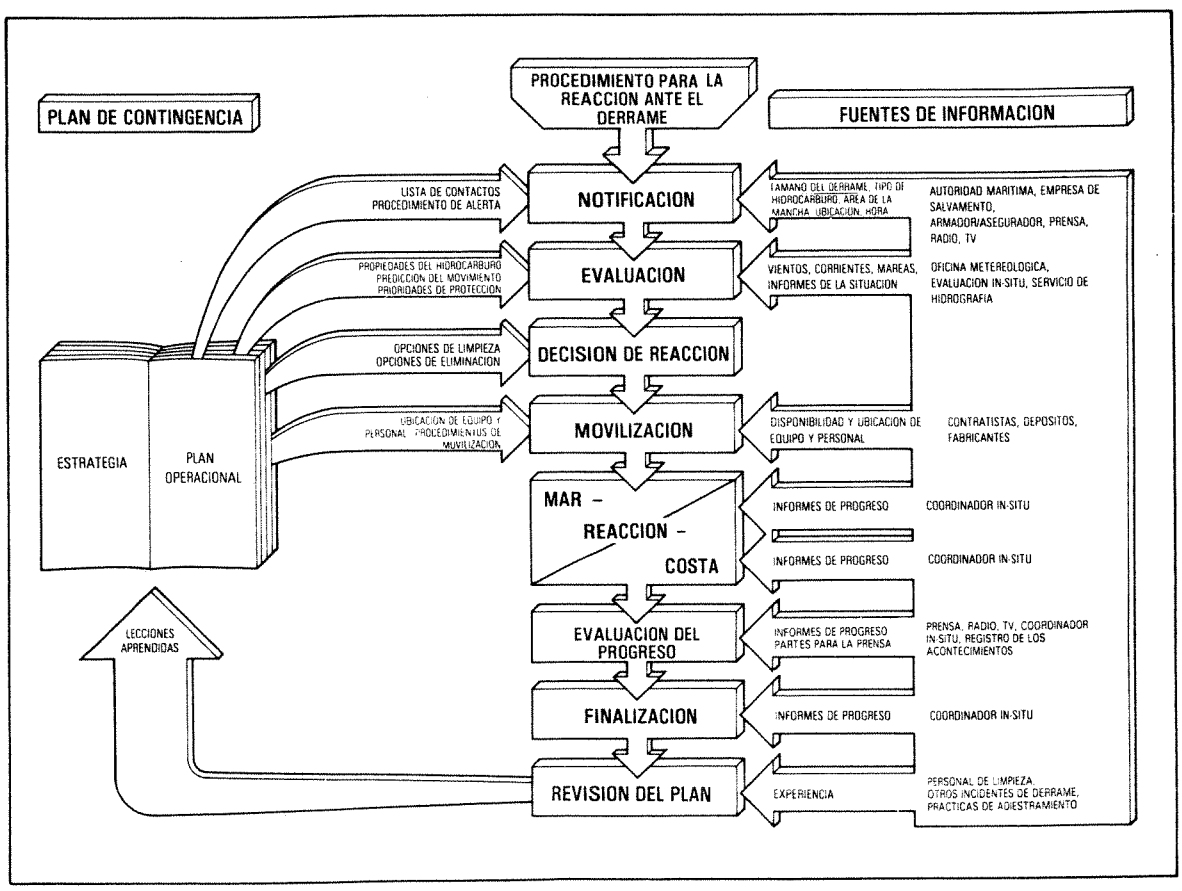
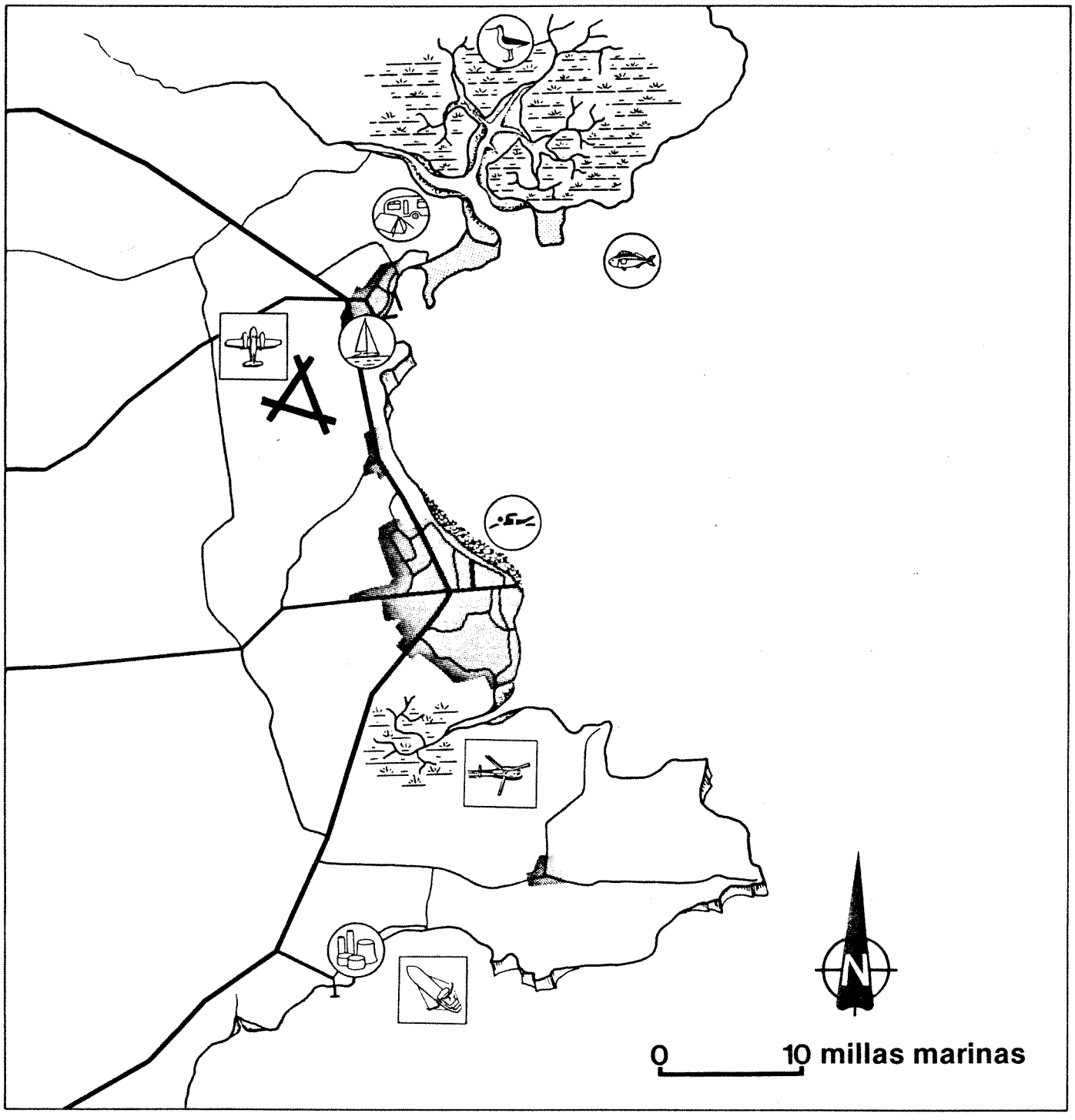


Figura 1 *La función de la planificación de contingencia en la reacción ante un derrame de hidrocarburo*


0
10 millas marinas
N

FANGO
ARENA
PANTANOS
RISCOS
CANTOS
SITIOS PARA ACAMPADO
MARINA
PLAYA RECREACIONAL
AVES
PESQUERIAS COSTERAS
TOMAS DE AGUA
BASE DE HELICOPTEROS
PISTA DE ATERRIZAJE
DESPOSITO DE EQUIPO

ESTRATEGIA

Introducción

Responsabilidad

La responsabilidad por y el alcance del plan de contingencia debe definirse en la introducción. Esta debe indentificar la autoridad o ente principal responsable de la formulación e implementación del plan y explicar, en caso de existir, los requisitos estatuarios, sobre los cuales se basa dicha responsabilidad. Se debe definir el área geográfica cubierta por el plan y hacer referencia a cualesquiera otros planes relacionados.

Estimación del Riesgo de Derrame

Registro de derrames anteriores

Número de toques en puertos

En ésta sección se debe cubrir la frecuencia y tamaño de los derrames y el tipo de hidrocarburo de que se trate. Pueden ser útiles los registros históricos de derrames para el área cubierta por el plan, pero debido a que los derrames ocurren con poca frecuencia, a menudo existe poca información para hacer un estimado cuantitativo completo. Si tales registros no están disponibles, por lo general es posible hacer comparaciones con otras localidades donde sí los hay, tomando en cuenta cualquier variación de las circunstancias. Para puertos de carga de hidrocarburo, el número de toques de tanqueros es importante al estimar los riesgos, ya que la mayoría de los derrames de tanqueros son pequeños y ocurren en estos lugares durante las operaciones rutinarias de carga, descarga y aprovisionamiento de combustible. Pueden desarrollarse una serie de posibles escenarios de derrames del análisis de las actividades relacionadas con el hidrocarburo, tipos de hidrocarburos manejados en el área o transportados a través de esta.

Movimiento y Persistencia del Hidrocarburo

Características del hidrocarburo

El destino probable de las manchas de petróleo debe ser estudiado en relación con los tipos de hidrocarburo con mayor probabilidad de ser derramados y las condiciones estacionales y climáticas. Se debe anexar al plan operacional detalles de las propiedades físicas de dichos hidrocarburos, en particular la gravedad específica, viscosidad, punto de fluidez a las temperaturas regulares del mar y características de destilación.

Vientos y corrientes

Modelos computarizados

El movimiento del hidrocarburo puede ser pronosticado a partir del conocimiento de las mareas, corrientes y la velocidad y dirección del viento. Donde pueda identificarse la fuente potencial del derrame, se podrá calcular el movimiento probable del petróleo tomando en consideración cualquier variación estacional y la dirección de los vientos prevalecientes. También debe incluirse aquí cualquier referencia a algún modelo computarizado diseñado para predecir el rumbo que tomará el petróleo. La información acerca de flujo de marea o corrientes residuales se anexarán al plan operacional.

Figura 2

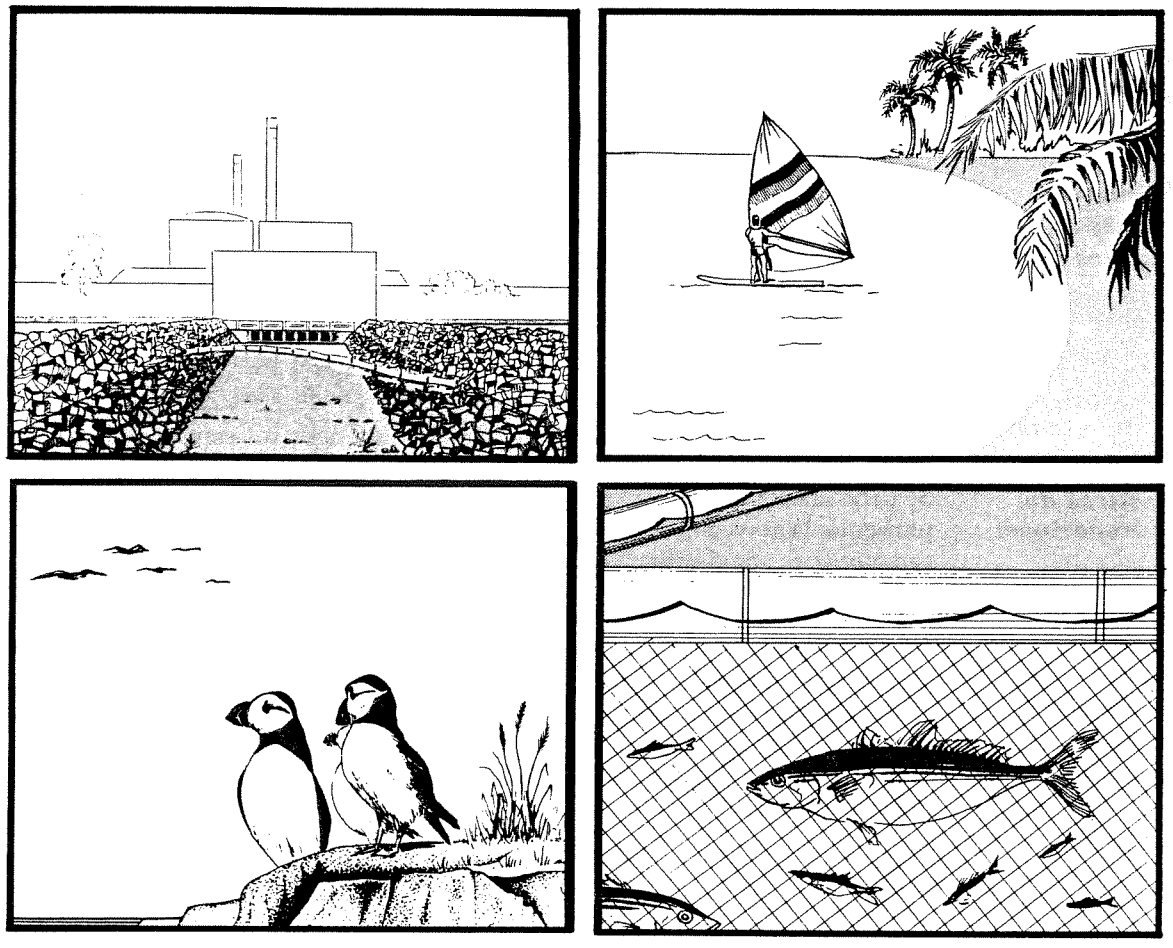
El tamaño del area que cubre el Plan de Contingencia, así como la complexidad de los detalles descritos determinan la escala requerida de los mapas. Aquellos que corresponden a planes regionales o nacionales generalmente no dan sino una indicación comprensiva de los aspectos principales de la región litoral, los recursos que puedan ser afectados y lo que podría causar un derrame de petroleo. Aquellos que corresponden a planes de contingencia locales con una longitud litoral restringida, tendrían datos más detallados, como el probable rumbo que tomarán las manchas flotantes, la estrategia de reacción acordada, puntos de acceso en el litoral, y sitios de almacenamiento temporal así como lugares para la eliminación de hidrocarburos y desechos. Para más claridad podría imprimirse la información en dos o más mapas. Tambien podría hacerse referencia a croquis o fotografías adicionales que aclaran los elementos de la reacción con más detalle. Los mapas no deberian ser considerados como un sustituto del texto escrito, sino más bien como un medio para ilustrar puntos claves.

Recursos Amenazados por Derrames de Hidrocarburo

Recursos susceptibles

Deben indentificarse las áreas recreacionales, áreas ecológicamente susceptibles, tomas de agua de mar para industrias, pesquerías, acuacultivos, aves marinas, mamíferos marinos y otros recursos con altas probabilidades de ser amenazados en caso de un derrame. Debe incluirse en esta sección un resumen de las características más importantes de cada recurso, mientras que la información detallada de su ubicación debe anexarse al plan operacional. Esto a menudo se hace con la ayuda de mapas para indicar la ubicación de recursos susceptibles y las prioridades de protección (Fig. 2). Dichos mapas, no deben estar limitados a los recursos biológicos; también deben mostrarse los recursos industriales y recreacionales susceptibles.

Mapas



Capacidad limitada

Las prioridades de protección deben ser determinadas ya que es poco probable que en un derrame masivo se puedan proteger adecuadamente todos los recursos en peligro. Esta es probablemente la faceta más importante de la política adoptada para la reacción y sólo las autoridades gubernamentales están en capacidad de tomar las decisiones necesarias, ya que deberán estimarse los valores económicos y ambientales para la comunidad. Sin embargo, es esencial tomar en consideración, no sólo cuán deseable será la protección de un recurso en particular, sino también hasta que punto es práctico hacerlo. Se deben también tomar medidas para que las prioridades de reacción puedan ser cambiadas si los recursos son impactados por el derrame, antes de que el plan pueda ser implementado.

Objetivos realistas

Variación estacional

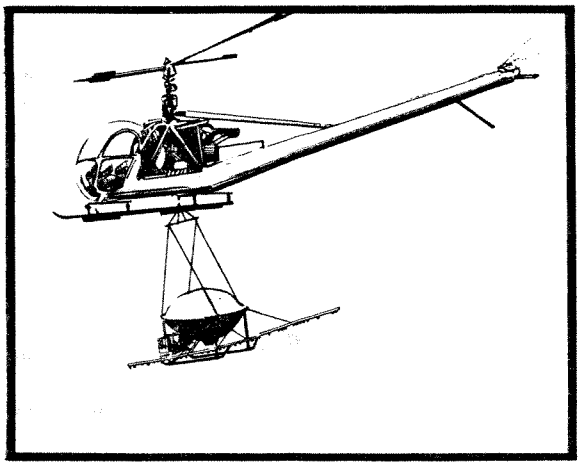
Las variaciones estacionales pueden alterar enormemente las prioridades. Por ejemplo, la alta prioridad asignada a una playa recreacional en verano puede no aplicar en invierno. Igualmente, a ciertas áreas biológicamente susceptibles puede asignársele una alta prioridad durante la época reproductiva o cuando se sabe que están presentes especies migratorias. Los mapas detallando las áreas susceptibles anexos al plan operacional, deben especificar claramente esta información.

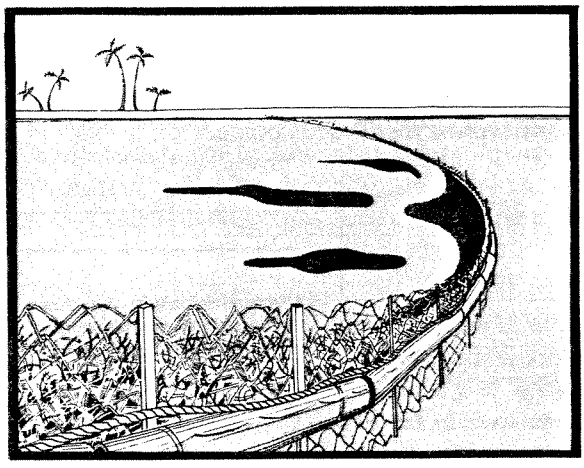
Selección de Técnicas

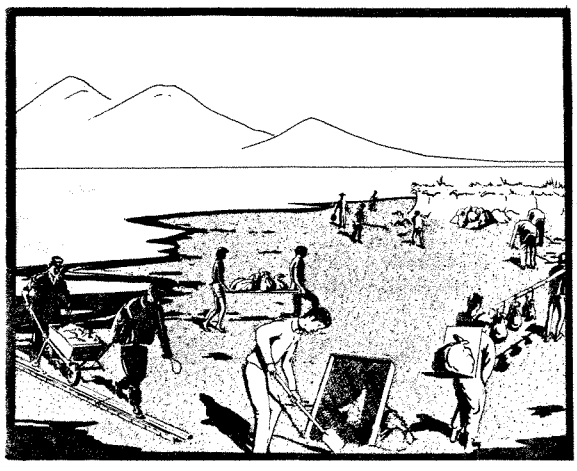
Limitación de las técnicas

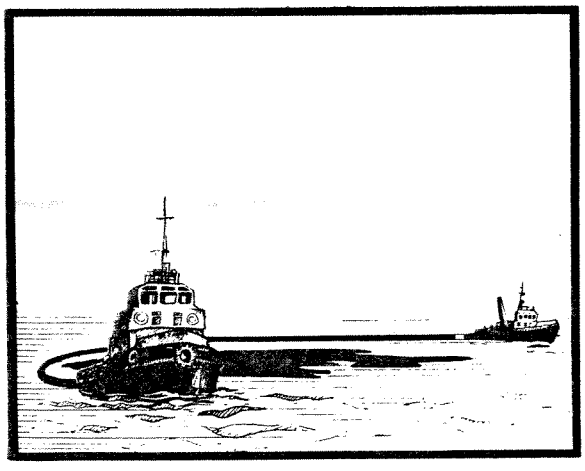
La estrategia de limpieza debe determinarse en relación al riesgo estimado de derrames y a la defensa según las prioridades de protección acordadas. Se deben conocer las limitaciones de las técnicas de control de derrames y seleccionar el equipo más adecuado para las diferentes condiciones climáticas y tipos de hidrocarburo que se anticipan. Por ejemplo, los puntos de despliegue de barreras sólo deben ser indicados en aquellos lugares donde sea factible la contención y recuperación del hidrocarburo o su desvío hacia áreas menos susceptibles. Deben identificarse los diferentes tipos de costa dentro del área cubierta por el plan y considerarse las estrategias de limpieza más adecuadas para cada una. Otros factores a ser considerados son el valor recreacional, si

Tipos de costa









las playas son de fácil acceso para el equipo pesado y la posibilidad de que éstas puedan soportar el peso de dichos vehículos. Los mapas anexos al plan operacional pueden utilizarse para mostrar las áreas donde cada técnica debe ser empleada y donde puedan aplicar cualesquiera restricciones.

Mapas

Ubicación del equipo

La ubicación del equipo cerca de las áreas de alto riesgo asegura una reacción rápida y efectiva. Sin embargo, se debe lograr un equilibrio entre almacenarlo en puntos centrales con los costos de transporte y retraso que esto significa, y la opción más costosa de paquetes de equipo en cada lugar potencialmente vulnerable. Los procedimientos para la movilización deben ser delineados en el plan operacional y un inventario del equipo disponible debe ser anexado a éste. Las descripciones se presentan más facilmente en forma de tablas donde los detalles tales como tipo, dimensiones, capacidad, requisitos de transporte y puntos de contacto para su entrega están listados para cada lugar. Los sistemas de referencia cruzada permiten identificar la ubicación de un equipo en particular; también se prestan para la aplicación de técnicas de computación. En algunos casos el equipo y los servicios serán propiedad o provistos por contratistas, la industria u otros, por lo que es preferible definir en un anexo del plan, los términos contractuales por las partes interesadas.

Inventarios

Contratos

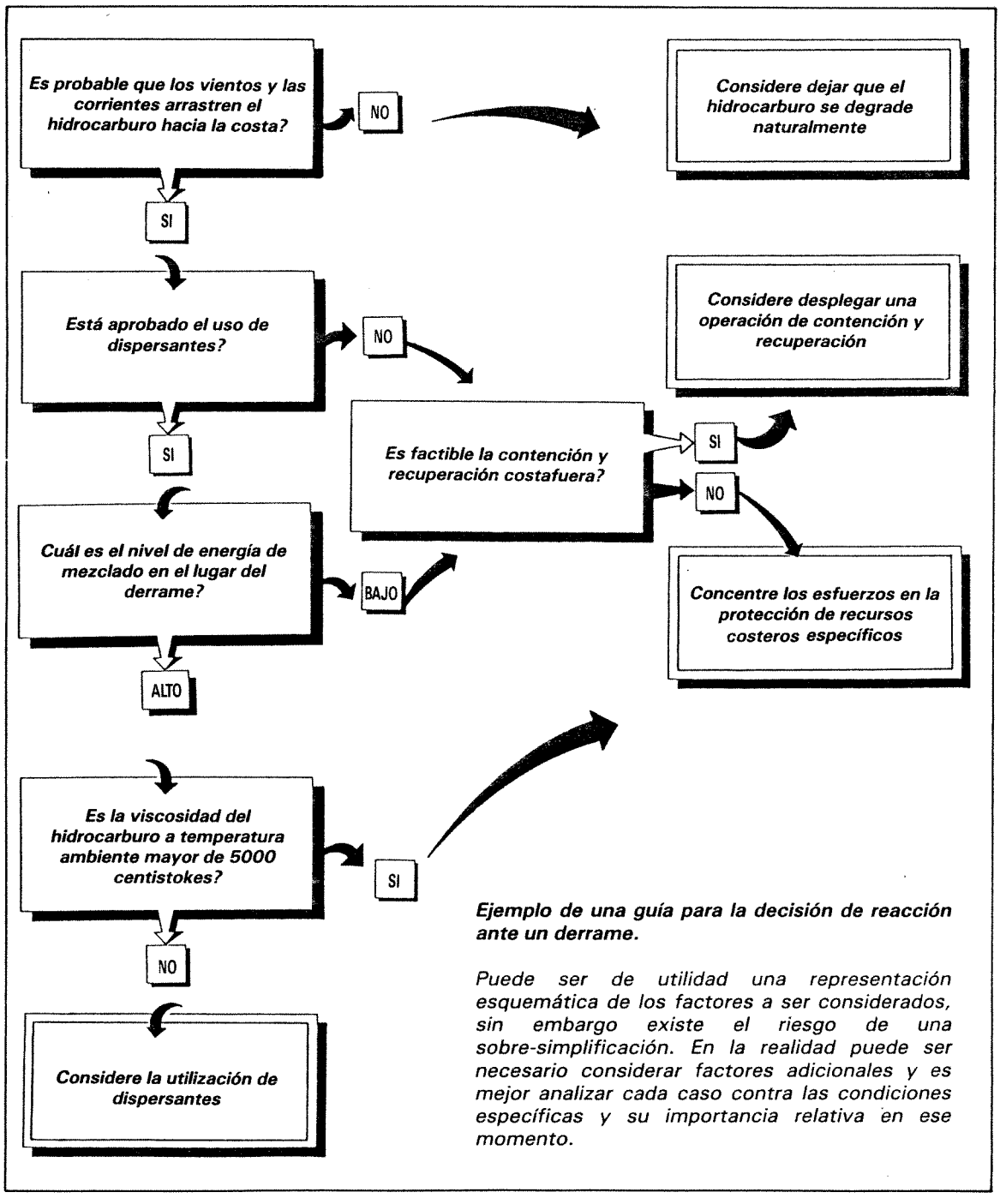
Requerimiento de fuerza hombre

Se deberá estimar la fuerza hombre requerida para el despliegue del equipo y para realizar las labores de limpieza. El punto hasta el cual los requerimientos pueden ser provistos por la organización que implementa el plan dependerá de la disponibilidad, técnicas a ser implementadas y la cantidad de equipo especializado a ser desplegado. En caso de derrames masivos, puede necesitarse personal adicional, particularmente para las operaciones de limpieza de costas que requieren de mucho personal. Se debe anexar al plan operacional una lista de fuentes de personal, tales como contratistas y departamentos gubernamentales.

Depósitos temporales de almacen-amiento

Opciones de eliminación final

Los depósitos temporales de almacenamiento y rutas de transporte para los desechos manchados deben ser acordadas con anticipación. Deben identificarse los lugares cerca de áreas de alto riesgo adecuados para el almacenamiento temporal del hidrocarburo recogido y desechos manchados. Se deben discutir y decidir las opciones de desecho, tomando en cuenta las consideraciones ambientales de cada método y los costos probables de transporte y eliminación. Se deberán anexar al plan operacional los detalles acerca de los métodos de eliminación seleccionados. Las ubicaciones temporales de almacenamiento se muestran mejor en los mapas que detallan las técnicas de limpieza de la costa.



Ejemplo de una guía para la decisión de reacción ante un derrame.

Puede ser de utilidad una representación esquemática de los factores a ser considerados, sin embargo existe el riesgo de una sobre-simplificación. En la realidad puede ser necesario considerar factores adicionales y es mejor analizar cada caso contra las condiciones específicas y su importancia relativa en ese momento.

Descripción de la Organización de Reacción

Distribución de la responsabilidad

La responsabilidad del control de un derrame de hidrocarburo en el mar por lo general corresponde a una entidad gubernamental encargada de asuntos marítimos tales como los guardacostas o la marina. Muy raras veces la responsabilidad de dichas entidades se extiende a la costa. Por lo general, la tarea de limpieza de aguas tierra adentro y las costas recae sobre las autoridades portuarias o el gobierno local. Esta división de la responsabilidad tiende a causar confusiones.

Coordinación

Generalmente la mejor solución es una coordinación central bajo una sola organización que tenga la responsabilidad total por el manejo de las operaciones. Donde esto no sea posible, e intervenga más de una organización en la reacción ante un derrame, se deben establecer los procedimientos para la coordinación entre los diferentes grupos. En el caso de un derrame masivo, el coordinador "In-Situ" delegará el control de operaciones, mientras que en un incidente menor, las funciones de coordinación y control pueden combinarse. El tamaño de la organización dependerá del área cubierta por el plan, la gravedad de la situación y la susceptibilidad de los recursos amenazados. La limpieza de costas involucra a un mayor número de intereses y por lo general requiere de mayor coordinación que las operaciones en el mar. En cualquier caso, las responsabilidades deben ser claramente definidas, y en lo posible, el número de autoridades involucradas debe mantenerse a un mínimo.

Comunicaciones

Frecuencias de radio

Es esencial disponer de un centro de comunicaciones, con teléfono, telex y radio comunicaciones para asegurar que la infomación necesaria llegue a las personas adecuadas. El centro sirve como punto focal ideal durante toda la operación, ya que toda información de limpieza y el apoyo logístico será canalizado a través de éste. En un derrame masivo, las operaciones en el mar, en la costa y en el aire se llevarán a cabo al mismo tiempo. Además de una frecuencia de radio común puede que sea necesario adjudicar frecuencias separadas para cada operación. Donde las operaciones de limpieza deban llevarse a cabo a través de grandes distancias, se deben ubicar centros portátiles de comunicación cerca de cada escenario de operación. Pueden requerirse estaciones repetidoras para mantener las comunicaciones.

Apoyo logístico

Aduanas e inmigración

El apoyo logístico es un elemento esencial en un plan de contingencia para asegurar que las operaciones de limpieza se lleven a cabo sin tropiezos. Se deben tomar medidas con antelación para proporcionar alimento, ropa, alojamiento y servicio médico a las cuadrillas de limpieza en la costa. También debe estudiarse la disponibilidad de recursos de apoyo, tales como equipo y material adicional y transporte, junto con los nombres y direcciones de proveedores potenciales, tanto dentro del país como países vecinos. En este último caso, se debe prestar atención en la etapa de planificación a los procedimientos de inmigración y aduana. Pueden ocurrir retrasos por los requisitos normales de inmigración y aduana y el plan debe prever que se cumplan rápidamente en un caso de emergencia, cuando se requiera traer equipo y personal al país.

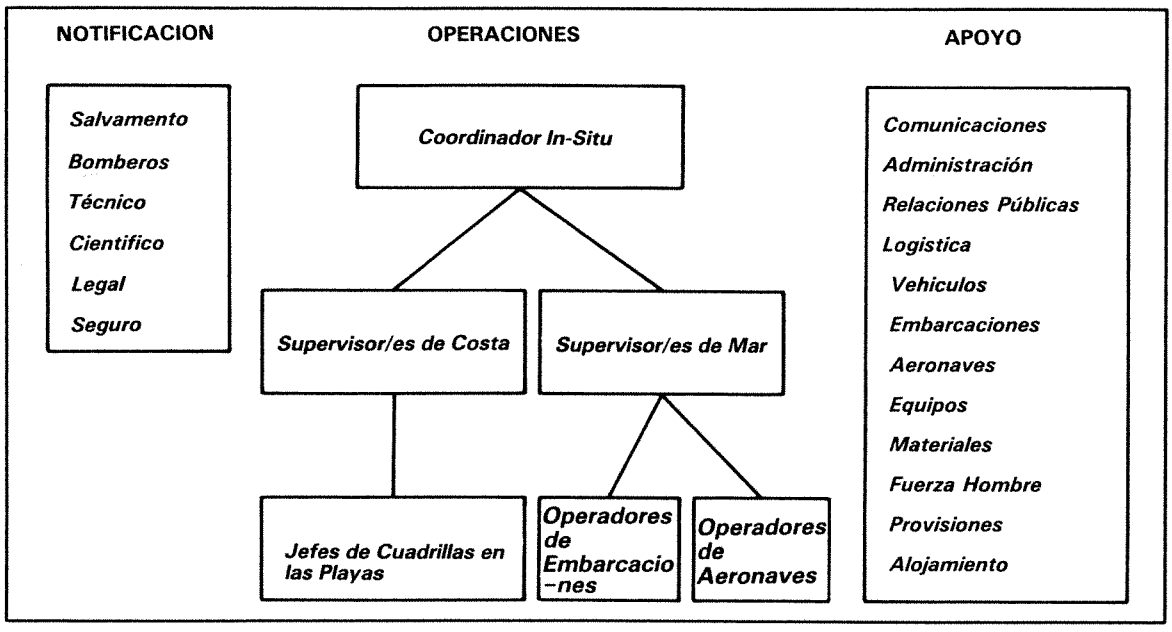
Mantenimiento de registros

La documentación de las acciones es importante y se deben mantener registros precisos del uso de la mano de obra, equipos y materiales y gastos. Para mantener la uniformidad vale la pena preparar proformas de hojas de registro y anexarlas al plan operacional. Una buena documentación ayudará en la presentación de reclamos cuando se concluya la operación.

Enlaces

Relaciones públicas

Deben incluirse en el plan los arreglos de enlace con otras partes interesadas, tales como autoridades gubernamentales y organizaciones no involucradas de inmediato en las operaciones de reacción, pero con intereses en ciertos aspectos del derrame. Ejemplos de estos son los operadores de plantas industriales que utilizan agua de mar, grupos de protección del ambiente y otros departamentos gubernamentales. A menudo es útil formar un comité que mantenga informadas a todas las partes sobre el plan de contingencia y para consultas durante un derrame masivo. Se deberán tomar medidas para mantener informados a los medios de comunicación sin interferir con las actividades de la operación. Esto probablemente requeriría de líneas telefónicas adicionales, facilidades separadas y representantes oficiales bien informados.



Cuadro de organización para una reacción ante un derrame. *En el caso de derrames pequenos, se pueden combinar las reponsabilidades*

Procedimientos de Adiestramiento y de Revisión

Adiestramiento

Prueba del equipo

Los procedimientos para el adiestramiento y prácticas y para la actualización del plan deben ser definidos. Se deben desarrollar programas de adiestramiento a todos los niveles incluyendo el personal a cargo de embarcaciones y cuadrillas de limpieza de costa. Las prácticas regulares asegurarán que los arreglos de contingencia funcionen adecuadamente y que todos los que probablemente se vean involucrados en un derrame estén totalmente familiarizados con sus responsabilidades particulares. Los equipos enumerados en los inventarios deben ser movilizados y desplegados de vez en cuando para probar su disponibilidad actual y funcionamiento.

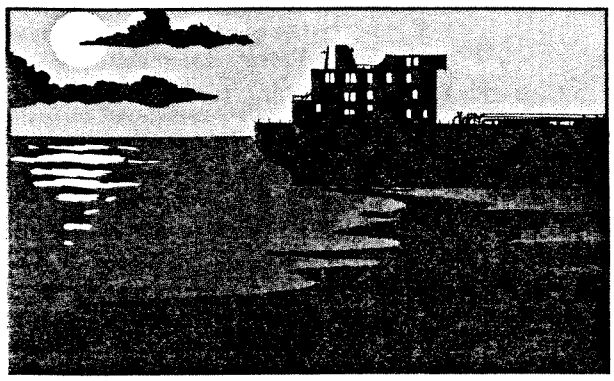
Actualización del plan

Un derrame de hidrocarburo ofrece la mejor oportunidad para mejorar un plan de contingencia. Los sucesos deben ser analizados tan pronto culminen las operaciones de limpieza y el plan revisado en base a las lecciones aprendidas, cuando los hechos todavía estén frescos en la memoria.

EL PLAN OPERACIONAL

El plan operacional debe describir los procedimientos recomendados para la reacción ante un derrame de hidrocarburo con la información esencial incluída como anexos. Durante las operaciones de reacción ocurrirán muchos eventos al mismo tiempo, pero el formato del plan operacional debe seguir el orden cronológico aproximado que se indica en la siguiente secuencia.

Notificación



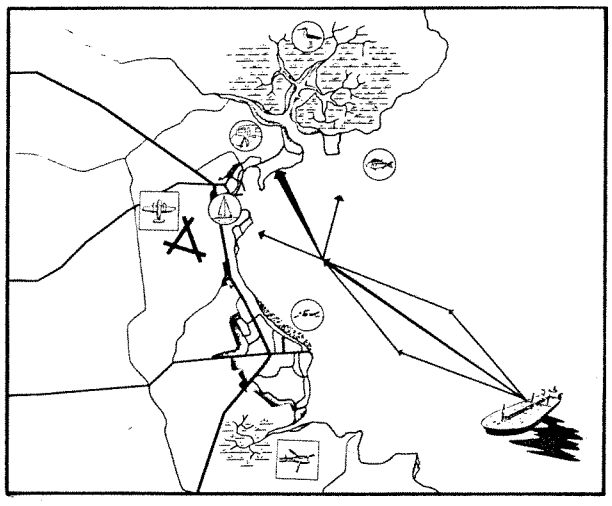
Cuatro de la mañana. El Comandante In-Situ es notificado por el Guardacosta que un tanquero encalló a unas 10 millas de la costa y que se dañaron dos tanques de carga que contienen un total de 10.000 toneladas de petróleo crudo. El Comandante In-Situ notifica por teléfono a otros miembros del Comité de Reacción y convoca para una reunión en la Sala de Incidentes que se establece en la estación local de Guardacostas. Da instrucciones a los Guardacostas para que obtengan información actualizada del capitán del tanquero y para que transmitan los informes iniciales a los primeros contactos utilizando el procedimiento de alerta acordado en el plan de contingencia.

La primera información con relación a un derrame puede provenir de diversas fuentes, incluyendo el público general. La policía y otros servicios de emergencia deben tener los números de teléfono, números de telex y frecuencias de radio que les permitan contactar a la agencia designada para recibir dicha información las 24 horas del día, por ejemplo, los guardacostas, el ejército, la marina o los bomberos. Al recibir la información, la agencia designada debe transmitir el informe inicial tan pronto sea posible a todas las partes interesadas de acuerdo con los procedimientos de alerta acordados. El formato para dicho informe debe incluir lo siguiente:

- ***Fecha y hora de la observación (especificando la hora local o HMG).***
- ***Posición (ej. latitud y longitud o referencia más cercana).***
- ***Fuente y causa de la contaminación, (ej. nombre y tipo de embarcación; colisión o encalladura).***
- ***Estimado de la cantidad de hidrocarburo derramado y posibilidades de derrames adicionales.***
- ***Descripción de las manchas de hidrocarburo incluyendo dirección, longitud, ancho y apariencia.***
- ***Tipo de hidrocarburo derramado y sus características.***
- ***Condiciones climáticas y del mar***
- ***Acciones, tanto tomadas como por tomar, para combatir la contaminación y evitar derrames adicionales.***
- ***Nombre y ocupación del observador inicial y cualquier reportero intermediario y cómo pueden ser contactados de nuevo.***

Se debe tener claro que el informe inicial no debe ser demorado si se pueden satisfacer los tres primeros puntos; el resto podrá ser transmitido tan pronto esté disponible.

Evaluación



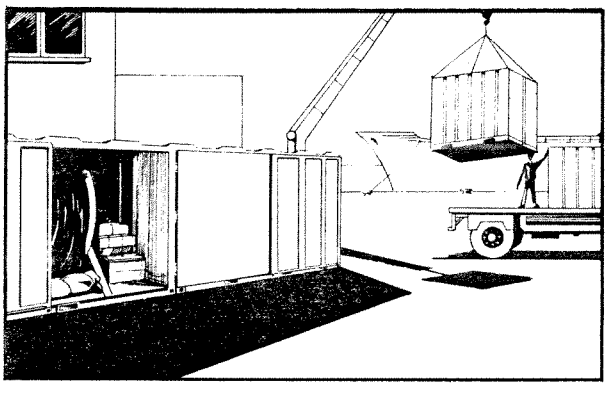
El comité de reacción se reune y analiza lo conocido hasta el momento. El Capitán informa que hasta esa hora se han derramado 2000 toneladas de crudo Arabe Liviano. Se confrontan los informes sobre el tiempo y las corrientes y se indentifican las costas amenazadas según el plan de contingencia. El conocimiento de las características del hidrocarburo permite predecir su destino probable, incluyendo la deriva y tasa natural de disipación. Las observaciones de la apariencia y la deriva del hidrocarburo en el mar transmitidas por las aeronaves de vigilancia confirman que el hidrocarburo representa una seria amenaza para las playas recreacionales, el puerto, el estuario y los pantanos con poblaciones de aves migratorias. Se hacen los arreglos para notificar a las partes interesadas y el Coordinador In-Situ convoca a una reunión para discutir las implicaciones.

El plan debe permitir que el coordinador "In-Situ" (u oficial de guardia) evalúe la situación y estime el riesgo que representa el hidrocarburo para los recursos en peligro. Se deben tomar acciones para:

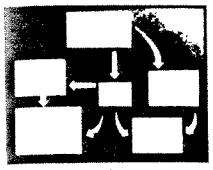
- ***Identificar el tipo de hidrocarburo en términos de gravedad específica, viscosidad, punto de fluidez, contenido de parafina y características de destilación.***
- ***Determinar la trayectoria esperada de la mancha de hidrocarburo a intervalos regulares a partir de la información sobre corrientes, mareas y vientos.***
- ***Considerar la posibilidad de efectuar gestiones para la vigilancia "In Situ" utilizando aeronaves para verificar las predicciones y obtener más detalles.***
- ***Identificar los recursos amenazados.***
- ***Informar a las partes que puedan verse afectadas por el derrame.***

Las fuentes de información requerida para hacer la evaluación necesaria incluyen el plan, el capitán, la empresa de salvamento, el asegurador y la autoridad portuaria.

Decisiones de Reacción



En vista del riesgo, se toma la decisión de efectuar una reacción activa. Se imparten instrucciones para la modificación de una aeronave de ala fija para el rociado de dispersante, la preparación de cubetas de aspersión a ser utilizadas por helicópteros y el alistado de las embarcaciones en posición de alerta. También deberán ser preparadas las barreras para su transporte a los lugares de protección prioritaria y alistado para movilización el equipo de limpieza de playas. No se solicita equipo adicional de otras regiones o paises vecinos. Se delegan las responsabilidades a los supervisores de mar y costa.

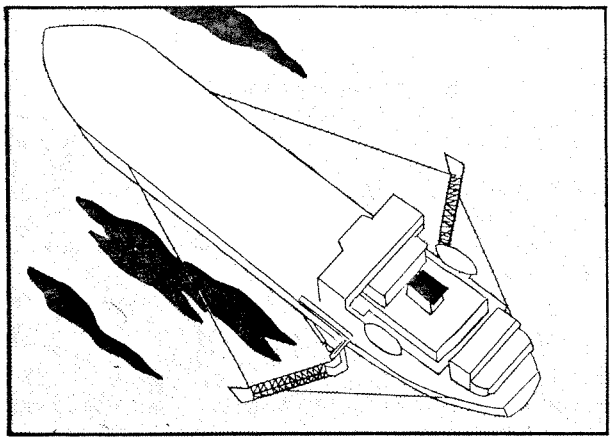


El plan debe contener las diferentes opciones de reacción a ser consideradas.

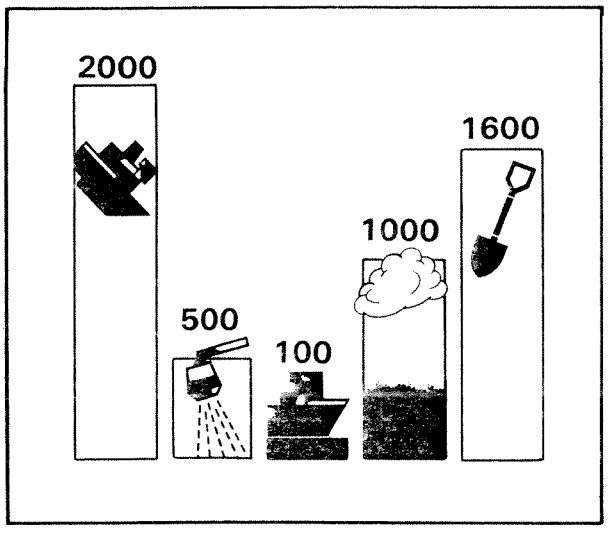
- ***Si no hay recursos claves en peligro, puede que sólo sea necesario vigilar el movimiento y comportamiento de la mancha.***
- ***Si los recursos claves están en peligro, decidir si su protección se logrará mejor combatiendo el hidrocarburo a distancia o utilizando barreras u otras medidas para defender localidades específicas.***
- ***Si no es posible proteger los recursos o si éstos ya han sido afectados, decidir sobre las prioridades de limpieza.***
- ***Seleccionar el equipo y fuerza hombre necesarios y determinar su disponibilidad y ubicación.***

El plan debe comtemplar la posibilidad de que la fuerza hombre y el equipo estén en situación de alerta: el equipo puede ser cargado en vehículos listos para partir y el trabajo de papeleo realizado antes de darse la orden real de movilización.

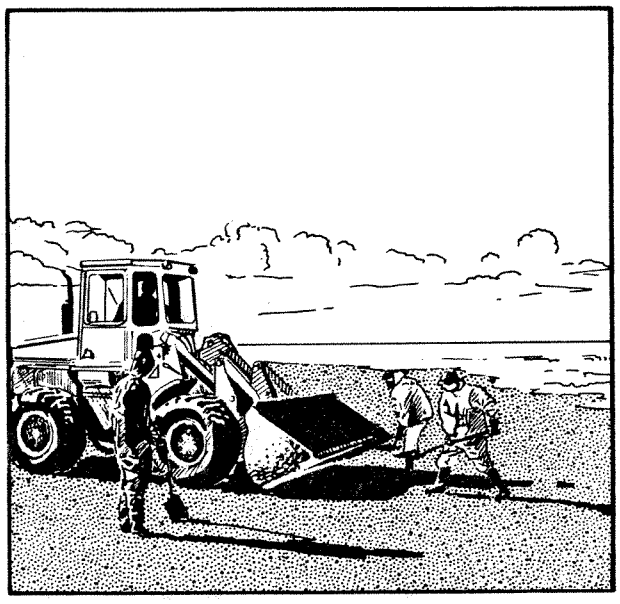
Operaciones de Limpieza



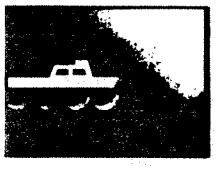
A las 9:00 de la mañana se imparten instrucciones para que las aeronaves comiencen las operaciones de rociado, y las embarcaciones intenten la recuperación del hidrocarburo que no esté siendo rociado. Se comienza el despliegue de barreras en la costa ya que es evidente que la operación en el mar no será totalmente exitosa. En el puerto el despliegue de barreras tiene éxito; pero los planes que no habían sido probados previamente en el estuario y playas de cascajo presentan problemas debido al clima, las condiciones de mareas y equipo inadecuado. Son movilizados los helicópteros con cubetas de aspersión a medida que el hidrocarburo se va acercando a la costa. Se lleva a cabo vigilancia aérea contínua para controlar el movimiento del hidrocarburo y notificar sobre el progreso de la reacción en el mar.



Las operaciones de rociado finalizan durante la tarde debido a que el hidrocarburo ya está demasiado viscoso. Las embarcaciones de recuperación continúan barriendo las hileras bajo la guía de la aeronave de control hasta el atardecer, cuando regresan a puerto para descargar el hidrocarburo recogido. Se estima que al final del primer día, de las 2000 toneladas de hidrocarburo originalmente derramado, 1000 toneladas se han evaporado y dispersado naturalmente, 500 toneladas han sido dispersadas con el uso de químicos y 100 toneladas recuperadas por las embarcaciones. Las restantes 400 toneladas han absorbido cuatro veces su peso en agua para formar 1600 toneladas de "mousse"; casi la misma cantidad que el hidrocarburo originalmente derramado, a pesar de los resultados relativamente exitosos de las operaciones de limpieza en el mar.

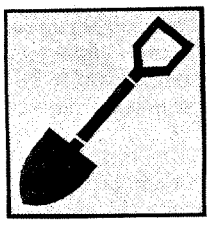


Al segundo día la mayor parte del hidrocarburo restante ha llegado a las costas y los esfuerzos se centran en la limpieza de estas. El hidrocarburo contenido por las barreras en el puerto es recogido con recolectores. La playa de cascajo recreacional sólo ha sido contaminada con hidrocarburo en pequenos sectores, pero el banco de arena y los pantanos se han visto afectados severamente. Se toma la decisión de recoger el hidrocarburo de la costa arenosa utilizando métodos manuales y vehículos de apoyo. En contra de la política previamente establecida, se lleva a cabo la limpieza de los pantanos dado el riesgo para las poblaciones de aves migratorias. La limpieza metódica de las playas arenosas por cuadrillas pequeñas resulta relativamente sencilla pero los problemas de acceso, el daño ocasionado por los vehículos y las dificultades para la remoción de la vegetación contaminada en las zonas de pantano demuestra el porqué la limpieza de tales áreas no fue recomendada en el plan de contingencia.



Se debe establecer el procedimiento para:

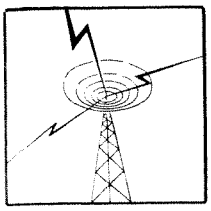
- ***Movilización del equipo y fuerza hombre necesaria***
- ***Despliegue del equipo en el mar y en la costa de acuerdo con la decisión de reacción y la colocación de barreras en los lugares predeterminados para proteger los recursos claves, haciendo referencia a detalles de puntos de anclaje y configuración.***
- ***Organización de un apoyo logístico suficiente para que no ocurran "cuellos de botella", (por ejemplo, entre la recolección de hidrocarburo, el almacenamiento temporal y la eliminación final) y los arreglos para suministros de dispersantes, combustible, alimentos, vestimenta y demás artículos de consumo.***



- ***Utilización de aeronaves para controlar las actividades de limpieza en el mar y mantener la vigilancia general del derrame, tanto en el mar como en la costa.***
- ***Selección de la ruta de eliminación más adecuada dependiendo de la naturaleza del crudo recogido.***
- ***Revisión del progreso de las operaciones de limpieza utilizando la información de la vigilancia aérea y el personal en el lugar para revisar las decisiones de reacción.***
- ***Mantenimiento de registros diarios precisos, para cada punto de limpieza, de todas las acciones tomadas, fuerza hombre y equipo desplegado, cantidad de material utilizado.***

Comunicaciones

Las operaciones de reacción están respaldadas por buenas comunicaciones. La sala de incidentes está equipada con radio para hablar directamente con las embarcaciones y aeronaves que toman parte en la operación y para transmitir la información al puesto de comando móvil. También está provista de líneas telefónicas adecuadas. Las aeronaves de vigilancia y los helicópteros pueden comunicarse directamente con la aeronave de rociado y las embarcaciones de recuperación. En la costa, el puesto de comando móvil y las comunicaciones de radio aseguran el flujo correcto de la información a lo largo de la línea de mando, entre el Coordinador In-Situ, los supervisores de costa y los jefes de las cuadrillas pequenas de trabajo. La buena comunicación con el público es mantenida a través de la preparación de partes informativos para los medios de comunicación.



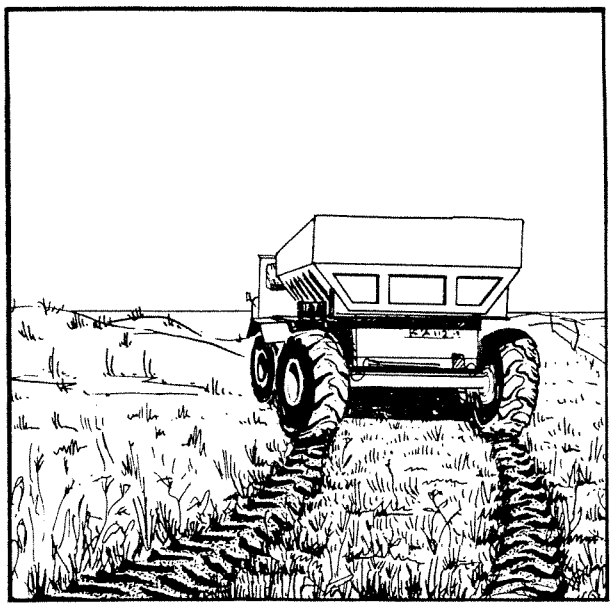
Esta sección del plan debe:

- ***Ubicar los puntos de mando y de comunicación lo más cerca posible del escenario del derrame, asegurándose que toda el área afectada por el derrame sea de fácil alcance por radio o teléfono.***

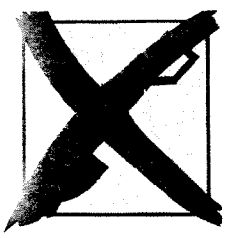
- ***Asegurar que el personal supervisorio tenga el equipo de radio necesario y esté familiarizado con los procedimientos de comunicaciones, números de teléfono, telex y telefax, frecuencias de radio y avisos.***

Es esencial que haya disponsible suficiente equipo de comunicaciones para permitir la transmisión rápida de información e instrucciones entre aeronaves, embarcaciones, vehículos, cuadrillas de limpieza de costas y el punto central de comunicación y mando.

Culminación de la Limpieza



Después de varios dias se concluye la operación de limpieza en los pantanos debido a que ésta causa más daño que el hidrocarburo mismo. Aunque la mayor parte del hidrocarburo de las playas ha sido recogido, debido a que se aproxima la temporada de turismo se deberá proseguir la limpieza de los pequeños grumos de alquitrán que se derretirán con las altas temperaturas. En las costas expuestas no visitadas por el público, el hidrocarburo restante se dejará degradar naturalmente. Se dirige la atención hacia el reacondicionamiento de las áreas utilizadas para el almacenamiento temporal del hidrocarburo y desperdicios recogidos y se hacen los arreglos para la eliminación final de los diferentes desechos. El equipo es devuelto a los depósitos para su limpieza y reparación y se ordena el reabastecimiento de los suministros de dispersantes y otros materiales utilizados. Se comienza un informe detallado de la operación y cotejo del trabajo diario para apoyar los reclamos por compensación.



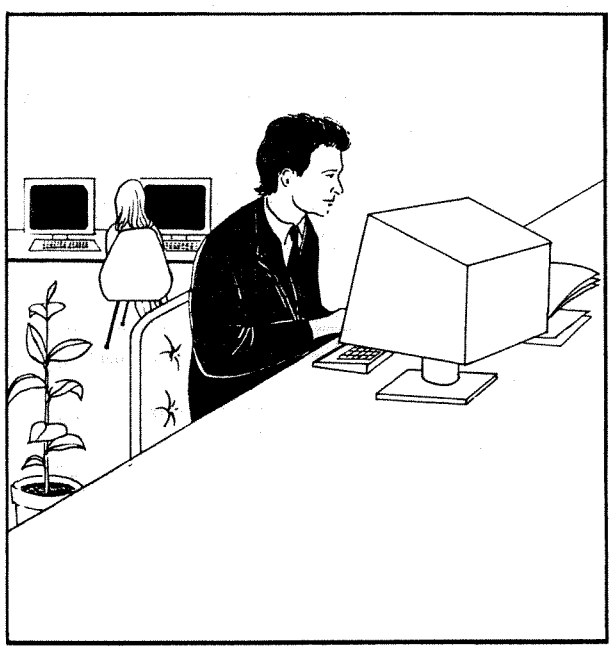
Si bien es importante concluir una operación cuando ya no es efectiva o cuando se ha alcanzado el nivel deseado de limpieza, es difícil ofrecer una guía exacta sobre esto en un plan de contingencia. Sin embargo se deben tomar medidas para:

- ***La comunicación con todas las partes interesadas en cuanto a la conducción de las operaciones y el nivel apropiado de limpieza para cada localidad.***

- ***Desmantelamiento del equipo y su regresso al lugar de almacenamiento para limpieza y mantenimiento. Reabastecimiento de los materiales utilizados y reparacion o reemplazo de equipo danado.***

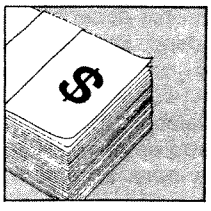
- ***Reacondicionamiento de los puntos temporales de almacenamiento y limpieza de otras áreas de trabajo.***

- ***Preparación de un informe detallado acerca de la operación que podrá ser utilizado como apoyo para cualesquiera reclamos por gastos de limpieza y para revisar el plan de contingencia.***



Esfuerzo de limpieza realizado, equipo empleado y materiales consumidos:-
en el mar: *3 embarcaciones de recuperación, 3 aeronaves de ala fija, 2 helicópteros, 2 unidades de cubetas de aspersión, 25 toneladas de dispersante:*
en la playa de cascajo: *40 días/hombre, 800 metros de barrera, 2 unidades de limpieza a vapor;*
en la playa arenosa: *800 días/hombre, 8 palas mecánicas, 4 camiones de volteo, máquina para limpieza de arena, 8 camiones, forro plástico, 25 toneladas de cal viva;*
en el pantano: *240 días/hombre, 3 tractores, 1 camión de volteo, 650 metros de barrera, 250 metros de vía de grava;*
en el muelle: *80 días/hombre, 300 metros de barrera, 1 recolector de disco, 1 recolector de soga oleofílica, 2 camiones de vacío, 2 unidades de limpieza con vapor, 5 tambores de dispersante, 2 atados de barreras sorbentes.*

En total, 4000 toneladas de desperdicios manchados en almacenamiento temporal para su eliminación final.



La compensación por costos de limpieza y daños por contaminación como resultado de accidentes de embarcaciones normalmente se logra a través de arreglos con las compañías aseguradoras proporcionada por las Asociaciones de Protección e Indemnizaciones (Clubes P & I). En el caso de incidentes de tanqueros pueden haber disponibles fondos adicionales ofrecidos por los armadores como contribución pero están sujetos a ciertas condiciones.

Los reclamos pueden ser formulados por costos incurridos en la prevención y control de la contaminación por hidrocarburo, pérdidas económicas directas y costos de reposición y reparación de propiedades. Idealmente, estos deben contener la siguiente información en un lenguaje apropiado:

- ***Nombre y dirección del demandante.***
- ***Fecha y lugar del incidente.***
- ***Identificación del recurso involucrado.***
- ***Tipo, cantidad e impacto geográfico del hidrocarburo derramado.***
- ***Evidencia en la forma de análisis químico, o movimiento del hidrocarburo flotante para establecer la fuente original de la contaminación y relacionarla con el reclamo.***
- ***Un resumen que describa la secuencia de los eventos; las acciones de reacción tomadas; y el dano causado a propiedad o actividad.***
- ***Un detalle de los costos relacionados con las actividades de limpieza específicas en cada punto de trabajo principal, por ejemplo, costos de mano de obra, equipo, material y transporte en una base diaria o semanal.***
- ***Costos incurridos o anticipados para la reposición o reparación de los artículos danados de tiempo declarado;***
- ***Cálculos comparativos de los ingresos anteriores y ganancias para comprobar las pérdidas económicas.***
- ***Mapas o fotgrafías para ilustrar los puntos anteriores.***

La tramitación de reclamos puede ser lenta y complicada requiriendo una extensa correspondencia, pero los demandantes pueden agilizar el proceso registrando los eventos y gastos y presentando reclamos claros y detallados que puedan ser comprendidos por los que los atienden, quienes quizás no tengan un conocimiento directo del incidente. Al final de esta parte del libro se proporcionan fuentes de información adicional sobre este tema.

DIEZ PREGUNTAS PARA EVALUAR LOS PLANES DE CONTINGENCIA

1. Se ha realizado una evaluación realista sobre la naturaleza y magnitud de la amenaza y de los recursos más amenazados, tomando en consideración el movimiento probable de cualquier hidrocarburo derramado?

2. Se han acordado las prioridades de protección, tomando en consideración la viabilidad de las diferentes opciones de protección y limpieza?

3. Se ha acordado y explicado claramente una estrategia para la protección y limpieza de las diferentes áreas?

4. Se ha definido la organización necesaria y establecido claramente las responsabilidades de todos los involucrados – estarán concientes todos los que tendrán alguna labor que realizar de lo que se espera de ellos?

5. Son suficientes los niveles de equipos, materiales y personal para hacerle frente a un derrame de las dimensiones anticipadas. De lo contrario, se han identificado recursos de apoyo, y donde sean necesarios, se han establecido los mecanismos para su obtención y entrada al país?

6. Han sido identificados los lugares de almacenamiento temporal y medios de eliminación del hidrocarburo y desperdicios recolectados?

7. Se han explicado debidamente los procedimientos iniciales de alerta y evaluación así como las gestiones para la revisión contínua del progreso y efectividad de las operaciones de limpieza?

8. Se han descrito los arreglos para asegurar una comunicación efectiva entre costa, mar y aire?

9. Se han examinado todos los aspectos del plan sin encontrar ninguna falla significativa?

10. Es compatible el plan con los planes para áreas adyacentes y otras actividades?

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

Abecassis, D.W. and Jarashow, R.L (1985) Oil pollution from ships. 2nd Ed. Stevens & Sons, London ISBN 0 420 47000 X. 619 pp.

Gold, E. (1985) Handbook on marine pollution. Assuranceforeningen Gard, Arendal, Norway. 247 pp.

IMO (1978) Manual on oil pollution, Section II (Contingency Planning). IMO, London. 52 pp.

IOPC Fund (1982) Claims manual. IOPC Fund London 6pp.

ITOPF (1985) Contingency planning for oil spills. Technical Information Paper No. 9, ITOPF, London. 8pp.

ITOPF (1986) Action: oil spill. Technical Information Paper No. 12, ITOPF, London. 8pp.

Direcciones útiles:

International Maritime Organization
4 Albert Embankment
London SE1 7SR

Teléfono: (0171) 735 7611
Telex: 23588
Fax: (0171) 587 3210

International Oil Pollution Compensation Fund
4 Albert Embankment
London SE1 7SR

Teléfono: (0171) 582 2606
Telex: 23588
Fax: (0171) 587 3210

Cristal Limited
Staple Hall
Stonehouse Court
87-90 Houndsditch
London EC3A 7AB

Teléfono: (0171) 621 1322
Telex: 888043
Fax: (0171) 626 5913

International Tanker Owners Pollution Federation Limited
Staple Hall
Stonehouse Court
87-90 Houndsditch
London EC3A 7AX

Teléfono: (0171) 621 1255
Telex: 887514
Fax: (0171) 626 5913

AGRADECIMIENTO

AGRADECIMIENTO

La Federación Internacional de Armadores de Tanqueros para Evitar la Contaminación agradece la asistencia proporcionada por numerosas personas y organizaciones en la preparación del Material Técnico Informativo sobre los cuales están basados este libro. Agradecemos en particular a:

J.M. Baker, Field Studies Council, UK
Bermuda Biological Station
Biggs Wall Fabricators, UK
E. Blomberg, Sweden
C. Bocard, Institut Francais de Petrole, France
British Petroleum Group Environmental Services, UK
J.A. Butt, Shell International Marine, UK
G. Canevari, Exxon Research & Engineering, USA
CEDRE, France
Chevron Shipping Company, USA
J. Churchill, Harvest Air, UK
R.B. Clark, University of Newcastle, UK
C.R. Corbett, United States Coast Guard
CRISTAL, UK
Department of Agriculture and Fisheries for Scotland, UK
A.C. Dykes, Thomas Miller P&I, UK
B. Emery, Conair, Canada
Esso Petroleum, UK
J.A. Galt, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA
C. Getter, USA
E. Gilfillan, Bowdoin College, USA
L. Giulini, USA
M.S. Greenham, Canadian Coast Guard
E.R. Gundlach, USA
T.M. Hayes, International Maritime Organization
S. Hope, IPIECA, UK
I.W. Hughes, Department of Agriculture and Fisheries Bermuda
IVL – Swedish Environmental Research Institute
International Oil Pollution Compensation Fund
T.G. Jacques, Ministere de la Sante Publique et de la Famille, Belgium
B. Koons, Exxon Production Research, USA
P. Korver, Netherlands
H.W. Lichte, USA
J. Lindstedt-Siva, Atlantic Richfield, USA
D. Mackay, University of Toronto, Canada
C.D. McAuliffe, Chevron Oil Field Research, USA
Marine Pollution Control Unit, UK
Micronair (Aerial), UK
Ministry of Agriculture, Fisheries & Food, UK
M. Moffatt, Canadian Coast Guard
D.S.F. Mulligan, South Africa
North Sea Directorate, Rijkswaterstaat, Netherlands
Oil Pollution Research Unit, UK
E.H. Owens, Geoscience Services, UK
D.S. Page, Bowdoin College, USA
W. Park, Mobil Oil, USA
K. Port, Department of the Environment, UK
B. Pyburn, British Petroleum, UK
A.D. Read, Exploration and Production Forum, UK
S.L. Ross, Canada
Rotortech, UK
J.K. Rudd, Amoco Europe & West Africa, UK
R. Seward, Tindall, Riley, UK
L.B. Solsberg, Canada
J. Spillman, Cranfield Institute of Technology, UK
P.S. Stamp, National Agency of Environmental Protection, Denmark
G. Teasdale, Ministry of Defence, UK
O. Terling, Sweden
N. Thelwell, Imperial Chemical Industries, UK
S. Uhler, Swedish Coast Guard
UMP Chemicals, UK
D. Voy, CB Helicopters, UK
Warren Spring Laboratory, UK
J. Wardley-Smith, UK
E.C. Wayment, Santos, Australia
J. Wonham, International Maritime Organization

La diagramación y la mayoría de las ilustraciones para la serie realizadas por Chris Goodman
Traducido por Lorenzo Giulini
Ayuda adicional de Virginia Lester