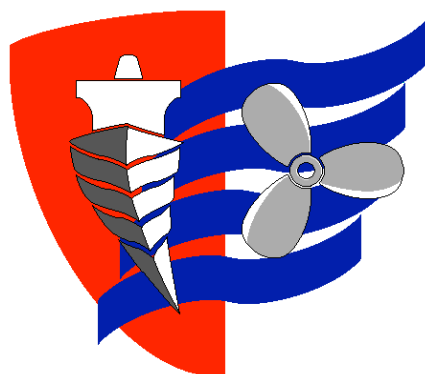


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Master

INICIACIÓN A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS

INTRODUCTION TO OIL SPILLS

Para acceder al Título de

**Master en Ingeniería Náutica y Gestión
Marítima**

Autor: D. Aitor Cabo Rivera.

Director: Dr. Ernesto Madariaga Domínguez.

Octubre – 2015

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Trabajo Fin de Master

**INICIACIÓN A LOS DERRAMES DE
HIDROCARBUROS**

INTRODUCTION TO OIL SPILLS

Para acceder al Título de

**Master en Ingeniería Náutica y Gestión
Marítima**

Octubre - 2015

RESUMEN:

Con este Trabajo Fin de Master titulado **“INICIACION A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS”**, se intenta dar una pequeña visión de todos aquellos factores y circunstancias que afectan y que crean los vertidos de hidrocarburos al mar. A través del trabajo, iremos descubriendo los tipos de hidrocarburos, su comportamiento, como inspeccionar un derrame y los planes de contingencia para actuar en caso de que se produzca un vertido a la mar.

PALABRAS CLAVE.

Seguridad Marítima, Contaminación Marítima, Derrame, Vertido, Hidrocarburo, Petróleo, Skimmer, Barreras, Planes de contención, MARPOL 73/78.

ABSTRAT.

With this Master's Thesis entitled **"INTRODUCTION TO OIL SPILLS"** it is intended to give a glimpse of all the factors and circumstances that affect and create oil spills at sea. Through this thesis, we will discover the types of hydrocarbons, their behavior, how to inspect a spill, contingency plans and to act in case of a spill occurs at sea.

KEYWORDS.

Maritime Safety, Maritime Pollution, Oil Spill, Spill, Hydrocarbon oil Skimmer, Barriers, Containment plans, MARPOL 73/78.

ÍNDICE.

RESUMEN:	3
PALABRAS CLAVE.	3
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO.	7
1.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO FIN DE GRADO.	8
2. CAPÍTULO II: ANTECEDENTES.	10
2.1. ANTECEDENTES	11
3. CAPÍTULO III: OBJETIVOS.	27
3.1. OBJETIVOS FUNDAMENTALES.	28
3.2. OBJETIVOS METODOLÓGICOS.	29
4. CAPÍTULO IV: INICIACIÓN A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS.....	30
4.1. DERRAMES DE HIDROCARBUROS.	31
4.2. TIPOS DE HIDROCARBUROS.	31
4.2.1. CRUDOS	32
4.2.2. PRODUCTOS DEL PETROLEO	33
4.2.3. ACEITES LUBRICANTES.	34
4.3. FUENTES DE HIDROCARBUROS.	34
4.3.1. PERDIDAS EN EL TRANSPORTE.	35
4.3.2. DERRAMES ACCIDENTALES DEBIDO A BUQUES PETROLEROS... 35	
4.3.3. ACTIVIDADES DE EXPLORACION Y PRODUCCION EN EL MAR.	36
4.3.4. VERTIDOS TERRESTRES Y ATMOSFERICOS.	37
4.3.5. FILTRACIONES NATURALES Y EROSION.	37
4.4. COMPORTAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS EN EL MEDIO MARINO.	37
4.4.1. PROPIEDADES DEL PETROLEO.	38
4.4.2. PROCESOS DE DEGRADACION NATURAL.	39
4.4.3. DISEMINACION.	40
4.4.4. EVAPORACION.	41
4.4.5. DISPERSION.	41
4.4.6. EMULSIFICACION.	42
4.4.7. DISOLUCION.	43
4.4.8. OXIDACION.	44
4.4.9. SEDIMENTACION.	44
4.4.10. BIODEGRADACION.	45
4.4.11. PROCESOS COMBINADOS.	46
4.4.12. PREDICCION DEL MOVIMIENTO DE LA MANCHA.	51
4.5. INSPECCION AEREA DE LA MAR.	53
4.5.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE AERONAVE.	53
4.5.2. PATRONES DE BUSQUEDA.	54
4.5.3. APARIENCIA DEL PETROLEO EN EL MAR.	55
4.5.4. SISTEMAS DE AYUDA A LA DETECCION DEL PETROLEO DESDE EL AIRE. 56	

4.5.5. ESTIMACION VISUAL DE LA CANTIDAD DE PETROLEO.....	57
4.6. RECONOCIMIENTO Y ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE PETROLEO VARADO.	59
4.6.1. ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE PETROLEO VARADO EN LA COSTA.	60
4.6.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.....	61
4.7. EFECTOS DE LOS DERRAMES DE PETROLEO.	63
4.7.1. IMPACTO DEL PETROLEO EN LAS ACTIVIDADES COSTERAS.....	63
4.7.2. EFECTOS BIOLOGICOS DEL PETROLEO.	65
4.7.3. IMPACTO DEL PETROLEO EN HABITATS MARINOS ESPECIFICOS.	67
4.7.4. IMPACTO DEL PETROLEO EN LA PESCA Y LOS CULTIVOS MARINOS.	72
4.8. PLANES DE CONTINGENCIA.	74
4.9. CONTENCIÓN Y RECUPERACIÓN.	75
4.9.1. CONTENCIÓN.	76
4.9.2. RECUPERACION DEL PETROLEO.	86
4.10. OPERACIONES EN LA MAR.	96
4.10.1. OPERACIONES EMPLEANDO VARIOS BUQUES.	97
4.10.2. OPERACIONES CON UN SOLO BUQUE.	100
4.10.3. CONTROL DE LAS OPERACIONES.	102
4.11. OPERACIONES EN LA COSTA.	103
4.11.1. CONTENCIÓN DEL PETROLEO EN LA FUENTE.	104
4.11.2. PROTECCIÓN DE AREAS SENSIBLES.....	104
4.11.3. DESVIACIÓN DEL PETROLEO.	106
4.11.4. AMARRE DE LAS BARRERAS.	106
4.11.5. OTROS USOS DE LAS BARRERAS.	110
4.11.6. INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO.....	110
4.12. EMPLEO DE DISPERSANTES.	112
4.12.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPERSANTES.	113
4.12.2. MÉTODOS DE APLICACIÓN EN LA MAR.	118
4.13. EMPLEO DE DISPERSANTES EN LA LIMPIEZA DE LA COSTA.	133
4.13.1. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES DEL USO DE DISPERSANTES.	135
4.14. PLANIFICACIÓN PRE-DERRAME.	137
4.14.1. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.	137
4.14.2. RESERVAS Y ALMACENAMIENTO.	138
4.14.3. DISPONIBILIDAD DE BUQUES Y AERONAVES.	139
4.15. LIMPIEZA DE LA COSTA.	139
4.15.1. ESTRATEGIA DE LIMPIEZA.....	140
4.15.2. TÉCNICAS DE LIMPIEZA.	143
4.15.3. ORGANIZACIÓN.	153
4.16. ELIMINACIÓN DEL PETROLEO Y DE LOS ESCOMBROS.	155
4.16.1. TIPO Y NATURALEZA DEL PETROLEO Y DE LOS ESCOMBROS OLEOSOS.	155
4.16.2. ALMACENAMIENTO Y PREPARACIÓN DEL PETROLEO PARA SU ELIMINACIÓN.	156
4.16.3. FORMAS DE ELIMINACIÓN.	158
4.17. PLANES DE CONTINGENCIA	167

5. CONCLUSIONES.	170
6. BIBLIOGRAFÍA.	173

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO FIN DE GRADO.

Por medio de este Trabajo Fin de Master titulado “**INICIACION A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS**”, se intenta dar una pequeña visión de todos aquellos factores y circunstancias que afectan y que crean los vertidos de hidrocarburos al mar. A través del trabajo, iremos descubriendo los tipos de hidrocarburos, su comportamiento, como inspeccionar un derrame y los planes de contingencia para actuar en caso de que se produzca un vertido a la mar.

La idea de crear una guía de iniciación a los derrames de hidrocarburos surge del desconocimiento que he encontrado a lo largo de mi vida profesional sobre como actuar en estas circunstancias. Muchos de los marinos que hemos navegado un cierto tiempo hemos sufrido algún tipo de derrame y en este momento nos hemos dado cuenta que no tenemos los conocimientos adecuados para atacar este incidente o accidente de la manera correcta.

A lo largo del ultimo siglo, se han ocasionado grandes desastres medioambientales debido a accidentes marítimos. A todos nos vienen a la cabeza los accidentes del Exxon Valdez o el Prestige, accidentes que terminaron ocasionando unos grandes daños económicos y sobre todo, ecológicos, que llevaron a la destrucción de hábitat marinos afectados por los vertidos. Estos accidentes son más llamativos, pero cada día se producen en miles de puertos a lo largo del planeta pequeños vertidos que producen contaminación, estos vertidos también han de ser combatidos día a día.

En el mercado existen miles de productos, barreras, dispersantes y equipos para la lucha contra los derrames de hidrocarburos. Pero la pregunta sería ¿Cuál es el más adecuado para cada caso?. Para esto, es necesario tener conocimientos del comportamiento del hidrocarburo en cuestión, para poder elegir el producto más adecuado en cada caso y llevar a cabo un tratamiento propicio. A lo largo de este texto tratare de iniciar al

lector en los productos derivados del petróleo y en los medios existentes en el mercado para combatir la contaminación, así como la preparación de los planes de contingencia para supuestos casos de vertidos.

Este trabajo, se ha realizado consultando diversas guías, manuales y convenios en vigor hasta el año 2015. Actualmente, se encuentra en vías de desarrollo el nuevo “Código Polar” de la Organización Marítima Internacional. Este código, además de afectar a los buques que operan en aguas polares, originara una serie de cambios en los convenios SOLAS y MARPOL. Estas nuevas enmiendas al convenio SOLAS y MARPOL entraran en vigor el 1 de enero de 2017, dichas enmiendas obligatorias se aprobaron en el Comité de protección del medio marino el mes de Octubre de 2014 y harán cambiar muchos de los conceptos que ahora manejamos en materia de lucha contra la contaminación en el medio marino.

Una vez finalizada la lectura de este trabajo final de Master espero que el lector pueda considerar que ha obtenido unos conocimientos básicos de cómo se ha de actuar ante un derrame por hidrocarburos y pueda elegir un medio de actuación eficaz contra el mismo.

2. CAPÍTULO II: ANTECEDENTES.

2.1. ANTECEDENTES

La contaminación del medio marino por hidrocarburos ha hecho que haya surgido con los años una normativa internacional y nacional preventiva y sancionadora.

En materia internacional, varios convenios y tratados han sido elaborados y tratados sobre este tema, gracias a la actividad de las organizaciones especializadas, internacionales y no gubernamentales. Cabe destacar las acciones de la Organización Marítima internacional (OMI) por medio de sus comités de seguridad marítima, de protección del medio marino y jurídico, orientadas a la seguridad del transporte marítimo y la prevención de la contaminación por los buques.

La trascendencia de esta contaminación del medio marino ha impulsado el desarrollo y la adopción de normas jurídicas y de medidas tendientes a prevenirla, a luchar contra ella con respuestas y tratamientos rápidos y eficaces ante las situaciones de emergencia, a determinar responsabilidades y establecer indemnizaciones equitativas, todo ello tanto a nivel internacional como nacional y con referencia a la contaminación por hidrocarburos, por residuos radiactivos, por productos químicos, y por otras fuentes de origen terrestre.

El convenio OILPOL 54, adoptado en una conferencia internacional organizada por el Reino Unido en 1954 y conocido como OILPOL 54, fue el primer intento importante por parte de las naciones marítimas, para disminuir las consecuencias de la contaminación del mar causada por los hidrocarburos. Al poco tiempo de entrar en vigor el Convenio constitutivo de la OMI en 1958, la Organización pasó a ser la depositaria del OILPOL 54.

El Convenio tuvo como objetivo controlar el problema de la contaminación resultante de las descargas operacionales de los buques

tanque petroleros, y de las descargas de las aguas oleosas de las salas de máquinas de todos los buques. Debido al criterio prohibitivo de su redacción el OILPOL 54 fue objeto de enmiendas en 1962 y 1969, estas últimas como consecuencia del siniestro del "Torrey Canyon", que en 1967 derramó 118.000 ton. de hidrocarburos en las costas inglesas. Posteriormente este Convenio fue sustituido por el MARPOL 73/78. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

A raíz del accidente acontecido del "Torrey Canyon" aparece el convenio internacional relativa a la intervención en alta mar en casos de accidentes que causen una contaminación por hidrocarburos, el convenio INTERVENTION 1969.

Este Convenio fue adoptado por la OMI a raíz del desastre del "Torrey Canyon". Este convenio otorga a las partes a tomar en altamar medidas para prevenir, mitigar o eliminar peligros graves o inminentes contra su litoral o interés conexos, debido a la contaminación por hidrocarburo o amenazas en tal sentido, a consecuencia de un accidente marítimo al que sean atribuibles consecuencias desastrosas de gran magnitud. Permitiendo después reclamar el resarcimiento de los daños mediante la constitución de una "comisión de conciliación" y en segunda instancia, arbitraje. Entró en vigor en 1975 y, mediante un Protocolo adoptado en 1983, fue ampliado para que abarcara otras sustancias potencialmente peligrosas, como los productos químicos. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

El Torrey Canyon fue el primero de los grandes superpetroleros, capaz de transportar una carga de 120 000 toneladas de petróleo, y que se hundió en el sur de la costa de Inglaterra en 1967, provocando un desastre ecológico.

Fue construido en los Estados Unidos en 1959, con una capacidad original de 60 000 t, pero aumentada a 120 000 t más tarde en Japón. En el momento del accidente era propiedad de *Barracuda Tanker Corporation*, una

subsidiaria de la Union Oil Company de California, bajo control de British Petroleum. Medía casi 300 m de eslora.

Su último viaje bajo bandera liberiana partió de Mena Al-Ahmadi, Kuwait, el 19 de febrero de 1967 con una carga completa de petróleo, y alcanzó las Islas Canarias el 14 de marzo. Desde allí, continuó su ruta hacia Milford Haven.

El 18 de marzo de 1967, por culpa de un error de navegación, el “Torrey Canyon” encalló cerca de las Islas Sorlingas, provocando uno de los mayores desastres ambientales en las costas de Inglaterra y Francia.

Este fue el primer gran vertido de crudo, por lo que no había ninguna planificación a seguir. Se acometieron varios intentos sin éxito de reflotar el barco, y un miembro del equipo de salvamento falleció. Los intentos de utilizar productos químicos dispersantes para contener el petróleo tuvieron también poco éxito, debido a su inoperancia en alta mar.

En un esfuerzo por incendiar el petróleo del buque y reducir el crudo vertido, el primer ministro Harold Wilson autorizó el bombardeo por la Real Fuerza Aérea con napalm y otros explosivos.

Foto 1: Derrame de petróleo. Impresionante imagen del derrame del petrolero Torrey Canyon capturada por el fotógrafo Jane Bown.



Fuente: (BOWN, Jane)

Alrededor de 180 km de costas inglesas y 80 km de costas francesas fueron contaminadas, y murieron unas 15.000 aves marinas aproximadamente, junto a una enorme cantidad de organismos marinos en las 380 km² que se dispersó la mancha de petróleo. Mayor aún fue el daño causado por el uso de detergentes para intentar controlar la mancha. Más de 10.000 ton de sustancias químicas fueron utilizadas sobre el petróleo para emulsionarlo y recogerlo.

Foto 2: El **Torrey Canyon** fue el primero de los grandes superpetroleros, capaz de transportar una carga de 120 000 toneladas de petróleo, y que se hundió en el sur de la costa de Inglaterra en 1967.



Fuente: (TOXIPEDIA)

En el año 1969, también como consecuencia del accidente del buque “Torrey Canyon” surge el Convenio internacional sobre responsabilidad civil de daños debido a contaminación por hidrocarburos (CLC1969).

Este Convenio, su instrumentación persigue que se garantice una indemnización adecuada a las personas damnificadas por contaminación por hidrocarburos, estableciendo la responsabilidad objetiva y concurrente de los propietarios de los buques que originaron el suceso, permitiendo limitar esa responsabilidad a un monto calculado en base al arqueo. A tal fin obliga a tener un seguro por daños a terceros originados en los derrames, que cubran hasta dicho límite de responsabilidad. Este Convenio entró en vigor en 1975 y el monto indemnizatorio establecido fue ampliado considerablemente por un Protocolo adoptado en 1992. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

En el año 1972 se origina por una conferencia convocada por el Reino Unido el denominado convenio de Londres, Si bien fue adoptado en una Conferencia convocada por el Reino Unido y no por la OMI, ésta asumió

las funciones de Secretaría vinculadas al Convenio desde que éste entró en vigor en 1975.

El propósito de este Convenio es prevenir o limitar toda evacuación deliberada en el mar de diversos tipos de desechos producidos en tierra, que son cargados en buques para tal fin. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

El accidente del buque “Torrey Canyon” en el año 1967 hizo sensibilizar la opinión pública, lo que hizo que la Organización Marítima Internacional (OMI) convocase una conferencia internacional, que tuvo lugar en Londres en 1973.

Tras el hundimiento de este superpetrolero tuvo lugar la conferencia internacional convocada por la OMI en Londres y en esta se logró el consenso para adoptar un nuevo convenio el 2 de Noviembre de 1973. Naciendo así el Convenio conocido como MARPOL 73.

El convenio MARPOL 73/78 (abreviación de polución marina y años 1973 y 1978) se aprobó inicialmente en 1973, pero nunca entró en vigor, más tarde en el año 1978 se modificó el convenio MARPOL 73 por el protocolo del 17 de febrero de 1978, conociéndose desde ese momento como MARPOL 73/78.

Este Convenio conocido como MARPOL 73/78, es el que ha sucedido y reemplazado al OILPOL 54. El gran desarrollo del transporte marítimo de hidrocarburos y el considerable aumento en las dimensiones de los buques tanque que se produjo en la década del 60, así como el incremento del transporte de productos químicos por vía marítima y la creciente preocupación por el medio ambiente en general, hicieron ver a muchos países que, pese a las varias enmiendas adoptadas, el Convenio de 1954 de neto corte prohibitivo, había quedado desactualizado.

Los motivos mencionados y el recuerdo del naufragio del Torrey Canyon ocurrido dos años antes, hizo que la Asamblea de la OMI de 1969 decidiera convocar una conferencia internacional que se celebró en Londres en 1973, con el objeto de adoptar un convenio totalmente nuevo. El Convenio que adoptó dicha Conferencia es el más ambicioso de los tratados internacionales jamás concebidos en materia de contaminación del mar. A diferencia del OILPOL 54, no se ocupa sólo de los hidrocarburos sino que incluye normas sobre otras sustancias contaminantes transportadas o producidas por los buques. La Organización Marítima Internacional (OMI), ha venido ayudando durante años a la reducción de los vertidos de hidrocarburos producidos por las descargas operacionales de los buques, mediante diversos convenios internacionales, de entre los que destaca el Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación , mas conocido como MARPOL 73/78.

La matriz principal de la versión actual es la modificación mediante el Protocolo de 1978 y ha sido modificada desde entonces por numeras correcciones. Entró en vigor el 2 de octubre de 1983. Actualmente 119 países lo han ratificado. Su objetivo es preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas, así como la minimización de las posibles descargas accidentales.

Comprende seis anexos que tratan los siguientes temas:

- Anexo I: Hidrocarburos (Entró en vigor el 2/10/83)
- Anexo II: Sustancias nocivas líquidas transportadas a granel (Entró en vigor el 6/4/87)
- Anexo III: Sustancias perjudiciales transportadas en bultos (Entró en vigor el 1/7/92).
- Anexo IV: Aguas sucias de los buques (En vigor desde el 27-09-03)

- Anexo V: Basuras de los buques (En vigor desde el 01-07-96)

- Anexo VI: En 1997 se convocó a una conferencia diplomática a efectos de incorporar al Convenio, el nuevo Anexo VI sobre Prevención de la Contaminación por las emisiones gaseosas de los buques, que contempla a las sustancias agotadoras de la capa de ozono atmosférica, la generación de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, (que producen lluvia acida), la contaminación por vapores de compuestos orgánicos y la generación de gases de invernadero. Este Protocolo se encuentra en vigor internacionalmente desde el 19-05-05, pero aún no ha sido aprobado por nuestro país.

Los Anexos I y II son obligatorios, es decir, que los Estados que adhieren al Convenio deben cumplir con las normas contenidas en los mismos. Los Anexos III, IV, V y VI son facultativos, es decir, que al ratificar el Convenio un Estado puede optar por aceptarlos o no.

Si bien se esperaba que el Convenio MARPOL 73 entrara en vigor rápidamente, debido a algunos problemas de orden técnico, fundamentalmente relacionados con las reglas del Anexo II, su proceso hacia la ratificación fue muy lento y en definitiva nunca se concretó.

En los años 1976 y 1977 se produjeron una serie de accidentes de buques petroleros en la costa este de los Estados Unidos.

A raíz de ello, este país pidió a la OMI que convocara una conferencia para estudiar medidas adicionales. En 1978 se celebró en Londres la Conferencia internacional sobre seguridad de buques tanques y prevención de la contaminación, adoptándose cambios al MARPOL 73 y al SOLAS 74 (Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar), los que fueron recogidos en dos Protocolos.

En dicha Conferencia se decidió que el MARPOL entrara en vigor junto con su Protocolo, difiriéndose por tres años la implantación del Anexo II a partir de que ello se produjera. El Convenio MARPOL 1973 y su Protocolo 1978 pasaron a formar un sólo instrumento conocido como MARPOL 73/78, el que entró en vigor el 2/10/83. A partir de su entrada en vigor, el MARPOL 73/78 ha sufrido sucesivas enmiendas, siendo la más importante la realizada en 2005, que lleva el texto del Anexo I de 26 a 39 Reglas y en el caso del Anexo II de 15 a 18. Entrando en vigencia el 01 de enero de 2007.

Desde su entrada en vigor el MARPOL 73/78 ha contribuido eficazmente a disminuir la contaminación de los mares, habiendo producido especialmente un efecto considerable en la reducción de la cantidad de hidrocarburos que se descargan operacional o accidentalmente en los mismos. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

Una vez el MARPOL 73/78 haya sido implantado completamente, permitirá nuevas e importantes reducciones de las cantidades de hidrocarburos descargadas al mar. Además de limitar la cantidad de hidrocarburos que van a parar al mar, el MARPOL 73/78 exige que las descargas se hagan conforme a procedimientos operacionales estrictos de modo que los hidrocarburos no formen una mancha persistente que requiera medidas de limpieza. Por consiguiente, quedan, como causa importante de la contaminación a gran escala, los derrames accidentales, particularmente los procedentes de los buques tanque. También en este campo la OMI ha fomentado normas de seguridad y funcionamiento mas elevadas, por ejemplo, el Convenio Internacional para la Seguridad de la vida humana en la mar SOLAS 1974 y su correspondiente Protocolo de 1978.

Los derrames por hidrocarburos pueden tener graves consecuencias para las actividades costeras y para los que utilizan o explotan los recursos del mar. En la mayor parte de los casos, esos daños son temporales y se deben esencialmente a las propiedades físicas de los hidrocarburos, que causan molestias y crean condiciones peligrosas. Sin embargo, en algunas

situaciones pueden ser necesarios muchos años para que se produzca la recuperación y en algunas ocasiones, el daño puede ser irreparable. El efecto sobre la vida marina es una combinación de la toxicidad debida a la composición química de los hidrocarburos, así como de la diversidad y variabilidad de los sistemas biológicos y de su sensibilidad a la contaminación por hidrocarburos. Sin embargo, es posible minimizar a menudo los daños causados al medio ambiente si se toman rápidamente las medidas correctivas que sean necesarias.

En el año 1990, debido a la guerra del golfo, surge el Convenio Internacional sobre cooperación, preparación y lucha contra la contaminación por hidrocarburos (OPRC 90)

Este instrumento conocido como Convenio OPRC, fue adoptado en noviembre de 1990 con el fin de proporcionar un marco global para responder a los desastres más importantes ocasionados por la contaminación. El mismo otorga una fundamental tarea de coordinación a la OMI y tuvo su debut con los graves sucesos de contaminación por hidrocarburos producidos durante la guerra del Golfo, al año siguiente.

Este Convenio alienta a las partes a establecer planes de emergencias para la lucha contra los derrames de hidrocarburos, así como el entrenamiento del personal y el acopio del equipamiento necesario. Del mismo modo insta a establecer convenios de cooperación entre las partes a nivel regional mediante las cuales puedan compartir su equipamiento y recursos humanos en caso necesario, tal como el intercambio de información. (ARGENTINA, Prefectura Naval)

Foto 3: Guerra del Golfo(2 de agosto de 1990 - 28 de febrero de 1991)



Fuente: (RESERVA, La)

Los avances en materia de contaminación nunca cesan, tristemente en la mayor de las ocasiones ocasionados por nuevos accidentes y derrames de hidrocarburos, y es por ello que día a día surgen nuevos códigos y leyes que legislan en esta materia.

Foto 4: Limpieza derrame “Prestige”. Un grupo de voluntarios trabaja en la localidad de Muxía, en la limpieza del vertido del fuel vertido por el petrolero “prestige”.



Fuente: (HUERTAS, Ángeles)

De esta forma, el pasado 21 de noviembre de 2014, y tras más de cuatro años de trabajos, el Comité de Seguridad Marítima de la Organización Marítima Internacional (OMI) aprobó el Código Internacional para los buques que operen en aguas polares, conocido como el “Código Polar”.

Este importante hito pretende responder al cambio climático experimentado en la región ártica, que ha facilitado la apertura de rutas de navegación por sus aguas y ha aumentado el interés político, estratégico y comercial como paso internacional en el transporte de mercancías de esta región del mundo.

Los buques que operan en aguas polares están sometidos a riesgos muy específicos, como son las condiciones meteorológicas especialmente adversas, la dificultad de localización y de rescate, la precariedad de la cartografía y de los sistemas de comunicación y la escasez en los sistemas de ayuda a la navegación. Además, las condiciones extremas de temperatura y hielo requieren no solamente de medidas constructivas específicas para los buques y los equipos a bordo, sino también de una formación particular de la tripulación que garantice su seguridad, así como de estándares operativos que reduzcan el riesgo de siniestros y de

contaminación, teniendo en cuenta además la especial fragilidad del medio natural en esta zona.

Todo ello, además de la diversidad normativa regional, internacional y nacional aplicable en la región ártica, hizo necesario establecer un marco legal obligatorio adecuado para garantizar la seguridad de la navegación y la protección del medio marino en el Ártico, marco que se ha materializado, de momento, en el Código Polar.

El Código establece medidas de obligado cumplimiento a través de un sistema de enmiendas a dos Convenios internacionales de amplia ratificación mundial, el Convenio SOLAS y el Convenio MARPOL y mediante la adición de nuevos capítulos y el uso del procedimiento de aceptación tácita de los mismos.

De este modo, en noviembre de 2014 se ha aprobado la inclusión del capítulo XIV al Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS), capítulo relativo a la seguridad para buques que operen en aguas polares, que regula la construcción y adecuación del buque y su equipo, las indicaciones para la navegación entre hielos, así como normas salvamento y formación de las tripulaciones en aguas polares.

Además, se prevé que en mayo de 2015 la OMI apruebe las correspondientes enmiendas al Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques (MARPOL), que abordará los aspectos de protección medioambiental para el tráfico en las aguas polares.

La estructura del Código se divide en dos partes, una parte A de disposiciones obligatorias, y una parte B de recomendaciones. Asimismo, el Código distingue tres tipos de zonas de navegación en aguas polares y exige más o menos requisitos a los buques en función de la zona por la que pretendan navegar.

En relación a lo anterior, el Código prevé la emisión de un Certificado de Buque Polar que tendrá tres niveles, en función de las zonas de navegación permitidas o restringidas en las que se pretenda operar,

certificado en el que se indicarán las condiciones ambientales y la capacidad operativa y los elementos de diseño y estructurales del buque para operar en dichas aguas polares. Dicho Certificado deberá ser emitido tras la revisión inicial o con la renovación a todo buque que cumpla con los requisitos de la Parte A del Código.

Las reglas del Código Polar entrarán en vigor el 1 de enero de 2017, fecha a partir de la cual las nuevas construcciones de buques deberán de tomar en consideración las prescripciones del Código, así como a los buques ya construidos, que deberán adaptarse a partir de dicha fecha a los requisitos impuestos en el Código para obtener los certificados de renovación correspondientes si quieren poder operar en aguas polares.

El Certificado de Buque Polar deberá, a su vez, ser complementado por un Manual Operacional en Aguas Polares, que contendrá las principales características del buque y deberá ser aprobado por la Administración u Organismo reconocido.

Es precisamente en los apartados de diseño (incluyendo los capítulos dedicados a la integridad estructural del buque o a la estabilidad para contrarrestar los efectos de los vientos y la acumulación de hielo), así como en los aspectos de equipamiento y maquinaria donde la implantación obligatoria del Código ofrece nuevas oportunidades de negocio a la industria naval, de ingeniería y auxiliar española, sectores que cuentan con un reconocido prestigio y solvencia en el mercado mundial.

Foto 5: Buque navegando por el Ártico



Fuente: (OMI)

De esta forma, el sector de la construcción, diseño, reparación y suministro naval español, dedicado generalmente a buques tecnológicamente muy sofisticados en sectores específicos (buques oceanográficos, buques support o de apoyo a plataformas petrolíferas, o buques de pesca-factoría), podría beneficiarse de su buena reputación internacional, su experiencia y su alto grado de avance tecnológico para especializarse en un sector (el de los buques polares) que, siendo aun comparativamente residual, prevé un crecimiento progresivo de pedidos con la apertura de las rutas marítimas por las aguas polares.

Entre el tipo de buques que podrían ser objeto de adaptaciones obligatorias, cabe destacar los buques de crucero, mercado que ya está recalando en astilleros españoles para realizar reparaciones y suministros de todo tipo, y que opera tanto en aguas mediterráneas y caribeñas como en aguas polares. Estos cruceros deberán adaptar, en determinados casos, sus equipos y sistemas (tales como la maquinaria, los sistemas principales del buque, los equipos de comunicación y navegación, los sistemas contraincendios, de salvamento, de amarre, etc.) a los requisitos de resistencia a las temperaturas y a la presencia de hielo que impone el Código.

En definitiva, el Código Polar añade nuevos requerimientos a los buques que operen en aguas polares, abarcando cuestiones tales como el diseño, la construcción, el equipo y la operación de los buques, que ofrece oportunidades de negocio para aquellos operadores de la industria naval, de ingeniería y auxiliar española que sepan adaptarse a este mercado y se anticipen a sus competidores mundiales. (DABIC, Markus Gómez)

Foto 6: ¿Qué supone el Código Polar para la seguridad de los buques?

Fuente: (ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL)

A lo largo del presente trabajo se irán dando unos conceptos básicos sobre ideas y actuaciones generales sobre las medidas prácticas de respuesta que existen para hacer frente a los derrames por hidrocarburos. Tratando de conseguir que las personas que lo lean lleven a cabo prácticas seguras que minimicen el riesgo de un derrame de hidrocarburos.

La seguridad y la salud de las personas ha de ser el objetivo fundamental de toda operación con hidrocarburos.

3. CAPÍTULO III: OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVOS FUNDAMENTALES.

El objetivo fundamental de este Trabajo Fin de Master en Ingeniería Náutica y Gestión Marítima titulado **“INICIACION A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS”** es que una vez finalizada su lectura se pueda tener unas nociones básicas sobre los tipos de hidrocarburos, sus efectos sobre el medio ambiente y como luchar de una forma eficaz contra un derrame involuntario.

A través de este texto, iremos recorriendo diversos pasos, primeramente que son y cuales son los tipos de hidrocarburos que nos encontraremos. En este capítulo hablaremos sobre todos los productos del petróleo y sus características principales, de donde surgen y como se comportan en el medio marino.

Continuaremos analizando como luchar contra los vertidos. Reconocimiento de la zona, recuperación del hidrocarburo, operaciones de recogida planes de contingencia, etc...

Finalmente, veremos como son los procesos de limpieza y recuperación de las zonas afectadas por este tipo de vertidos.

Una vez terminada la lectura, espero haber alcanzado el objetivo de haber conseguido que todo aquel que haya leído este texto tenga unos conocimientos sobre la lucha contra la contaminación en la mar por derrames de hidrocarburos.

3.2. OBJETIVOS METODOLÓGICOS.

Los Objetivos Metodológicos de este Trabajo Fin de Master están basados en 3 puntos fundamentales:

- Consulta bibliográfica, en diversos manuales, códigos internacionales, folletos informativos de diversos fabricantes de productos para la lucha contra la contaminación y páginas web relativos a hidrocarburos y la lucha contra la contaminación en la mar.
- Mi propia experiencia adquirida a lo largo de años trabajando en diversos tipos de buques como oficial y de navegación y primer oficial de cubierta. Teniendo que ayudar a la lucha contra la contaminación activa y pasivamente.
- La inestimable ayuda de los capitanes, marineros, alumnos, profesores que me han ayudado a documentarme y han hecho que de una pequeña consulta sobre como eliminar una mancha de fuel oil en la mar haya surgido todo un trabajo que espero sirva para ayudar a mucha mas gente a saber como luchar contra este tipo de contaminación.

A través de estos tres conceptos voy a tratar de crear un texto que permita abarcar todos los conocimientos necesarios para saber como afrontar un derrame por hidrocarburos.

4. CAPÍTULO IV: INICIACIÓN A LOS DERRAMES DE HIDROCARBUROS

4.1. DERRAMES DE HIDROCARBUROS.

El petróleo entra en el medio marino de diferentes formas, como resultado de actividades humanas y de procesos naturales. Los accidentes de petroleros y los vertidos debidos a perforaciones marinas suponen alrededor de un 15% de la cantidad total de hidrocarburos que se vierte al mar.

En esta sección se estudian las distintas fuentes de hidrocarburos en el medio marino para tener una perspectiva de los vertidos accidentales. Se describen también el destino final y efectos de los derrames y se dan ideas generales sobre el control de manchas oleosas y sobre la cuantificación de la polución en la mar y en tierra.

4.2. TIPOS DE HIDROCARBUROS.

En términos generales los hidrocarburos son energéticos que en su estructura química se componen principalmente de átomos de carbono e hidrogeno.

Para efectos de la Comisión Nacional de Energía, los hidrocarburos son los energéticos presentes en la matriz de energía primaria o secundaria de origen o derivados de los combustibles fósiles Así dentro de los hidrocarburos encontraremos en la matriz primaria al petróleo, crudo, el gas natural y el carbón mineral.

Como matriz secundaria se debe considerar a los combustibles derivados del petróleo como la gasolina, el keroseno, el petróleo diesel, los petróleos combustibles nº5, nº6 y los IFO's y finalmente al propano y butano también conocido como gas licuado (el cual se obtiene como parte del proceso de refinación petrolera y como condensados del petróleo de explotación del gas natural. A ellos también se les suma el gas natural y el carbón mineral que también se utilizan como energéticos en la matriz secundaria. (CHILE, Ministerio de Energía Gobierno de)

4.2.1. CRUDOS

Los crudos son las mezclas complejas de hidrocarburos de diverso peso y estructura molecular que comprenden tres grupos químicos principales, el parafínico, en nafténico y el aromático, y son insolubles en el agua.

Se produce en el interior de la Tierra, por transformación de la materia orgánica acumulada en sedimentos del pasado geológico y puede acumularse en trampas geológicas naturales, de donde se extrae mediante la perforación de pozos.

Estos hidrocarburos van desde las sustancias simples muy volátiles hasta las parafinas complejas y los compuestos asfálticos que no pueden ser destilados. Es posible también, que existan cantidades relativamente pequeñas de oxígeno, nitrógeno, azufre, vanadio, níquel y sales minerales, etc. en diversas combinaciones. En condiciones normales de presión y temperatura es un líquido bituminoso que puede presentar gran variación en diversos parámetros como color y viscosidad (desde amarillentos y poco viscosos como la gasolina hasta líquidos negros tan viscosos que apenas fluyen), densidad (entre 0,66 g/ml y 0,9785 g/ml), capacidad calorífica, etc. Estas variaciones se deben a la diversidad de concentraciones de los hidrocarburos que componen la mezcla.

Es un recurso natural no renovable y actualmente también es la principal fuente de energía en los países desarrollados. El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural, en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre.

4.2.2. PRODUCTOS DEL PETROLEO

Los productos derivados de la refinación de los crudos de petróleo tienen unas características químicas y físicas que dependen de la naturaleza de los crudos y de los distintos procesos a los que se les haya sometido. La presencia de azufre, vanadio, cera y asfaltenos en los crudos, va asociada a los materiales de punto de ebullición mas elevado. En consecuencia, aunque aparezcan en los destilados ligeros e intermedios, en general, se presentarán relativamente mas concentrados en los productos mas pesados, es decir, el fuel-oil de tipo medio y pesado, y mas particularmente en los residuos. Las siguientes características típicas dan una indicación de las propiedades de esos diversos productos del petróleo:

Tabla 1: Gasolinas

Densidad especifica 15/15 °C	0.68 – 0.77
Intervalo de ebullición °C	30 – 200
Punto de inflamación °C	-40

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energia y Turismo)

Tabla 2: Keroseno

Densidad especifica 15/15 °C	0.78
Intervalo de ebullición °C	160 – 285
Punto de inflamación (Pensky martens) °C	55
Viscosidad cinematica cS, 37,78 °C	1,48

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energia y Turismo)

Tabla 3: Gasoil

Densidad especifica 15/15 °C	0.84
Intervalo de ebullición °C	180 – 360
Punto de inflamación (Pensky martens) °C	77
Viscosidad cinematica cS, 37,78 °C	3.30

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energia y Turismo)

Tabla 4: Fueloil

Densidad específica 15/50 °C	0.925 – 0.965
Viscosidad cinemática cS, 37,78 °C	49 - 862
Punto de inflamación °C	90 o mas

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energía y Turismo)

4.2.3. ACEITES LUBRICANTES.

Se trata de aceites muy refinados cuya densidad específica y viscosidad varían considerablemente según su aplicación. En estos aceites se utilizan un gran número de aditivos, muchos de los cuales son compuestos tensoactivos. Algunos aceites lubricantes contienen aditivos tóxicos y constituyen un peligro para la salud del hombre cuando se derraman.

4.3. FUENTES DE HIDROCARBUROS.

Las mejores estimaciones de la cantidad total de petróleo que se vierte al mar desde todas las fuentes (actividades humanas y procesos naturales) son de alrededor de 3.2 millones de toneladas métricas por año. La mayor parte procede de principalmente de fuentes terrestres, principalmente de desechos municipales e industriales. Los vertidos accidentales de buques junto con los debidos a actividades de exploración y producción en la mar, suponen aproximadamente 0.47 millones de toneladas métricas al año, cantidad relativamente pequeña considerando que la producción mundial es de unos 3 billones de toneladas métricas, la mitad de las cuales se transportan por mar.

En la siguiente tabla se muestran las principales fuentes de vertido de hidrocarburos al mar junto con el porcentaje vertido por cada una:

Tabla 5:Fuentes de vertidos de hidrocarburos

RESIDUOS INDUSTRIALES Y VERTIDOS MUNICIPALES	37%
Operaciones de buques	33%
Accidentes de petroleros	12%
Fenómenos atmosféricos	9
Fuentes naturales	2%

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energía y Turismo)

4.3.1. PERDIDAS EN EL TRANSPORTE.

Del total de 1.47 millones de toneladas métricas que entran en el medio marino cada año como resultado de pérdidas en el transporte, 0.7 millones de toneladas son debidas a residuos de la caga que permanecen abordo después de la descarga. La cantidad de dichos residuos depende del contenido de impurezas de la carga anterior y de la viscosidad de la misma, pero típicamente representa aproximadamente un 0.4% de la capacidad de carga, por ejemplo, 800 toneladas en un petrolero de 200000 TPM.

Durante las operaciones de limpieza de tanques y deslastre gran parte de esta cantidad puede ser vertida al mar. Los buques de lastre segregado y los sistemas de lavado con crudo, junto con el establecimiento de los procedimientos de "cargar encima" han reducido la contaminación debida a la operación de petroleros. Incluidas en las pérdidas del transporte están las descargas del agua de sentinas que contiene productos oleosos y los residuos de fuel oil que suman 300000 toneladas al año, generadas por todo tipo de buques. Aunque la cantidad de residuos oleosos vertidos al mar por los buques puede ser controlada por medio de una gestión apropiada, tiene también gran importancia la provisión de instalaciones adecuadas para la recepción de slops, lastre sucio y residuos oleosos de los espacios de máquinas en tierra.

4.3.2. DERRAMES ACCIDENTALES DEBIDO A BUQUES PETROLEROS.

Los vertidos accidentales de buques petroleros suponen alrededor de 400000 toneladas anuales. Un análisis de estos vertidos demuestra que la mayoría (aproximadamente un 75%) se producen en puerto, durante operaciones rutinarias, tales como carga, descarga o consumo. La mayor parte de estos vertidos son relativamente pequeños, en más del 92% de los casos son menores de 7 toneladas, y probablemente en total suponen menos de 20000 toneladas al año. En comparación, accidentes muy graves producen la mayor parte de los vertidos de hidrocarburos, y de ahí que haya una gran variación de un año a otro en la cantidad de hidrocarburos vertidos al mar por esa causa (ver tabla 6).

Tabla 6 - Comparación de la incidencia de los vertidos de hidrocarburos por petroleros entre 1974 y 1985, como resultado de operaciones rutinarias y accidentes

	< 7	7 – 700	>700	TOTAL
Carga/Descarga	2236 (90%)	227 (9%)	11 (1%)	2474 (100%)
Consumo	442 (95%)	22 (5%)	-	464 (100%)
Colisiones	39 (17%)	134 (59%)	54 (26%)	227 (100%)
Varadas	69 (25%)	134 (49%)	70 (26 %)	273 (100%)
Total	2786 (86%)	517 (15%)	135 (4%)	3438 (100%)

Fuente: (MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energía y Turismo)

4.3.3. ACTIVIDADES DE EXPLORACION Y PRODUCCION EN EL MAR.

Accidentes importantes tales como un reventón de las líneas son raros, pero contribuyen en aproximadamente las 3/4 partes de las 50000 toneladas vertidas anualmente desde plataformas petrolíferas.

El riesgo es menor durante la producción que en la fase de exploración, pero un accidente de este tipo puede dar lugar al vertido de un gran volumen de petróleo si el pozo no es puesto rápidamente bajo control.

Un gran número de pequeñas pérdidas se producen como consecuencia de operaciones de rutina, tales como descarga de agua y fangos oleosos del taladro.

4.3.4. VERTIDOS TERRESTRES Y ATMOSFERICOS.

Los vertidos terrestres provienen principalmente de agua procesada en refinerías y otras industrias; residuos de hidrocarburos llevados al mar a través de los ríos; y residuos urbanos procedentes del alcantarillado. En comparación, la caída de hidrocarburos al mar desde la atmósfera es probablemente menos significativa, pero la cantidad de hidrocarburos que se introduce en el mar de esta forma es muy difícil de estimar con precisión en una escala global. La mayor parte de la polución marina procedente de la atmósfera puede ser relacionada con los humos exhaustados por los vehículos.

4.3.5. FILTRACIONES NATURALES Y EROSION.

Los vertidos naturales son también difíciles de cuantificar y muestran una distribución muy desigual.

Las filtraciones tienden a ser asociadas con regiones con actividad tectónica, mientras que la erosión de sedimentos ricos en petróleo tienen lugar en zonas terrestres y usualmente forman parte del arrastre de los ríos.

4.4. COMPORTAMIENTO DE LOS HIDROCARBUROS EN EL MEDIO MARINO.

A pesar de la introducción de varios millones de toneladas de hidrocarburos en los océanos hay pocas evidencias de la acumulación de residuos de los mismos en la mar. Esta es una buena indicación de que el medio marino puede, hasta cierto punto, asimilar los hidrocarburos.

El petróleo vertido en el mar experimenta una serie de cambios físicos y químicos, algunos de los cuales conducen hacia su desaparición,

mientras que otros, por el contrario, causan su persistencia. El tiempo que tardan en producirse estos cambios depende en primer lugar de las características físicas y químicas del petróleo, así como de la cantidad del mismo, de las condiciones climatológicas reinantes y del estado de la mar, y de que el petróleo permanezca en la superficie o sea expulsado a tierra.

4.4.1. PROPIEDADES DEL PETROLEO.

Con respecto al destino del petróleo vertido a la mar se suele hacer distinción entre hidrocarburos no persistentes, los cuales tienden a desaparecer rápidamente de la superficie del mar e hidrocarburos persistentes, los cuales por el contrario se disipan más lentamente y usualmente requieren la realización de operaciones de limpieza para eliminarlos.

Los hidrocarburos no persistentes incluyen gasolina, nafta, queroseno y gasoil, mientras que la mayoría del petróleo crudo y los residuos del refinado tienen varios grados de persistencia dependiendo de sus propiedades físicas y de la importancia del vertido.

Las principales características físicas que afectan al comportamiento del un vertido de hidrocarburos en la mar son la densidad relativa, las características de destilación, viscosidad y punto de fusión.

La densidad relativa es la relación entre la densidad dada y la del agua. La mayor parte de los hidrocarburos son menos pesados que el agua y tienen por lo tanto una densidad relativa menor que uno. La densidad del petróleo crudo y derivados se suele expresar en términos de densidad API, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$API = \frac{141.5}{\text{Densidad relativa}} - 131.5$$

Además de indicar si el hidrocarburo flotará o no, su densidad puede indicar otras propiedades del mismo. Por ejemplo, hidrocarburos con baja densidad relativa (alto °API) tienden a ser ricos en componentes volátiles y de alta fluidez.

Las características de destilación de un hidrocarburo describen su volatilidad. Al elevar la temperatura del petróleo, sus diferentes componentes van alcanzando su punto de ebullición respectivo y son destilados.

Las características de destilación son expresadas como las proporciones de los diferentes componentes del petróleo destilado, dentro de un rango de temperaturas dado.

La viscosidad de un petróleo es su resistencia a fluir. Los petróleos de alta viscosidad fluyen con dificultad, mientras que aquellos con baja viscosidad son muy fluidos. La viscosidad disminuye al aumentar la temperatura, y por ello la temperatura del agua del mar y el grado en que el petróleo puede absorber calor del sol son consideraciones muy importantes.

El punto de fusión es la temperatura por debajo de la cual el petróleo no puede fluir. Si la temperatura ambiente es inferior a la de fusión el petróleo se comportará esencialmente como un sólido. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.2. PROCESOS DE DEGRADACION NATURAL.

Los cambios físicos y químicos que el petróleo experimenta en la mar son en ocasiones conocidos conjuntamente como "procesos de degradación natural". El conocimiento de estos procesos y como interaccionan para alterar las características y composición del petróleo con el tiempo es de gran valor a la hora de preparar y poner en práctica planes de contingencia contra los vertidos de petróleo.

En ocasiones estos procesos pueden hacer innecesaria la organización e la limpieza del petróleo si se puede predecir con seguridad

que el petróleo derivará apartándose de zonas vulnerables o se disipará de forma natural antes de alcanzar dichas zonas. Frecuentemente, sin embargo, será necesaria una respuesta activa, con el objeto de acelerar los procesos naturales mediante el uso de dispersantes o limitar la extensión del vertido por medios de contención del mismo. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.3. DISEMINACION.

La diseminación de la mancha de petróleo es uno de los procesos más significativos en las primeras etapas de un vertido. La principal fuerza impulsora de la diseminación inicial del petróleo es su peso. Por lo tanto un gran derrame instantáneo se extenderá más rápidamente que un vertido lento. La ayuda de la gravedad en la diseminación del petróleo es rápidamente reemplazada por los efectos de la tensión superficial. Durante estas etapas iniciales la diseminación en una capa continua y la velocidad a la que se extiende está también influenciada por la viscosidad del petróleo. Los petróleos de alta viscosidad se extienden lentamente, y aquellos que están a temperaturas inferiores a su punto de fusión se extienden con dificultad. Después de algunas horas la capa de petróleo comienza a romperse y forma "ventanas" paralelas a la dirección del viento. En esta etapa la fluidez del petróleo comienza a perder importancia, ya que la posterior extensión del petróleo es principalmente debida a turbulencias en la superficie del mar. Variaciones en la velocidad a la que el petróleo se extiende son debidas a diferencias en las condiciones hidrográficas predominantes, tales como corrientes, corrientes de marea, y velocidad del viento. Alrededor de 12 horas después del vertido el petróleo puede cubrir un área de más de 5 km² lo cual limita la posibilidad de una limpieza efectiva del mismo en la mar. Debe destacarse que excepto en el caso de pequeños vertidos de petróleos de baja viscosidad la dispersión del mismo no es uniforme, y existen importantes variaciones de espesor en la capa de petróleo. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.4. EVAPORACION.

La velocidad y grado de evaporación está determinado principalmente por la volatilidad del petróleo. A mayor proporción de componentes con bajo punto de ebullición mayor evaporación se produce. La velocidad de la dispersión inicial también afecta a la evaporación, ya que cuanto mayor sea la superficie de la mancha más rápidamente se evaporarán los componentes ligeros. El mal estado de la mar, alta velocidad del viento y temperaturas templadas incrementarán también la velocidad de evaporación. En términos generales, aquellos componentes del petróleo con punto de ebullición por debajo de los 200 °C se evaporarán dentro de las 24 horas posteriores al derrame en condiciones de temperatura moderada.

Vertidos de productos refinados tales como queroseno y gasolina pueden evaporarse completamente en pocas horas, y los crudos ligeros pueden evaporarse en un 40 % durante el primer día. En contraste, crudos pesados y fuel oils experimentan poca o ninguna evaporación. Los residuos de petróleo que permanecen después de la evaporación habrán incrementado su densidad y viscosidad, lo cual afecta a la posterior degradación, así como a las técnicas de limpieza a emplear.

Cuando se producen vertidos de petróleos extremadamente volátiles en áreas confinadas, puede existir riesgo de fuego o explosión. La inflamabilidad del petróleo ha conducido frecuentemente a la idea de manchas de petróleo ardiendo en la superficie del mar. Aunque frecuentemente es posible quemar las manchas, (particularmente las de petróleo reciente), es difícil mantener la combustión debido al espesor de la capa de petróleo y al efecto refrigerante del agua que está por debajo. Los residuos que resultan de una combustión parcial son usualmente más problemáticos y es más difícil encargarse de ellos que del petróleo que ha sufrido procesos naturales de degradación. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.5. DISPERSION.

Las olas y turbulencias en la superficie del mar actúan sobre la mancha, produciendo gotas de petróleo de distintos tamaños. Las gotas pequeñas permanecen suspensión, mientras que las más grandes vuelven a la superficie detrás de la mancha, donde pueden unirse a otras regenerando la mancha, o dispersarse en una película muy fina. Las gotas pequeñas que permanecen el suficiente tiempo en suspensión comienzan a mezclarse dentro de la columna de agua y este petróleo en suspensión puede incrementar otros procesos como la biodegradación y la sedimentación.

La velocidad de la dispersión natural depende en gran medida de la naturaleza del petróleo y del estado de la mar, siendo más rápido el proceso cuando hay olas rompientes. El espesor de la capa de petróleo está relacionado con la cantidad vertida y el grado de diseminación es un importante factor de la velocidad de dispersión, ya que las gotas más pequeñas son producidas a partir de películas finas.

Los petróleos que permanecen fluidos y pueden extenderse sin que esto sea dificultado por otros procesos de degradación, pueden dispersarse en pocos días, en condiciones de mar moderada. Por el contrario, los petróleos de mayor viscosidad o aquellos que forman emulsiones estables con el agua tienden a formar gruesas capas en la superficie y mostrarán poca tendencia a dispersarse. Este tipo de petróleos pueden persistir durante varias semanas. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.6. EMULSIFICACION.

Muchos petróleos tienden a absorber agua, formando emulsiones de agua y petróleo que pueden incrementar el volumen del contaminante por un factor entre 3 y 4. Dichas emulsiones son frecuentemente extremadamente viscosas, por lo que otros procesos de degradación que disiparían el petróleo son retardados. Este es el principal motivo de la persistencia de petróleos medios y ligeros en la superficie de la mar. Con marejada o fuerte marejada la mayor parte de los petróleos forman emulsiones rápidamente, la estabilidad de las cuales depende de la concentración de asfalto. Los

petróleos que contienen asfalto en una concentración superior al 0.5 % tienden a formar emulsiones estables, frecuentemente llamadas "mousse de chocolate", mientras que los que tienen una concentración menor tienen tendencia a dispersarse. Las emulsiones se pueden separar de nuevo en agua y petróleo si son calentadas por el sol con la mar en calma, o cuando salen a la costa.

La velocidad a la cual se produce la emulsificación depende fundamentalmente del estado de la mar, aunque los petróleos de alta viscosidad tienden a absorber agua más lentamente, Con vientos de intensidad superior a fuerza 3 de la escala de Beaufort, algunos petróleos de baja viscosidad pueden absorber entre un 60 % y un 80 % de agua por unidad de volumen en dos o tres horas.

En contraste, petróleos muy viscosos pueden necesitar 10 horas para absorber un 10% de agua en las mismas condiciones, y después de varios días el contenido de agua rara vez excede el 40 %.

La absorción de agua da lugar usualmente a un cambio en el color del crudo, de negro a marrón, naranja o amarillo. A medida que la emulsión se desarrolla, el movimiento del petróleo con las olas causa que las gotas de agua absorbidas se hagan cada vez más pequeñas, haciendo la emulsión progresivamente mas viscosa. Al aumentar la cantidad de agua absorbida, la densidad de la emulsión se aproxima a la del agua del mar. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.7. DISOLUCION.

La rapidez y el grado en que un petróleo se disuelve depende de su composición, extensión de la mancha, temperatura del agua, turbulencias y grado de dispersión. Los componentes más pesados del crudo son virtualmente insolubles en agua de mar, mientras que los más ligeros, particularmente los hidrocarburos aromáticos tales como benceno y tolueno, son ligeramente solubles. Sin embargo, estos últimos son también los más

volátiles, y se evaporan más rápidamente (del orden de 10 a 1000 veces más rápido), que por disolución. Las concentraciones de hidrocarburos disueltos raramente exceden una parte por millón, y la disolución no contribuye de manera significativa a eliminar el petróleo de la superficie del mar. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.8. OXIDACION.

Las moléculas de los hidrocarburos reaccionan con el oxígeno, dando lugar tanto a productos solubles como a alquitranes persistentes. Muchas de estas reacciones de oxidación son promovidas por la luz del sol y aunque este fenómeno se produce durante todo el tiempo que dura la mancha, el efecto en la disipación global es menor que el de otros procesos de degradación.

Bajo la luz del sol, delgadas películas se disipan a velocidades no superiores al 0.1 % por día. La oxidación de gruesas capas de petróleos de alta viscosidad o emulsiones de agua y petróleo tienen mayor tendencia a persistir que a degradarse. Esto es debido a la formación de una capa más alta de moléculas de componentes pesados que forman una película protectora exterior. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.9. SEDIMENTACION.

Algunos petróleos residuales pesados tienen densidades relativas mayores que 1, por lo que se hunden en agua dulce o salobre. Sin embargo, muy pocos crudos son suficientemente densos, o se degradan lo suficiente de forma natural para que los residuos se hundan en el agua del mar. El hundimiento se produce usualmente por adhesión de partículas de sedimentos o materia orgánica al petróleo. Algunos crudos pesados, tales como los producidos en Venezuela, así como la mayoría de los fueles pesados y las emulsiones de petróleo y agua, tienen densidades relativas próximas a 1, y por lo tanto necesitan muy pocas partículas de materia para exceder la densidad del agua de mar.

La temperatura puede también esperarse que afecte al comportamiento del petróleo en flotación. En un rango de 10 °C de temperatura la densidad del agua de mar solamente variará en un 0.25 %, mientras que la del crudo varía en un 0.5 %. Por lo tanto el petróleo que está justo en el límite de flotabilidad durante el día, puede sumergirse tan pronto la temperatura disminuya durante la noche, debido a su mayor incremento relativo de densidad, pero puede reaparecer a flote más tarde en aguas más templadas.

Las aguas poco profundas están frecuentemente cargadas de partículas sólidas en suspensión, lo cual favorece las condiciones para la sedimentación. Esto es menos probable en mar abierto, pero el zooplancton puede inadvertidamente alimentarse de partículas de petróleo, incorporándolas en bolitas fecales que caerán al fondo marino.

El petróleo varado en costas arenosas frecuentemente se mezcla con sedimentos, y si esta mezcla es arrastrada hacia la mar nuevamente puede hundirse. En playas de arena expuestas, grave contaminación puede conducir a la acumulación de grandes cantidades de sedimentos en el petróleo, formando densas capas de alquitrán.

Los ciclos estacionales de sedimentación y erosión pueden causar que el petróleo yacente sea sucesivamente enterrado y descubierto. Las zonas de costa resguardadas suelen estar formadas de finos granos de sedimentos, y si el petróleo se incorpora a los mismos es probable que permanezca allí por un tiempo considerable. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.4.10. BIODEGRADACION.

El agua de mar contiene una variedad de bacteria marinas, mohos y levaduras que pueden utilizar el petróleo como fuente de carbono y energía. Tales microorganismos están ampliamente distribuidos en la mar, aunque tienden a ser más abundantes en aguas permanentemente contaminadas.

Tales como aquellas que reciben descargas industriales y aguas residuales sin tratar. Los principales factores que afectan a la velocidad de biodegradación son la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo. Cada tipo de microorganismo tiende a degradar una clase específica de hidrocarburos, y mientras que existe una gran variedad de bacterias que son capaces de degradar la mayor parte de la amplia variedad de compuestos del crudo, algunos componentes son resistentes a esta biodegradación. Aunque los microorganismos no siempre existen en cantidad suficiente en mar abierto, con las condiciones apropiadas se multiplican rápidamente hasta que el proceso es limitado por deficiencia de oxígeno o nutrientes. Debido a que los microorganismos solo viven en el agua de mar, la biodegradación solo puede tener lugar en la zona interfase entre el petróleo y el agua.

El petróleo varado en la costa, por encima de la línea de la pleamar, puede por lo tanto descomponerse de manera extremadamente lenta y persistir durante muchos años. En la mar, la creación de gotas de petróleo por procesos naturales o dispersión química, incrementa el área de interfase disponible para la actividad biológica y aumenta la degradación. La variedad de factores que influyen en la biodegradación hacen difícil predecir la velocidad a la que se elimina el petróleo. En aguas templadas se ha observado degradación a razón diaria de 0.001 a 0.03 gramos por tonelada de agua de mar, pero se pueden alcanzar entre 0.5 y 60 gramos por tonelada de agua de mar en áreas permanentemente contaminadas por el petróleo.

Una vez que el crudo comienza a incorporarse a los sedimentos la velocidad de degradación se reduce mucho, debido a la falta de oxígeno y nutrientes.

4.4.11. PROCESOS COMBINADOS.

Los procesos de diseminación, evaporación, dispersión, emulsificación y disolución son de mayor importancia durante las primeras

fases de un vertido, mientras que la oxidación, sedimentación y biodegradación son procesos a largo plazo que determinarán el destino final del petróleo.

Los mecanismos de interacción entre los distintos procesos de degradación natural no se conocen muy bien, por lo que la relación entre ellos es, a menudo, establecida sobre modelos empíricos basados en un tipo de crudo. Para este propósito es conveniente clasificar los petróleos más comúnmente transportados en cuatro grupos, de acuerdo a su densidad relativa, esta clasificación la podemos ver en la tabla 7.

Como norma general cuanto menor sea la densidad relativa de un petróleo, menos persistente será. Sin embargo, es importante apreciar que algunos petróleos aparentemente ligeros se comportan como crudos pesados debido a la presencia de impurezas sólidas. Los petróleos que contienen dichas impurezas en una proporción superior al 10% tienden a tener altas temperaturas de fusión y si la temperatura ambiente es menor que dicha temperatura el petróleo se comportará como un sólido o como un líquido de alta viscosidad. Otro factor a tener en cuenta es la temperatura ambiente, tanto los petróleos del grupo II como los del grupo III se comportan como los del grupo IV cuando la temperatura ambiente es inferior al punto de fusión del petróleo.

Tabla 7 - Clasificación de algunos tipos de petróleos según su densidad relativa

GRUPO	DENSIDAD RELATIVA	° API	PETRÓLEO	PUNTO DE SOLIDIFICACIÓN (° C)	VISCOSIDAD A 15 ° C (cSt)
I	<0.8	>45	Gasolina	-	0.5
			Nafta	-	0.5
			Queroseno	-	2.0
			Abu Dhabi	<5	7
			Amna	18	Sólido

II	0.8 – 0.85	35 – 45	Argyll	9	11
			Arjuna	27	Sólido
			Auk	9	9
			Bass Straight	15	Sólido
			Beatrice	12	32
			Berri	<5	9
			Beryl	<5	9
			Brass River	<5	4
			Brega	<5	9
			Brent Spar	<5	9
			Bunyu	18	Sólido
			Cormorant	12	13
			Dunlin	6	11
			Ekofisk	<5	4
			Es Sider	9	11
			Escravos	10	9
			Gasoil	<5	5
			Gippsland Mix	15	Sólido
			Kirkuk	<5	11
			Kole Marine	<5	11
			Lucina	15	Sólido
			Montrose	<5	7
			Murban	<5	9
			Murchison	<5	7
			Nigerian Light	9	Sólido
			Ninian	6	13
			Qatar Marine	<5	9
			Qua Iboe	10	7
			Río Zulia	27	Sólido
			Saharand Blend	<5	4
			San Joaquim	24	Sólido
GRUPO	DENSIDAD RELATIVA	° API	PETRÓLEO	PUNTO DE SOLIDIFICACIÓN (° C)	VISCOSIDAD A 15 ° C (cSt)

II	0.8 – 0.85	35 – 45	Santa Rosa	10	4
			Sarir	24	Sólido
			Seria	18	Sólido
			Sirtica	<5	7
			Statford	<5	9
			Thiste	9	9
			Zakum	<5	7
			Zuetina	9	9
III	0.85 – 0.95	17.5 - 35	Arabian Heavy	<5	55
			Arabian Light	<5	14
			Arabian Medium	<5	25
			Bakr	7	1500
			Belayim (Marine)	15	Sólido
			Buchan	<5	14
			Cabinda	21	Sólido
			Champion Export	<5	18
			El Morgan	7	30
			Flotta	<5	11
			Forcados	<5	12
			Forties	<5	8
			Iranian Heavy	<5	25
			Khafji	<5	80
			Kuwait	<5	30
			Mandji	9	70
			Maya	<5	500
			Nigerian Medium	<5	40
			Santa María	<5	250
			Soyo	15	Sólido
			Suez Mix	10	30
			Tía Juana Light	<5	2500
			Trinidad	14	Sólido
			Zaire	15	Sólido
			Bahía	38	Sólido
			Boscan	15	Sólido

IV	>0.95	<17.5	Bu Attifil	39	Sólido
			Cinta	43	Sólido
			Cyrus	-12	10000
			Duri	14	Sólido
			Gamba	23	Sólido
			Handil	35	Sólido
GRUPO	DENSIDAD RELATIVA	° API	PETRÓLEO	PUNTO DE SOLIDIFICACIÓN (° C)	VISCOSIDAD A 15 ° C (cSt)
IV	>0.95	<17.5	Heavy Lake Mix	-12	10000
			Jatibarang	43	Sólido
			Jobo/Morichal	-1	23000
			Lagunillas	-20	7000
			Merey	-23	7000
			Minas	36	Sólido
			Panuco	2	Sólido
			Pilon	-4	Sólido
			Quirequire	-29	1500
			Shengli	21	Sólido
			Taching	35	Sólido
			Tía Juana Pesado	-1	Sólido
			Wafra Eocene	-29	3000

Fuente: (D. W. ABECASSIS, Richard L. Jarashow, 1985)

Una vez clasificados los distintos tipos de petróleo, una forma de describir su persistencia es en términos de la vida media de cada grupo, esto es, el tiempo necesario para que desaparezca el 50 % del crudo de la superficie de la mar. Después de seis vidas medias, poco más que un 1 % de petróleo permanecerá. Las vidas medias, que han sido seleccionadas en base a observaciones hechas en casos reales, intentan dar una idea de la variación de la persistencia de acuerdo con las propiedades físicas del petróleo. De la misma forma que ningún petróleo tiene las propiedades

exactamente iguales a aquellas indicadas para los grupos dados en la tabla 7, el tiempo y las condiciones climatológicas también influirán en la vida media de un derrame. Por ejemplo, con muy mal tiempo, un petróleo del grupo 3 puede disiparse en una escala de tiempos más típica del grupo 2, y por el contrario con la mar y el viento en calma su persistencia puede aproximarse a la de los petróleos del grupo 4.

Es importante tener en cuenta las suposiciones hechas en los modelos, y aunque no se puede pretender obtener una relación exacta entre el modelo y el caso real, los modelos pueden proporcionar una guía para determinar que técnicas de limpieza serán las más efectivas, si la respuesta se puede iniciar con la suficiente rapidez y a que tipo de problemas tendrá que hacer frente la organización de la limpieza.

4.4.12. PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MANCHA.

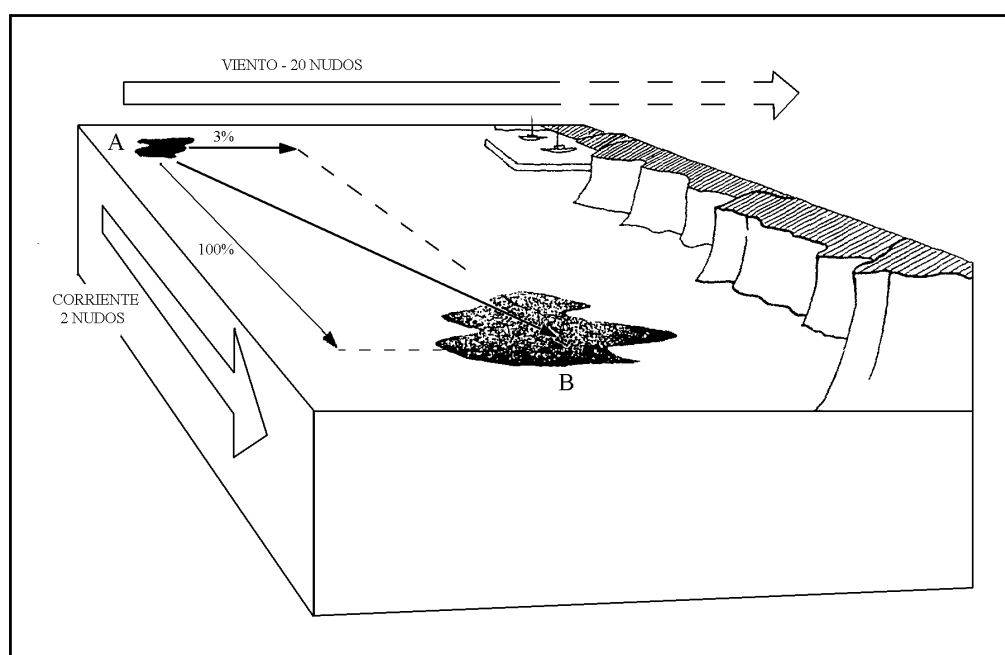
Es igualmente importante ser capaces de predecir el movimiento probable de una mancha, como los cambios en las propiedades del petróleo después de que ha sido derramado. Esto permite identificar recursos sensibles en la trayectoria del petróleo, y si conviene, poner en marcha medidas de respuesta. La tarea de predecir la posición futura del petróleo vertido solo puede llevarse a cabo si se dispone de datos acerca de vientos y corrientes, ya que ambos contribuyen al movimiento del petróleo en flotación.

Se ha demostrado empíricamente que el petróleo en flotación se mueve por efecto del viento a una velocidad de aproximadamente el 3 % de la de aquel. Si existen corrientes superficiales, un movimiento adicional equivalente a la intensidad horaria de la corriente debe ser superpuesto al anterior para obtener la dirección y velocidad de la mancha.

En las proximidades de tierra, la dirección e intensidad de las corrientes de marea debe ser tomada en cuenta, pero lejos de la costa su

contribución es usualmente menos significativa, ya que dichas corrientes son cíclicas, y el efecto de la corriente en un sentido es cancelado por el efecto en sentido contrario. Por lo tanto, conociéndolos vientos y corrientes reinantes es posible predecir la dirección y velocidad de la mancha a partir de una posición conocida, tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1 - Movimiento resultante de una mancha por el efecto combinado de viento y corriente



Fuente: (ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL , 2011)

Este cálculo simple puede hacerse a mano fácilmente, pero será necesario mucho tiempo para determinar si las corrientes de marea tienen que ser tenidas en cuenta, ya que para ello el cálculo deber rehacerse a intervalos regulares como los que corresponden a los cambios de la corriente. Pueden utilizarse computadoras para agilizar el cálculo, almacenando información de los cambios de corriente y del perfil de la costa para un lugar geográfico determinado. Los datos del viento la posición de la mancha son entonces la única información adicional requerida cuando se produzca el vertido. La fiabilidad de tales modelos depende de la exactitud con que se conozcan las corrientes, así como los cambios en su dirección e intensidad, y los datos del viento. Frecuentemente estos modelos son combinados con modelos matemáticos que simulan procesos de

degradación natural para obtener una predicción del destino final de la mancha.

4.5. INSPECCION AEREA DE LA MAR.

Por fiable que un modelo pueda ser, las predicciones de la evolución y movimiento de una mancha deben ser verificadas por medio de inspecciones regulares. Estas se deben llevar a cabo desde el aire, ya que la observación desde buques es muy ineficiente.

4.5.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE AERONAVE.

La aeronave seleccionada debe permitir buena visión en todas las direcciones y disponer de ayudas a la navegación apropiadas. Sobre aguas próximas a la costa la maniobrabilidad de los helicópteros puede ser una ventaja, por ejemplo, para la inspección de costas intrincadas, con acantilados e islas. Sin embargo en mar abierto la necesidad de rápidos cambios en la velocidad, dirección y altitud es menor, y en su lugar la autonomía y velocidad de un avión son más convenientes.

Para amplias inspecciones sobre áreas alejadas, el margen extra de seguridad proporcionado por un avión bimotor o multimotor es esencial, y en algunos casos puede ser exigido por regulaciones legales.

La seguridad se considerará siempre un factor de suprema importancia, por lo que será necesario consultar al piloto en todo lo relacionado con el vuelo de reconocimiento.

El plan de vuelo debe ser preparado por adelantado utilizando una carta de la escala apropiada teniendo en cuenta cualquier información disponible que pueda reducir el área de búsqueda tanto como sea posible.

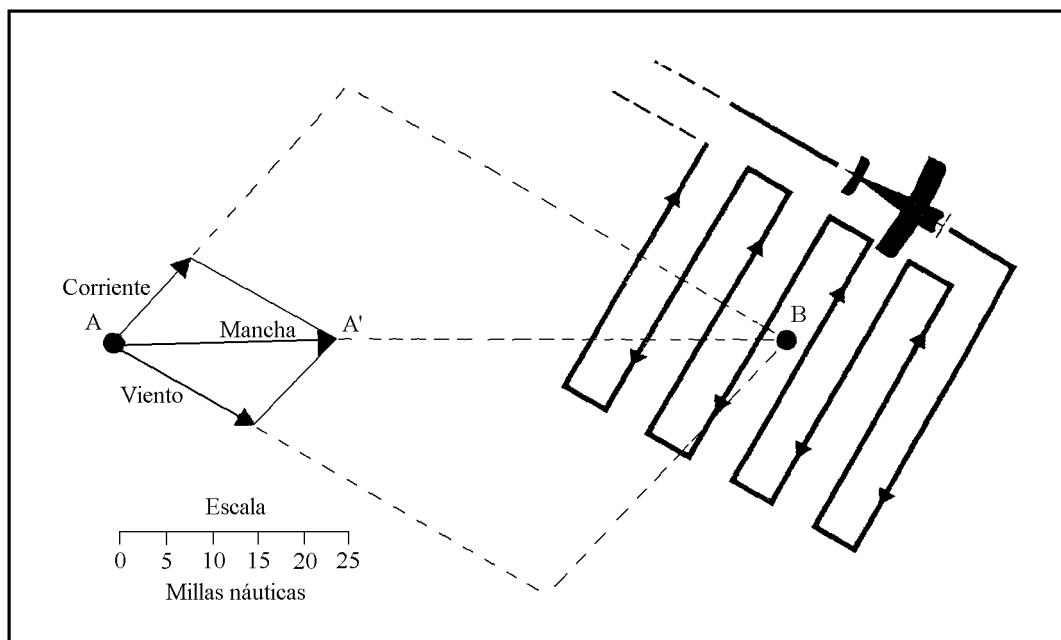
A menudo es aconsejable dibujar una cuadrícula en la carta, de manera que cualquier posición puede ser fácilmente identificada por referencia a dicha cuadrícula.

4.5.2. PATRONES DE BUSQUEDA.

La búsqueda en "escalera" es frecuentemente el método más económico para inspeccionar una extensa área de mar. Puesto que el petróleo que flota en la superficie tiene forma de ventanas largas y estrechas alineadas en dirección paralela a la dirección del viento, una búsqueda en escalera perpendicular a la dirección del viento incrementará las posibilidades de detección del petróleo, (figura 2).

La calima y el deslumbramiento frecuentemente afectan a la visibilidad, por lo que la posición del sol puede dictar la mejor dirección de vuelo para efectuar el patrón de búsqueda. Las gafas de sol pueden aliviar en cierta medida el cansancio de la vista causado por la luz intensa. Las lentes polarizadas pueden ayudar a la detección del petróleo en la mar bajo ciertas condiciones de luz debido a las diferencias entre la luz reflejada por el agua y la reflejada por el petróleo. La altitud a la que se efectúa la búsqueda está generalmente determinada por la visibilidad. Con tiempo claro 500 metros de altitud frecuentemente resulta ser la óptima para maximizar el área de detección sin perder detalles, sin embargo es necesario bajar a la mitad de esta altitud o menos para confirmar el avistamiento de petróleo o examinar su apariencia. Sobre mar abierto, apartados de puntos de referencia es fácil desorientarse. Idealmente un observador podrá consultar los instrumentos del avión que facilitan la velocidad, dirección y posición del aparato, y debe asegurarse de antemano de que los mismos se pueden ver sin dificultad. En defecto de tales ayudas a la navegación, un observador con una carta apropiada puede trazar los cambios de rumbo y posiciones, comunicándose con el piloto por medio del intercomunicador del avión.

Figura 2 - Las flechas que parten de A representan respectivamente el movimiento de la corriente y el 3 % del movimiento correspondiente al viento a lo largo de un día. Sobre la posición B se muestra el patrón de búsqueda en escalera perpendicular al viento. En esta posición se encontraría el petróleo al cabo de 3 días si se mantuviesen las condiciones de viento y corriente.



Fuente: (D. W. ABECASSIS, Richard L. Jarashow, 1985)

4.5.3. APARIENCIA DEL PETROLEO EN EL MAR.

Desde el aire es muy difícil distinguir entre el petróleo de un vertido y una variedad de otros fenómenos que incluyen sombras de nubes, manchas de algas en aguas poco profundas, diferencias de color entre dos masas de agua adyacentes, sedimentos de ríos, descargas de aguas residuales, y pequeñas ondulaciones en la superficie de la mar. Es necesario por lo tanto verificar el supuesto avistamiento inicial del petróleo sobrevolando la zona a una altitud suficientemente baja para permitir la identificación con seguridad. La apariencia de descargas a la mar de agua empleada en el lavado de tanques y agua de sentinas como una mancha única de forma alargada, las distingue usualmente de derrames accidentales.

El crudo y el fuel oil vertidos en la mar experimentan grandes cambios en apariencia debido a fenómenos meteorológicos. Inicialmente las partes de mayor espesor aparecerán usualmente como densas áreas

negras, pero al producirse la emulsificación el color cambiará a marrón, naranja o amarillo. En contraste las partes más finas tendrán la apariencia de películas iridiscentes o plateadas.

4.5.4. SISTEMAS DE AYUDA A LA DETECCIÓN DEL PETRÓLEO DESDE EL AIRE.

Se han evaluado distintos sensores aéreos para asistir la detección, trazado de la forma y cuantificación del petróleo en el agua, algunos de ellos pueden ser utilizados en condiciones de mala visibilidad y durante la noche. Ningún sensor es capaz de facilitar la suficiente información en todas las condiciones, y por o tanto es necesario combinar varios dispositivos distintos para conseguir un sistema operacional. La combinación de sensores más comúnmente empleada son sensores de luz ultravioleta (SLU), infrarrojos (SLI), y un radar SLAR (radar aéreo de búsqueda lateral "side looking airborne radar"). El SLAR es particularmente útil para obtener información sobre la extensión de un derrame, aunque no puede dar ninguna indicación acerca del espesor de la mancha. Está basado en el efecto de calma causado por el crudo en la mar. El dispositivo emite una radiación en la banda de microondas y detecta las diferencias entre la señal del eco procedente de olas limpias y de aquellas que están cubiertas de petróleo. Consecuentemente este sistema es inefectivo con la mar en calma, y además otros fenómenos tales como el viento y las interacciones de las mareas pueden dar señales similares a las del petróleo.

Sin embargo, el radar SLAR puede detectar petróleo sobre un área muy amplia, (más de 20 millas si el avión está equipado con dos antenas) y es particularmente útil durante la noche.

Además, una ventaja de los sistemas de radar es que las microondas son muy poco afectadas por la niebla o las nubes.

Los SLI tienen un campo de detección mucho más pequeño que el SLAR, y aunque los sensores pueden funcionar de noche, no pueden

detectar a través de nubes o niebla. Los SLI miden la radiación natural emitida por el mar en la región térmica de infrarrojos, y detectan diferencias de temperatura respecto a la temperatura del agua en la superficie del mar. En consecuencia los SLI no son específicos para el petróleo, y la presencia del mismo tiene que ser confirmada bien visualmente o en combinación con SLU. Sin embargo los SLI pueden dar amplia información acerca del espesor de la mancha durante las horas de luz solar, debido a diferencias en la absorción de la misma.

Los sistemas de SLU detectan diferencias en la luz ultravioleta reflejada en la superficie de la mar, y por lo tanto solo son operativos durante el día. Películas muy finas de petróleo pueden ser detectadas con estos sensores, incluso aquellas de origen natural.

Un instrumento que combine los tres dispositivos se utilizaría empleando en primer lugar el SLAR para hacer una búsqueda rápida sobre una amplia área para obtener indicación de la presencia del petróleo. La presencia del mismo sería confirmada por una búsqueda más detallada utilizando los SLI y SLU.

La señal de los sensores, junto con la hora y la posición, es visualizada en un monitor en el interior del avión, y con ciertos sistemas pueden ser transmitidos a buques y a estaciones de tierra. Los datos son a menudo almacenados en cintas de vídeo, las partes que tienen mayor interés podrán ser impresas en papel para un registro permanente.

4.5.5. ESTIMACION VISUAL DE LA CANTIDAD DE PETROLEO.

Un cálculo exacto de la cantidad de petróleo es virtualmente imposible debido a la dificultad que supone medir su espesor. En el mejor de los casos, la magnitud del espesor puede ser estimada considerando ciertos factores. El petróleo se extiende rápidamente, y la mayor parte pronto alcanza un espesor medio de aproximadamente 0.1 mm con el que

permanece, caracterizado por una apariencia negra o marrón oscura. De forma similar el color del petróleo cuando brilla indica aproximadamente su espesor, (ver tabla 8).

Tabla 8 - Relación aproximada entre la apariencia, espesor y volumen del petróleo.

Tipo de petróleo	Apariencia	Espesor aproximado (mm)	Volumen aproximado (m^3/km^2)
Petróleo brillante	Plateada	0.0001	0.1
Petróleo brillante	Iridiscente	0.0003	0.3
Crudo y fuel oil	Negro/Marrón oscuro	0.1	100
Emulsiones de petróleo y agua	Marrón naranja	>1	>1000

Fuente: (EXXONMOBILE, 2008)

Para estimar la cantidad de petróleo es necesario además de medir su espesor, determinar el porcentaje de la superficie total de la mancha que corresponde a petróleo, emulsión y sheen, (fina película iridiscente de petróleo).

Las estimaciones precisas son complicadas debido a la desigual distribución del petróleo en flotación. Para evitar una visión distorsionada, es necesario mirar verticalmente hacia la mancha cuando se está calculando su distribución. Para estimar el porcentaje de área cubierto por las distintas clases de petróleo (respecto del área total ocupada por la mancha), el área cubierta por cada clase de crudo puede ser calculada sobrevolando el petróleo a velocidad constante o mediante equipos posicionadores.

Ejemplo:

Se divisa una mancha de petróleo compuesta de mousse y sheen. El aparato vuela a una velocidad constante de 150 nudos y necesita 60 segundos para recorrer la mancha a lo largo y 40 segundos para recorrerla a lo ancho. El área cubierta por mousse se estima que es un 10% y la cubierta por sheen.

De estos datos obtenemos:

Longitud de la mancha = $60 \times 150 / 3600 = 2.5$ millas

Ancho de la mancha = $40 \times 150 / 3600 = 1.7$ millas

Esto nos da un área total de aproximadamente 4.25 millas cuadradas, o lo que es lo mismo 14.6 km^2 .

Empleando estos datos junto con la tabla 3:

Volumen de mousse = $14.6 \times 1000 \times 0.1 = 1460 \text{ m}^3$

Si consideramos que el 50% del mousse es agua, obtenemos un volumen de crudo de 730 m^3 .

De forma similar se puede calcular que el volumen de sheen es de 1.3 m^3 .

Dibujo pag. I.17 - Texto superior: 1.7 millas náuticas (40 segundos de vuelo). Texto inferior: 2.5 millas náuticas (60 segundos de vuelo).

Este ejemplo sirve además para demostrar que el sheen puede cubrir áreas relativamente grandes y en cambio su contribución al volumen total de petróleo es muy pequeña. Por lo tanto es muy importante distinguir entre el sheen, el petróleo de mayor espesor y la emulsión a la hora de cuantificar la cantidad de petróleo que hay en el agua.

4.6. RECONOCIMIENTO Y ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE PETROLEO VARADO.

El conocimiento de los lugares en los que se acumulan escombros flotantes que llegan a la costa es útil a la hora de predecir dónde se puede acumular el petróleo de forma natural cuando llega a tierra. Pequeñas calas y ensenadas, así como bajo embarcaderos, muelles y otras construcciones humanas, son ejemplos de lugares en los que el petróleo puede quedar atrapado.

La apariencia del petróleo varado depende del tipo de costa, que puede ser de rocas descubiertas en la orilla, guijarros, playas de arena, zonas fangosas etc. La contaminación por petróleo raras veces es uniforme

en espesor y extensión a menos que sea un caso muy grave. El viento, las olas y las corrientes causan que el petróleo que se deposita en la costa rara vez lo haga formando una cubierta continua. En lugares con mareas la zona afectada puede ser muy amplia, particularmente en playas abrigadas y llanas, pero por otra parte puede estar confinada en una estrecha banda que termina próxima a la línea de la marea alta.

Cuando se informa de una polución en la costa, debería especificarse que partes de la misma están cubiertas por el petróleo.

Las fotografías son una ayuda muy útil para describir la situación y apariencia del petróleo en la costa. Además sirven como registro de forma que cualquier cambio posterior en la contaminación puede compararse con el estado inicial.

4.6.1. ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE PETROLEO VARADO EN LA COSTA.

Cuando se organiza una limpieza de la costa y se controla su progreso debería evaluarse cuanto petróleo hay en un tramo de costa. La distribución variable del petróleo puede causar serios errores a menos que la tarea de estimación de la cantidad de petróleo sea llevada a cabo minuciosamente. Dicha evaluación es en gran medida visual, y será imposible sí, por ejemplo, el petróleo está oculto a la vista por arena, nieve o vegetación. Si es visible, la evaluación puede dividirse en dos etapas.

En primer lugar la extensión total de la mancha a lo largo de la costa puede ser estimada y marcada en una carta o mapa de gran escala. En el caso de grandes vertidos sobrevolar la zona e helicóptero es a menudo el mejor sistema para obtener una visión general. Un avión generalmente es demasiado rápido para realizar una buena inspección de la costa a baja altitud. La inspección aérea debería ser combinada con inspecciones puntuales a pie, ya que muchos rasgos de la costa, tales como acumulaciones de algas o la arena de color oscuro tienen la misma

apariencia que el petróleo cuando se ven desde lejos. Se debe poner especial atención en identificar aquellos lugares en los que la apariencia de la costa, o donde la capa de petróleo parece cambiar. Los prismáticos son útiles, pero cualquier cambio detectado a distancia debería ser siempre verificado con una inspección cercana.

La segunda parte en la cuantificación de la cantidad de petróleo varado implica la selección de áreas representativas de la costa para hacer un cálculo de la cantidad de petróleo presente en las mismas. El área escogida debería ser suficientemente amplia para ser representativa de la parte de la costa afectada de forma similar. Este proceso se repite en otras zonas de la costa donde el grado de contaminación pueda ser diferente.

La cantidad de petróleo calculada por este procedimiento solo proporciona una cantidad aproximada debido a varias fuentes de error que son inevitables.

En playas arenosas el petróleo puede penetrar en la arena, si la saturación es uniforme, un cuarto de la profundidad de la arena contaminada puede ser tomada como muestra representativa. La presencia de guijarros o piedras y grietas en las rocas puede ser una complicación añadida y cuando se calcula el volumen de petróleo la existencia de emulsiones puede ser engañosa. Si en alguna situación no se dispone del tiempo necesario para llevar a cabo los cálculos descritos anteriormente, siempre sería posible describir el grado de contaminación como leve, moderada o grave, por comparación de la costa contaminada con referencias fotográficas.

4.6.2. PROCEDIMIENTO DE MUESTREO.

La contaminación por petróleo puede dar lugar a reclamaciones económicas compensatorias. Se exigirán pruebas de los daños causados y/o de los costos en que se ha incurrido debido a la contaminación para reclamar al presunto culpable. En ocasiones es fácil relacionar la contaminación con el causante, pero en otros casos es necesario realizar un

análisis químico del petróleo tomado de la fuente sospechosa y de la zona contaminada. No siempre es posible para un potencial demandante conseguir una muestra de petróleo de dicha fuente, pero el análisis de una muestra contaminante, permite en ocasiones obtener evidencias circunstanciales suficientes para indicar la probable fuente. El conocimiento de los procesos de degradación del petróleo junto con registros de vientos y corrientes hacen posible deducir la posición aproximada en la que el petróleo ha sido vertido.

Cualesquiera que sean las circunstancias particulares de un incidente, es importante poner especial atención en los procedimientos de toma y almacenamiento de muestras para mantener la credibilidad de cualquier evidencia analítica. Puede ser necesario asesoramiento legal para asegurarse que las acciones llevadas a cabo durante la toma de muestras se ajustan a los requerimientos legales.

Para hacer varias muestras iguales lo ideal sería dividir la muestra principal en submuestras en presencia de un testigo independiente. Aunque para la mayor parte de los propósitos de análisis unos pocos mililitros son suficientes, si se hace un esfuerzo por obtener volúmenes de cierta importancia (250 ml) se reducirán los costos de manejo y procesamiento de cantidades mínimas.

Normalmente son necesarias al menos tres submuestras para asegurarse que las principales partes interesadas tienen opción a análisis independientes.

Para evitar la contaminación de los análisis durante su almacenamiento, se recomienda emplear recipientes de cristal y deberían ser sellados y etiquetados de forma segura.

La información contenida en la etiqueta debería indicar el lugar en el que se tomó la muestra, fecha, hora nombre y dirección de la persona que tomó la muestra.

Deben tomarse especiales precauciones para evitar el deterioro de muestras almacenadas, por evaporación o biodegradación. Se recomienda mantener las muestras con refrigeración en un lugar oscuro, a menos de 5 °C.

4.7. EFECTOS DE LOS DERRAMES DE PETROLEO.

Los derrames de petróleo pueden causar serios impactos económicos en actividades costeras y en aquellas otras que explotan los recursos marinos. En la mayoría de los casos los daños son temporales y son causados principalmente por las propiedades físicas del petróleo, creando condiciones molestas y/o peligrosas. El impacto en la vida marina depende de los efectos tóxicos y contaminantes resultantes de la composición química del petróleo, así como de la diversidad y variabilidad de los sistemas biológicos y su sensibilidad a la contaminación por petróleo.

La gravedad del daño causado por un vertido no siempre refleja la cantidad de petróleo vertido. Una pequeña cantidad de petróleo en un área sensible, puede causar mucho más daño que una gran cantidad en una costa rocosa aislada.

4.7.1. IMPACTO DEL PETROLEO EN LAS ACTIVIDADES COSTERAS.

El impacto que causa de forma inmediata en las actividades costeras un derrame, es que al crear una película sobre la superficie marina esta impide la entrada de luz en el agua. Dentro del ecosistema marino hay diferentes especies, como es el caso de las algas, que necesitan la llegada de la luz para poder realizar la fotosíntesis.

Después, tiene lugar una contaminación aguda, que puede llevar incluso a la muerte de muchos organismos, porque los contaminantes del crudo son tremendamente tóxicos.

A más largo plazo, el derrame provoca años en el sistema reproductivo y de alimentación de todos los organismos del ecosistema marino.

Además de todos estos daños, el derrame crea daños a las actividades recreativas, a la industria. Lo que a su vez afecta a la opinión pública, a las actividades lúdicas y a las empresas que viven del sector del mar en la zona.

4.7.1.1. ACTIVIDADES RECREATIVAS

La contaminación de áreas costeras de recreo es una figura común de muchos vertidos de petróleo que causa inquietud pública e interfiere con actividades recreativas tales como bañarse, pescar, pasear en lancha o bucear. Los propietarios de hoteles y restaurantes, y otras personas que se ganan la vida con el turismo, también pueden resultar afectadas. Debido a su impacto en el paisaje los petróleos persistentes y sus residuos causan los mayores problemas y preocupación, produciendo sus mayores efectos probablemente justo al comienzo o durante la principal temporada turística. Los perjuicios causados a áreas costeras y propósitos recreativos por un vertido aislado son comparativamente de corta duración y sus efectos en el turismo son en gran medida una cuestión de restablecimiento de la confianza pública una vez se ha realizado la limpieza.

4.7.1.2. INDUSTRIA

Las industrias que dependen de un continuo suministro de agua de mar limpia para sus operaciones normales pueden ser afectadas negativamente por los vertidos de petróleo. En particular, las centrales de generación de corriente eléctrica están situadas frecuentemente muy próximas a la costa, para tener acceso a las grandes cantidades de agua necesarias para la refrigeración. Si se introducen a través de las tomas de agua cantidades sustanciales de petróleo, los condensadores pueden ensuciarse, obligando a una reducción de la generación o incluso a la parada total de la generación, mientras se lleva a cabo la limpieza. De forma

similar, el funcionamiento normal de las plantas desalinizadoras puede ser interrumpido por el petróleo, causando problemas de suministro de agua a los consumidores. Los astilleros con gradas y diques secos para trabajos de construcción y reparación también pueden ser afectados, ya que el petróleo producirá daños a superficies sin pintar o recién pintadas y crea condiciones de trabajo peligrosas. Se pueden producir interferencias con la navegación, particularmente cuando tiene lugar el cierre de compuertas para contener el petróleo se pueden causar demoras a los buques. Otras operaciones rutinarias del puerto, tales como servicio de ferrys pueden ser interrumpidas, particularmente después de un derrame de crudo ligero, gasolina u otro material inflamable. Por ello pequeños derrames en un puerto de gran actividad pueden tener considerables repercusiones.

4.7.2. EFECTOS BIOLÓGICOS DEL PETRÓLEO.

Los efectos del petróleo en la vida marina pueden considerarse que son causados bien por su naturaleza física, (contaminación física y efectos de asfixia causados por la capa de petróleo), o por sus componentes químicos. La vida marina puede también ser afectada por las operaciones de limpieza o indirectamente por daños físicos a los hábitats.

Las poblaciones de plantas y animales en el mar están sujetas a considerables fluctuaciones naturales debidas a cambios en las condiciones climáticas e hidrográficas y a la disponibilidad de alimento. Por ello la composición y estructura de edades de los individuos de las distintas poblaciones dentro de un hábitat marino en particular, no son constantes, sino que están en equilibrio dinámico. Por este motivo normalmente es extremadamente difícil valorar los efectos de un vertido y distinguir los cambios causados por el petróleo y los debidos a causas naturales.

Una especie puede mostrar en las diferentes etapas de la vida de sus individuos grandes diferencias en la tolerancia y reacción a la contaminación por hidrocarburos. Usualmente los huevos, larvas y los alevines serán más susceptibles que los adultos. Sin embargo, algunas

especies producen gran cantidad de huevos y larvas para compensar pérdidas naturales. Normalmente de esta gran cantidad de huevos y larvas solamente un 1% alcanza la madurez, pero el exceso de producción provee una reserva compensatoria para pérdidas extremas debidas a condiciones locales adversas. De todo esto resulta que es poco probable que pérdidas locales de huevos y larvas causadas por un vertido tengan efectos sensibles en el tamaño o salud de futuras poblaciones adultas.

La capacidad de las poblaciones de animales y plantas para recuperarse de un vertido de petróleo y el tiempo necesario para restablecer un equilibrio normal en el hábitat depende de la gravedad y duración de la alteración del medio por el petróleo, y del potencial de recuperación de las distintas especies.

Organismos abundantes con individuos en etapas jóvenes de alta movilidad, producidos regularmente en gran número pueden repoblar un área rápidamente cuando se han restablecido las condiciones previas al derrame, mientras que poblaciones de larga vida, especies de lento crecimiento con bajos niveles de reproducción pueden necesitar muchos años para recuperar el número y distribución por edades que existía antes del derrame. En general la velocidad de recuperación en regiones tropicales es mucho mayor que en zonas frías.

Mientras que puede ser factible restablecer las características físicas de un hábitat contaminado a una condición próxima a la que había antes de la contaminación, el grado en es que puede ser recuperado biológicamente es muy limitado. Aunque la limpieza de manglares y marismas y su reforestación con plantones puede ser posible en algunos casos, es necesario ser muy cuidadoso para asegurarse de que el área no es dañada físicamente, ya que esto a lato plazo puede ser más destructivo que la pérdida de vegetación. El restablecimiento de los animales es virtualmente imposible, y aunque algunas especies pueden ser criadas en cautividad y liberadas, o se pueden desplazar desde áreas no dañadas, (por ejemplo

ciertos pájaros, mamíferos, reptiles y peces), es poco probable que esto acelere la recuperación natural de un hábitat marino complejo.

4.7.3. IMPACTO DEL PETROLEO EN HABITATS MARINOS ESPECIFICOS.

A continuación se resume el impacto que un derrame puede tener en determinados hábitats marinos.

Debemos tener en cuenta que dentro de cada hábitat reina un amplio rango de condiciones medioambientales, y frecuentemente no hay una división clara entre un hábitat y otro.

4.7.3.1. AGUAS ABIERTAS Y FONDOS MARINOS

Plancton es el término empleado para referirse a animales y plantas flotantes transportadas pasivamente por las corrientes en los estratos más altos de la mar. Forman la base de la cadena alimenticia marina, e incluyen huevos y alevines de peces, crustáceos y animales del fondo marino. Su sensibilidad a la contaminación por petróleo ha sido demostrada experimentalmente. En mar abierto, la rápida dilución del petróleo dispersado de forma natural y sus componentes solubles, así como la alta mortalidad e irregular distribución del plancton, hace que efectos significativos sean poco probables.

Animales muy capacitados para la natación, tales como sepias, peces, tortugas, ballenas y delfines tienen gran facilidad para desplazarse y raramente son afectados por un derrame en aguas abiertas. En áreas costeras, algunos mamíferos marinos tales como focas, reptiles y tortugas pueden ser particularmente vulnerables a los efectos de la contaminación, debido a su necesidad de salir a la superficie para respirar y a tierra para reproducirse. Los peces adultos que viven en aguas próximas a la costa y los alevines que están en aguas poco profundas, pueden estar también en peligro de exposición al petróleo dispersado o disuelto.

Plantas y animales que viven en el fondo marino forman también una parte importante de la cadena alimenticia y en las aguas próximas a la costa muchos de estos animales y algunas algas, son explotados comercialmente. El riesgo de que las capas de petróleo de la superficie afecten al fondo marino en aguas abiertas es muy pequeño, pero en aguas poco profundas gotas de petróleo pueden alcanzar el fondo, particularmente durante períodos de mal tiempo. Crudos recién derramados y productos refinados ligeros con una alta proporción de componentes tóxicos pueden causar daños locales a lechos de algas marinas y a diversos animales, tales como almejas, erizos de mar, y lombrices. La incorporación del petróleo a los sedimentos puede conducir a mortíferos y contaminación de especies comerciales. El petróleo degradado puede acumular partículas de sedimentos y hundirse, especialmente después de permanecer varado temporalmente, y es posible que cause daños a especies bentónicas.

4.7.3.2. EFECTOS EN LA COSTA

La costa más que cualquier otra parte del medio marino, está expuesta a los efectos del petróleo. El impacto puede ser particularmente importante en aquellas zonas donde hay rocas, arena y fango quedan descubiertas durante la marea baja. Aunque los animales y plantas que viven en la zona que queda descubierta durante la marea baja son capaces de soportar pequeños períodos de exposición a condiciones adversas, pueden morir por efecto de los componentes tóxicos del petróleo, o asfixia física debida a la viscosidad del petróleo. Los animales pueden quedar narcotizados por el petróleo y terminar estrellándose contra las superficies rocosas o salir de sus madrigueras, quedando vulnerables a los depredadores, o expuestos al aire hasta el punto de no poder sobrevivir. La recolonización de la costa por las plantas y animales predominantes puede ser rápida, sobre las rocas el primer paso es normalmente la colonización por algas marinas seguida de un lento retorno de animales que se alimentan de las mismas. Sin embargo el restablecimiento completo del equilibrio normal, en situaciones extremas, puede necesitar varios años.

4.7.3.3. EFECTOS EN HUMEDALES

Las marismas que se originan en zonas resguardadas en regiones templadas y frías se caracterizan por una densa vegetación baja, en islotes de barro situados en medio de una red de canales. El aporte orgánico del pantano proporciona la fuente básica de alimento de una rica y diversa fauna de lombrices, caracoles, almejas y cangrejos, que a su vez son comidas por aves que se congregan en gran número durante la marea baja, especialmente en ciertas épocas del año.

La vegetación de estas zonas es más sensible a los crudos ligeros no degradados y a los productos ligeros refinados, que al petróleo degradado, el cual causa relativamente pocos daños. La contaminación de las partes bajas de la planta y de su sistema de raíces puede ser letal, en cambio en las partes más altas incluso una capa gruesa de petróleo puede tener pequeñas consecuencias, especialmente si la contaminación ocurre fuera de la época de crecimiento. Daños más generalizados pueden producirse de repetidas contaminaciones o si el petróleo penetra en los sedimentos, donde puede permanecer durante varios años. De forma similar, si el petróleo alcanza la parte sumergida del pantano durante un período de mareas extremadamente altas, el tiempo de persistencia puede prolongarse, afectando a las plantas y a las aves que se alimentan y descansan allí.

En regiones tropicales los bosques de manglares están ampliamente distribuidos y sustituyen a las marismas en costas abrigadas y estuarios. Los manglares tienen raíces de respiración compleja sobre la superficie del barro orgánicamente rico y pobre en oxígeno en el cual viven. El entramado de raíces y los sedimentos que quedan atrapados en las mismas crean hábitats para peces, camarones, cangrejos, caracoles, ostras, mejillones y otros animales que viven directa o indirectamente de los nutrientes caídos del manglar. Los bosques de manglares también proporcionan comida y cobijo a alevines de peces comercialmente importantes y gambas. La pesca en los riachuelos y canales de drenaje, y la recolección de crustáceos en medio de

las propias raíces sostiene comunidades de aldeas que frecuentemente viven en un nivel de subsistencia. La madera de los manglares también es utilizada, para quemar, construir etc.

El petróleo puede bloquear las aberturas de las raíces de respiración de los manglares, o interferir con su equilibrio de sal, causando la caída y posterior muerte del árbol.

El sistema de raíces puede ser dañado por petróleo no degradado y los efectos pueden durar años, impidiendo la recolonización por plantones de manglar. Los efectos a largo plazo en los animales asociados son probablemente menos severos.

4.7.3.4. EFECTOS EN LOS ARRECIFES DE CORAL

Los arrecifes de coral se encuentran en la mayor parte de las costas e islas tropicales, en aguas cálidas y poco profundas de salinidad y claridad apropiadas. Los corales vivos crecen sobre los restos calcáreos de colonias de coral muerto, formando capas, grietas y otras irregularidades habitadas por una rica variedad de peces y otros animales.

Por el lado de tierra del arrecife hay frecuentemente una laguna, que es un entorno de baja energía usualmente con un fondo de arena y lechos de algas, protegido por el arrecife exterior. Si el coral vivo es destruido el arrecife puede sufrir la erosión por efecto de las olas.

Los arrecifes de coral están generalmente sumergidos, y solamente cuando están expuestos brevemente al aire durante la marea baja son vulnerables a ser cubiertos por el petróleo en flotación. Debido a las turbulencias y a la acción de las olas característica de los arrecifes, los corales pueden estar expuestos a gotas de petróleo dispersado de forma natural. Los efectos del petróleo en el coral y su fauna asociada están determinados en gran medida por la proporción de componentes tóxicos, la duración de la exposición y el grado de otros efectos nocivos.

La observación de corales contaminados por el petróleo sugiere que varios efectos subletales pueden ocurrir, tales como interferencia con los procesos reproductivos, comportamiento anormal y crecimiento reducido o suspendido.

La mayor parte de los efectos son temporales, pero efectos similares en la fauna asociada al arrecife pueden tener mayores repercusiones, ya que animales narcotizados pueden ser arrastrados fuera de la protección del arrecife por las olas y las corrientes.

4.7.3.5. EFECTOS SOBRE LAS AVES

Las aves que se congregan en gran número en el mar o en la costa para reproducirse, alimentarse o mudar las plumas son particularmente vulnerables a la contaminación por petróleo. Estas aves incluyen, pingüinos y patos, pero otras especies más solitarias tales como pelícanos, cormoranes y alcatraces pueden también ser afectadas. Aunque el petróleo ingerido por las aves mientras se arreglan las plumas puede ser letal, la causa de muerte más común es por asfixia, inanición y pérdida de calor, seguidas de daños al plumaje por el petróleo. El plumaje manchado de petróleo pierde sus propiedades aislantes y de impermeabilidad.

Hay muchos ejemplos de derrames de petróleo que han causado la muerte a gran cantidad de aves, dando lugar a preocupación por la supervivencia de las aves. Muchas aves marinas tienen una vida larga, madurez tardía y bajos niveles de reproducción y se ha pensado que estos factores en su conjunto impiden la rápida recuperación. Sin embargo, recientes investigaciones indican que no todas las aves maduras se reproducen al mismo tiempo, y que estos individuos forman una reserva para reemplazar las aves muertas.

La mortalidad causada por los derrames de petróleo puede por lo tanto no tener un impacto detectable en la reproducción de la población de aves marinas, excepto, posiblemente en el caso de colonias aisladas con un

potencial limitado para la recolonización desde otro lugar y aquellas poblaciones expuestas a otros problemas.

La limpieza y rehabilitación de aves contaminadas por el petróleo requiere de personal entrenado, e inevitablemente causa un considerable estrés a las aves. Aunque se puede salvar determinado número de aves, la razón para la limpieza de las mismas está basada usualmente más en la protección de los animales que en cualquier expectativa de promover de ese modo la recuperación de la población, excepto en el caso de especies en peligro de extinción.

4.7.4. IMPACTO DEL PETROLEO EN LA PESCA Y LOS CULTIVOS MARINOS.

Un derrame de petróleo puede dañar directamente las embarcaciones y el equipo empleados para la captura o cultivo de especies marinas. El equipo de a flote y aparejos fijos extendidos en la superficie son más propensos a ser contaminados por el petróleo que flota en el agua, mientras que redes, nasas, palangres y redes de arrastre usualmente están bien protegidos, siempre y cuando no sean izados abordo a través del petróleo, aunque en algunos casos pueden ser afectados por petróleo hundido.

Ocasionalmente se denuncia una reducción de las capturas de pescado, crustáceos y otros organismos marinos después de un vertido. Esto es debido más frecuentemente a una reducción del esfuerzo pesquero. Aunque en raras ocasiones se puede producir gran mortalidad del pescado por contaminación física o estrecho contacto con petróleos ligeros no degradados en aguas poco profundas con escaso cambio de agua. Esto ha sugerido algunas veces que la cantidad de pescado y crustáceos será reducida durante cierto tiempo después de un vertido como resultado del daño causado a los huevos y a las larvas, sin embargo, la experiencia obtenida de importantes derrames ha demostrado que la posibilidad de tales

efectos a largo plazo es remota, ya que la sobreproducción normal de huevos provee una reserva capaz de compensar cualquier pérdida local.

Los cultivos marinos, tales como pescado enjaulado, corren mayor riesgo en caso de un derrame, ya que los mecanismos naturales que evitan la contaminación pueden ser impedidos, y el petróleo que se queda adherido al equipo de cultivo puede suministrar una fuente prolongada de entrada de componentes del petróleo y contaminación a los organismos cultivados.

Los cultivos de algas son particularmente vulnerables en áreas con mareas, en las cuales las algas pueden contaminarse con petróleo durante la marea baja. Algas marinas tales como el kelp, suspendidas de cuerdas en aguas profundas desde estructuras flotantes están mejor protegidas.

En la cuantificación de los daños, las pérdidas pueden calcularse por comparación de la producción posterior al derrame con cosechas y ventas de años previos o de áreas adyacentes no afectadas. La situación en el caso de especies no cultivadas es frecuentemente más difícil ya que un cálculo exacto de la cantidad de pescado existente en caladero es imposible y cualquier individuo muerto será probablemente consumido por carroñeros. Las estadísticas de pesca raramente son lo suficientemente detalladas para cuantificar cualquier disminución debida a un derrame separándola de cambios debidos a otros factores tales como un esfuerzo pesquero variable y fluctuaciones naturales en la cantidad de pesca.

Un derrame puede causar la pérdida de la confianza del mercado, ya que los consumidores pueden estar poco dispuestos a adquirir productos marinos de la región afectada sin tener en cuenta si el pescado está actualmente contaminado, aunque debido a las grandes pérdidas económicas que suponen la pérdida de ventas, se tiene gran cuidado en evitar que pescados y/o mariscos contaminados lleguen al mercado. Idealmente esto incluiría la prueba del sabor del pescado por personal cualificado en el momento del derrame. Para eliminar los efectos de valoraciones subjetivas, los catadores deben establecer correctamente la

ausencia o existencia de contaminación en muestras de control limpias y deliberadamente contaminadas respectivamente. Estas muestras deberían ser introducidas en medio de las muestras reales de manera aleatoria, de forma que el catador no pueda distinguir las muestras de control de las otras. Deben hacerse cierto número de tests por catador para asegurarse de que los resultados son estadísticamente significativos.

Pueden imponerse prohibiciones en la pesca y cosecha de productos marinos durante un tiempo, tanto para mantener la confianza del mercado como para proteger el equipo pesquero y los aparejos de la contaminación. El área que abarca la prohibición está relacionada directamente con la localización y extensión de las manchas de petróleo y la justificación para su mantenimiento será revisada frecuentemente de acuerdo a la posición del petróleo y los resultados de las pruebas realizadas por los catadores. Tales prohibiciones no se mantendrán una vez transcurrido el relativamente corto espacio de tiempo normalmente necesario, durante el cual el petróleo está presente.

La cría de especies cultivadas frecuentemente sigue un programa estricto, los retrasos causados para proteger el cultivo del petróleo pueden resultar contraproducente si el crecimiento es perjudicado, dando como resultado una cosecha pobre.

4.8. PLANES DE CONTINGENCIA.

Los planes que cubren áreas en las que se maneja una amplia variedad de petróleos, o a través de las que pasan petroleros en tránsito, no pueden anticipar el impacto de un derrame. Por lo tanto es importante que el tipo de petróleo vertido se establezca tan pronto como sea posible, ya que así podrá predecirse como evolucionará y se emplearán las técnicas de limpieza apropiadas. Para las terminales y campos petrolíferos marinos, donde el número de distintos tipos de petróleo manejado es muy limitado, se puede apreciar la evolución probable de un posible derrame cuando se realizan planes de contingencia. La información acerca de los vientos y

corrientes predominantes a lo largo del año indicarán los recursos que es más probable que sufran el efecto del derrame. Datos sobre los distintos tipos de petróleo manejados pueden permitir realizar predicciones acerca de la duración de las manchas y de la cantidad y naturaleza de los residuos que pueden requerir una limpieza. Dichos datos también ayudarán a la selección del equipo de limpieza apropiado para contener el derrame.

Debido a la dificultad de las decisiones que será necesario tomar durante un derrame con el objeto de minimizar daños y resolver conflictos de intereses, muchas de estas pueden tomarse a nivel del plan de contingencia, para identificar áreas sensibles y determinar prioridades. El trazado en un mapa de las áreas sensibles es un útil punto de partida.

Se darían consideraciones detalladas acerca del probable impacto que un derrame tendría en cada hábitat o actividad, teniendo en cuenta cualquier variación que pudiese haber de una estación a otra. Se prestará atención entonces a la identificación de las áreas que van a ser protegidas y su orden de prioridad. Esto nunca será fácil, ya que el valor de cada recurso para la comunidad dependerá de la importancia dada al medio ambiente según consideraciones recreativas, económicas y políticas. Esto puede requerir reunir y evaluar gran cantidad de información. Si esto se lleva a cabo de forma apropiada, tales estudios de los recursos en peligro en cierta área, pueden formar también las bases para cuantificar los daños causados por el derrame. Establecidas las prioridades de protección, hay que determinar cuáles son las medidas de limpieza apropiadas. Es necesario hacer una estimación realista de las distintas técnicas que es posible emplear, ya que la recomendación de evitar las opciones que ecológicamente son más dañinas puede llevar a la adopción de técnicas inefectivas y dar lugar a mayores daños a otros hábitats o actividades.

4.9. CONTENCIÓN Y RECUPERACIÓN.

Cuando se produce un vertido de petróleo en la mar, su eliminación es frecuentemente deseable. La forma más común de intentarlo es utilizar alguna barrera para detener, o al menos minimizar la extensión del mismo y concentrarlo en una gruesa capa, de forma que se pueda recuperar empleando una bomba o un skimmer.

4.9.1. CONTENCION.

Para contener el petróleo para su posterior recuperación o desviarlo de áreas sensibles, es necesario emplear algún tipo de barrera. Se han desarrollado muchos tipos de barreras para este propósito. Estas incluyen barreras absorbentes, sistemas de redes, barreras de burbuja y también barreras y vallas improvisadas. La selección de la barrera más apropiada dependerá de las condiciones particulares de cada caso, así como de las barreras disponibles. Las barreras comerciales son las más comúnmente empleadas en el control de derrames, por lo que las vamos a describir a continuación a grandes rasgos.

4.9.1.1. BARRERAS COMERCIALES.

El diseño varía considerablemente de unas a otras, pero normalmente todas tienen las siguientes características:

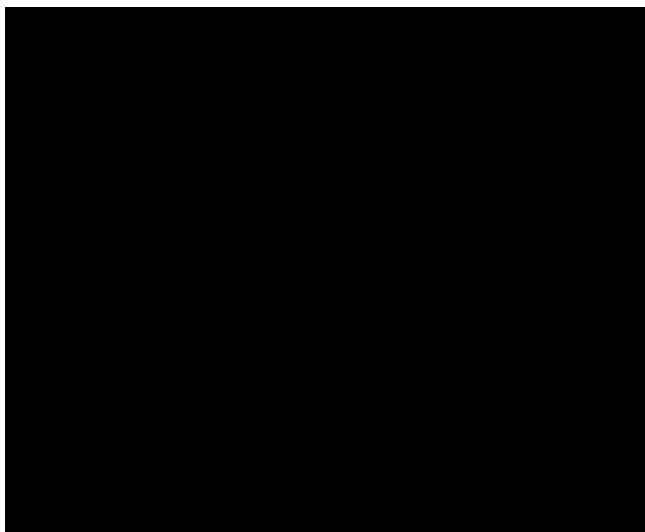
- a) Francobordo, para impedir o reducir que el petróleo pase sobre la barrera.
- b) Una porción de barrera bajo la superficie, (falda), para evitar o reducir el escape de petróleo por debajo de la barrera.
- c) Flotabilidad, obtenida mediante una cámara de aire o algún material flotante.
- d) Elementos de resistencia longitudinal, (cadena o cable, también existen barreras fabricadas con materiales que aportan la resistencia longitudinal necesaria, con lo cual no es necesario emplear cadenas), para soportar el efecto del viento, las olas y las corrientes.

Las barreras se pueden dividir en dos grandes categorías según su diseño:

a) Barreras de cortina: Proporcionan bajo la superficie una falda continua o pantalla flexible sostenida por un flotador sólido o por una cámara de aire, usualmente de sección transversal circular (figura 3). Las barreras con flotabilidad por cámara de aire tienen solamente una pequeña área de almacenamiento cuando están deshinchadas, mientras que las barreras con flotadores sólidos, aunque son más resistentes, también son más voluminosas, lo cual es un inconveniente a la hora de su almacenamiento. Las barreras de cortina generalmente tienen buena capacidad para acompañar el movimiento de las olas, velocidades de fuga moderadas, (la velocidad de fuga es la velocidad relativa del agua respecto a la barrera a la que el petróleo la sobrepasa), y son razonablemente fáciles de limpiar.

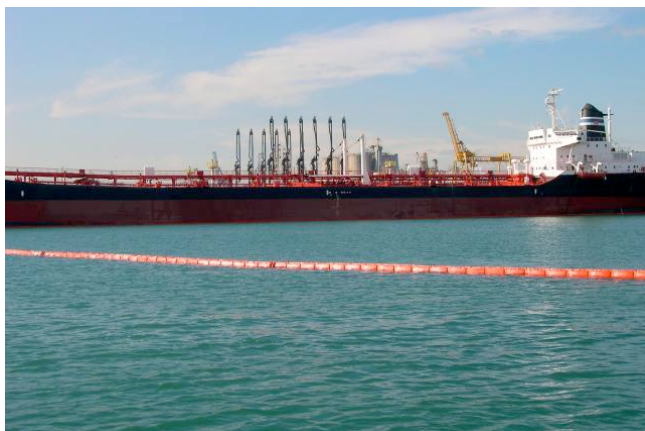
b) Barreras de valla: Tienen sección transversal plana y se introducen verticalmente en el agua, (figura 4). Pueden tener flotabilidad incorporada o se les proporciona mediante flotadores externos. Los flotadores sólidos son los más frecuentemente empleados en este tipo de barreras, pero si se emplean flotadores externos, se pueden generar turbulencias, dando lugar al escape del petróleo a bajas velocidades de fuga. Este tipo de barreras es más voluminoso y difícil de limpiar. En general las barreras de valla son más apropiadas para aguas en calma, donde la velocidad de la corriente es baja.

Figura 3 - Barrera de cortina con flotador de aire. La cadena va instalada en un pliegue de la falda y sirve para dar resistencia en sentido longitudinal y al mismo tiempo hace de lastre.



Fuente: (TEBRAFILTER)

Figura 4 - Barrera de valla con flotadores sólidos. Pesos de lastre van instalados a lo largo de la falda.



Fuente (TECHNOLOGY, Markleen: Oil spill)

Muchas barreras de cortina o valla tienen características similares, incluidos refuerzos y/o lastre integrado para mantenerlas adrizadas en el agua, conexiones para unir secciones así como puntos de remolque y fondeo.

4.9.1.1.1. FUNCIONAMIENTO Y LIMITACIONES

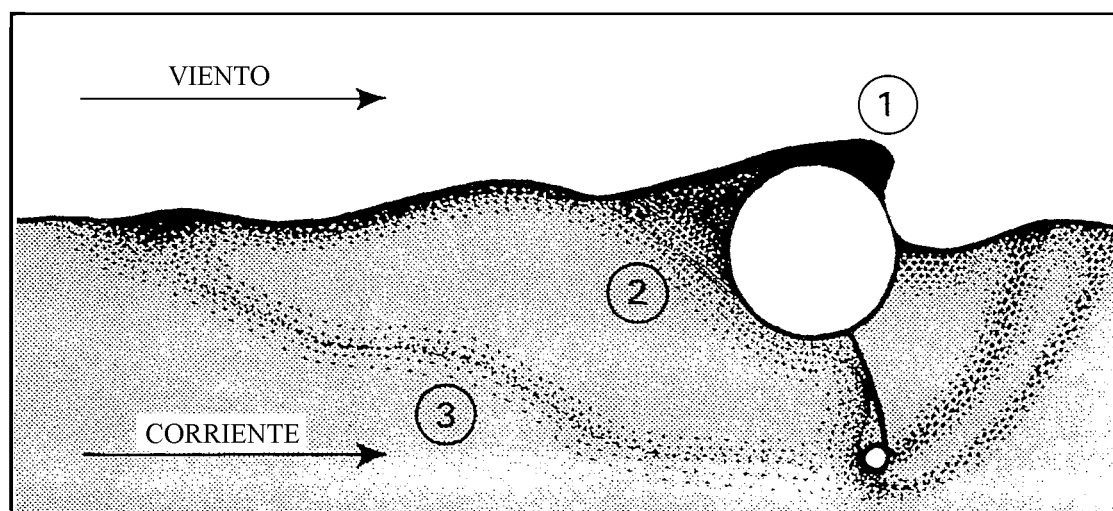
La característica más importante de una barrera es su contención de petróleo o capacidad de desviación, determinada por su comportamiento en relación con el movimiento del agua. Debería ser flexible para adaptarse a las olas, pero o suficientemente rígida para contener tanto petróleo como sea posible. Ninguna barrera puede contener el petróleo con corriente de velocidad superior a 1nudo actuando en ángulo recto con respecto a la barrera. La forma en que el petróleo sobrepasa la barrera, y su relación con la velocidad del agua es una función tanto del tipo de petróleo como del diseño de la barrera. Los petróleos de baja viscosidad se escapan a velocidades más bajas que los de alta viscosidad. Al pasar el tiempo, el petróleo tiende a acumularse junto a la barrera y fluye verticalmente hacia abajo, pasando bajo la falda. El petróleo de baja viscosidad des llevado bajo la falda hasta el otro lado de la barrera en forma de gotas desprendidas de la parte baja de la capa de petróleo. Además de las corrientes de los ríos y las de marea, el viento y las olas pueden generar velocidades del agua

superiores a la velocidad de escape, o causar que el petróleo contenido sobrepase la barrera. La fuga también puede ser debida a turbulencias a lo largo de la barrera, y por lo tanto es deseable que la barrera tenga un perfil uniforme sin salientes. En la figura 5 se esquematizan las distintas formas en las que el petróleo puede rebasar una barrera.

El tamaño y la longitud de las secciones de la barrera son también consideraciones importantes. El tamaño óptimo de una barrera está relacionado en gran medida con el estado de la mar. Como norma general debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar una barrera el mínimo francobordo para evitar que el petróleo pase sobre la misma.

La profundidad de la falda sería de dimensiones similares a la del francobordo. Las secciones cortas pueden hacer la barrera más fácil de manejar y proteger la integridad de la misma en su conjunto si fallase una de las secciones, pero estas ventajas deben ser sopesadas contra la dificultad y el tiempo necesario para conectar las secciones de forma efectiva. Las conexiones interrumpen el perfil de la barrera, por lo que, siempre que sea posible, no deben coincidir en el punto de mayor concentración de petróleo.

Figura 5 - Formas de escape del petróleo contenido en una barrera:



- 1- Sobre la barrera. 2- Fluyendo bajo la falda. 3- En forma de gotas desprendidas de la parte baja de la capa de petróleo

Fuente: (THE INTERNATIONAL TANKER OWNER POLLUTION FEDERATION, 2012)

El diseño de los conectores debe ser tal que permita la fácil conexión durante el despliegue y mientras la barrera está en el agua.

Otras características importantes son la resistencia, facilidad y velocidad de despliegue, fiabilidad, peso y coste. Una barrea debe ser suficientemente robusta para el fin propuesto y debe tolerar un manejo inexperto, ya que el personal entrenado no está siempre disponible. La resistencia estructural y durabilidad son requeridas particularmente para soportar las fuerzas del agua y del viento cuando la barrera es remolcada o amarrada. Facilidad y velocidad de despliegue combinados con la fiabilidad son características muy importantes en situaciones que cambian rápidamente y pueden influir en gran medida en el resultado obtenido.

4.9.1.1.2. FUERZAS EJERCIDAS SOBRE LAS BARRERAS

Para estimar la fuerza aproximada F_c (kg), ejercida sobre una barrera con una superficie sumergida de área A_s (m^2), por una corriente de velocidad V_c (nudos) de dirección perpendicular a la barrera, se puede emplear la siguiente fórmula:

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

Por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un tramo de barrera de 100 m de longitud con una falda de 0,6 m de profundidad, bajo la influencia de una corriente perpendicular a la barrera de velocidad 0,5 nudos sería:

$$F_c = 26 \times (0,6 \times 100) \times 0,5^2 = 390 \text{ kg}$$

Para calcular la fuerza ejercida sobre la barrera cuando es remolcada se emplea la misma fórmula, sustituyendo V_c por la velocidad de

remolque. De la fórmula anterior se deduce que doblando la velocidad de la corriente remolque la fuerza se multiplica por cuatro.

La fuerza F_w (kg) ejercida por un viento de velocidad V_w (nudos) que incide perpendicularmente sobre el francobordo de superficie A_f (m²) de una barrera, también puede ser considerable.

Una fórmula similar a la anterior puede utilizarse para estimar la fuerza ejercida por el viento:

$$F_w = 26 \times A_f \times (V_w/40)^2$$

Por ejemplo, la fuerza ejercida sobre un tramo de barrera de 100 m de longitud con un francobordo de 0,5 m por un viento de 15 nudos sería:

$$F_w = 26 \times (0,5 \times 100) \times (15/40)^2 = 183 \text{ kg}$$

En el ejemplo anterior las fuerzas combinadas de viento y corriente darían como resultado una fuerza de 573 kg si ambos estuviesen actuando en la misma dirección sobre una barrera rígida. Pero en realidad las barreras son flexibles y forman una curva. Además, la barrera sería remolcada o amarrada formando cierto ángulo con respecto al flujo del agua. Ambos factores conducen a una reducción de las fuerzas que actúan sobre la barrera, además un amplio margen de seguridad es incluido en el resultado de este cálculo. De todos modos el cálculo proporciona una idea útil de la proporción de tales fuerzas y puede ayudar en la selección de amarras y buques para el remolque.

4.9.1.2. SISTEMAS DE REDES.

El uso de redes para recuperar bolas sólidas de alquitrán es una aplicación obvia, y la extensión de su uso para contener petróleo de alta viscosidad tiene en teoría ciertas ventajas sobre el uso de barreras convencionales. En particular, su estructura abierta ofrece menos resistencia

al movimiento del agua de modo que se podrían fabricar secciones resistentes y de poco peso, que podrían realmente ser lo suficientemente largas para encerrar petróleo esparcido sobre un amplio área. Como resultado de la menor resistencia presentada por la red al movimiento a través del agua también sería posible emplearlas con corrientes más rápidas o barrer o arrastrar la superficie del mar a mayor velocidad que la que se puede alcanzar con barreras convencionales.

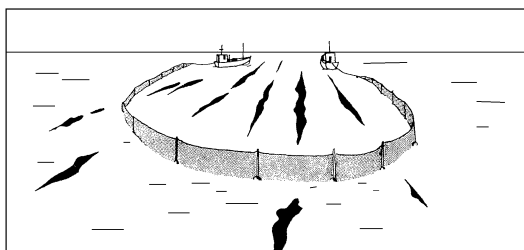
Los diseños más desarrollados son dos, y se han obtenido basándose en la experiencia de la industria pesquera:

- a) Una red de gran longitud puesta en doble (figura 6), la cual puede ser empleada para encerrar o recoger el petróleo que flota en el agua y que puede también emplearse para proteger áreas sensibles.
- b) Una red de arrastre con un copo desmontable que puede ser arrastrada por la superficie (Figura 7).

4.9.1.3. BARRERAS ABSORBENTES.

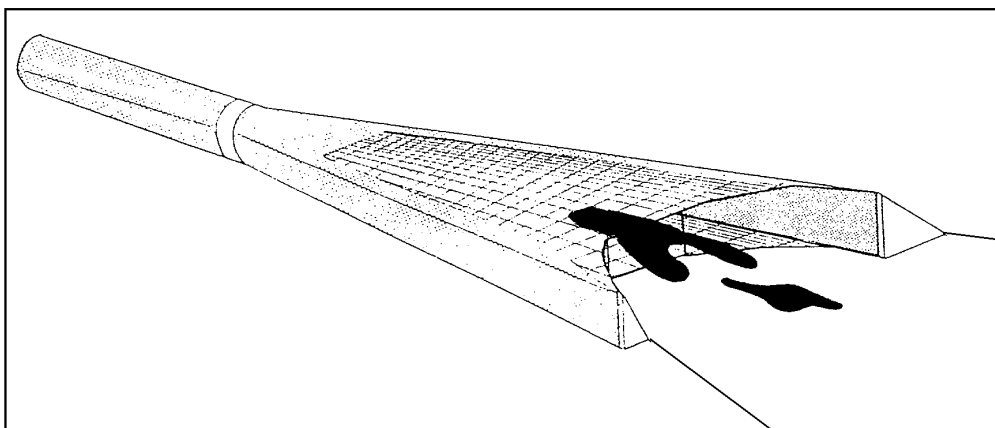
Las barreras absorbentes usualmente consisten en una tubo de red o algún otro tejido relleno de un material absorbente sintético o natural. Las barreras de este tipo tienen. Las barreras de este tipo tienen una resistencia intrínseca pequeña, y para algunas aplicaciones puede requerir un soporte adicional. Algunas necesitan también flotación extra para evitar su hundimiento cuando se saturan e petróleo y agua.

Figura 6 - Sistema de red en doble para contención y recuperación del petróleo empleando dos buques



Fuente: (LAMOR)

Figura 7 - Red de arrastre para recogida de petróleo sólido en flotación con copo desmontable.



Fuente: (EXXONMOBILE, 2008)

Normalmente solo se utilizan en áreas de corrientes de baja velocidad para recoger finas películas de petróleo, ya que su eficiencia disminuye rápidamente una vez que las capas exteriores del material absorbente se han saturado de petróleo. El manejo y posterior eliminación de barreras absorbentes empapadas de petróleo puede ser problemático.

4.9.1.4. BARRERAS Y VALLAS IMPROVISADAS.

Cuando no hay disponible equipo construido especialmente para el propósito, es posible improvisar con éxito utilizando barreras hechas con materiales disponibles. Por ejemplo, se pueden hacer barreras flotantes con madera, bambú, bidones, mangueras y tiras de goma, y las barreras absorbentes se pueden construir con redes de pesca o tela metálica rellenas con paja, cáscaras de coco u otros materiales propios del lugar (figuras 8 y 9).

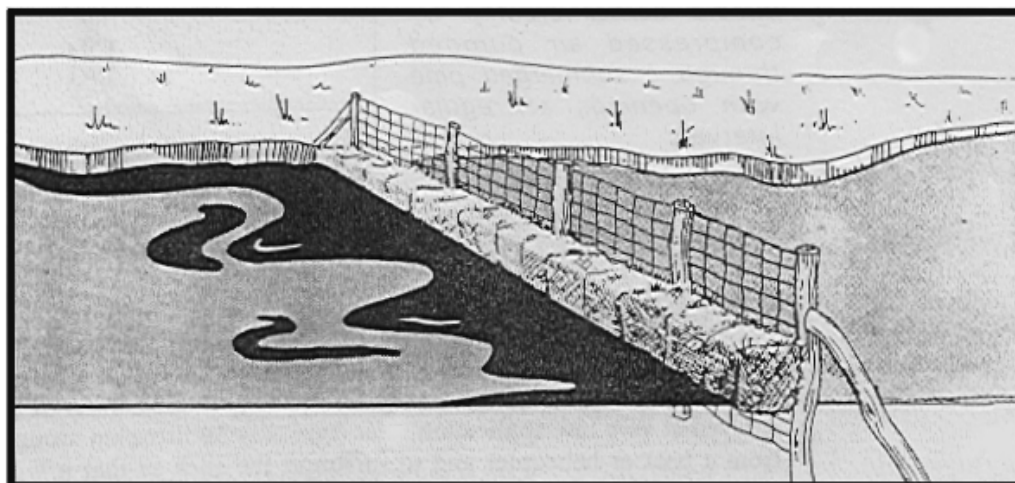
En aguas poco profundas se pueden clavar postes en el fondo para sostener cortinas hechas con arpilleras u otros materiales similares.

Figura 8 – Barrera improvisada construida con bambú, cabos, alambres y madera; como material absorbente se emplea paja



Fuente: (EXXONMOBILE, 2008)

Figura 9 - Barrera fija hecha con balas de paja y red de alambre clavada a postes de madera firmes al fondo.



Fuente: (EXXONMOBILE, 2008)

En playas de arena de gran longitud se pueden emplear motoniveladoras para construir barreras de arena dentro del agua de poca profundidad, impidiendo así que el petróleo llegue a la orilla. Un sistema similar puede ser empleado a veces para bloquear estuarios estrechos o lagunas para impedir la entrada del petróleo en los mismos, aunque las

consecuencias ecológicas de tales medidas temporales deben ser cuidadosamente consideradas.

4.9.1.5. BARRERAS DE BURBUJAS.

Se puede producir una barrera de burbujas bombeando aire en el interior de un tubo perforado situado bajo el agua (figura 10).

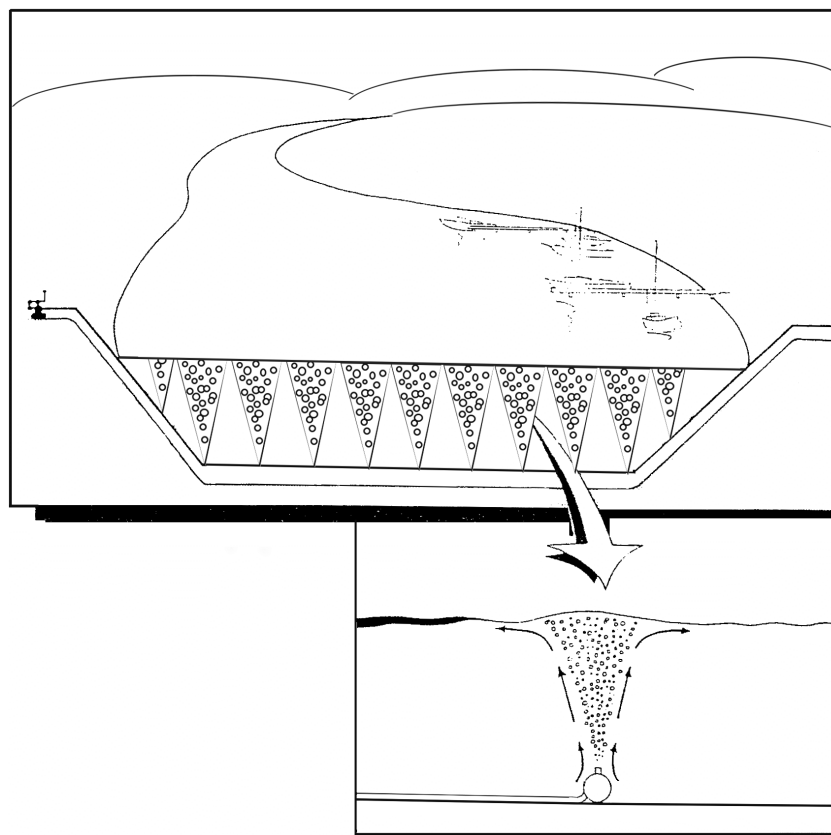
Las burbujas de aire crean una contracorriente en la superficie que retiene el petróleo incluso con corrientes de hasta 0.7 nudos. Las barreras de burbujas se instalan a veces de forma permanente para proteger puertos donde las corrientes son relativamente bajas y donde las barreras flotantes obstaculizarían el movimiento de los buques. La revisión periódica de estos sistemas es esencial para asegurarse de que los orificios no están taponados por sedimentos u organismos marinos.

Se han desarrollado también sistemas portátiles, que pueden ser útiles para desviar el petróleo, en condiciones de calma, en ensenadas con mareas poco sensibles o para ser colocados en la entrada de puertos deportivos.

4.9.1.6. BARRERAS QUÍMICAS.

Ciertos productos químicos inhiben la expansión del crudo de baja viscosidad por reducción de la tensión superficial del agua que lo rodea. Están diseñados para ser rociados muy lentamente, (típicamente 30 litros/km), desde un bote o helicóptero, alrededor de la mancha, de forma que el petróleo se concentrará para su recuperación. Aunque la técnica ha sido demostrada experimentalmente, debido al alto coste de estos productos químicos, el limitado espesor de la película de petróleo resultante, y la corta duración de los efectos, nunca se ha empleado esta técnica a gran escala.

Figura 10 - Barrera de burbujas creada por bombeo de aire comprimido a través de un tubo sumergido con orificios practicados a intervalos regulares



Fuente: (ENVIROMENTAL, Spilldam)

4.9.2. RECUPERACION DEL PETROLEO.

La rápida recuperación del petróleo una vez que ha sido contenido es vital para evitar su escape y que la contaminación continúe extendiéndose hacia otras áreas. La recuperación se puede llevar a cabo empleando skimmers, bombas, materiales absorbentes técnicas manuales y equipamiento mecánico no especializado, tal como camiones de vacío.

4.9.2.1. SKIMMERS.

Todos los skimmers incorporan un elemento de recogida de petróleo, algún sistema de flotación o forma de soporte, y una bomba para transferir el material recogido a un tanque de almacenamiento. Los diseños más complejos pueden ser autopropulsados y tener varios elementos de

recogida de petróleo, tanques de almacenamiento integrados o instalación separadora de petróleo y agua.

Se pueden distinguir dos tipos básicos de skimmer, por una parte están los de succión, y por otra aquellos que funcionan por adhesión. Los más sencillos son los que funcionan por succión, que recogen el petróleo directamente de la superficie del agua o a través de una presa, por medio de una bomba o sistema de succión de aire. Este tipo de dispositivos tienden a recoger grandes volúmenes de agua junto con el petróleo. Esto puede ser una ventaja cuando se están recogiendo petróleos de alta viscosidad, que de otra forma bloquearían las mangueras rápidamente impidiendo el bombeo. Se necesita una gran capacidad de almacenamiento para recibir y separar el material recogido, del cual el agua representa más de un 90%. En cuanto a la separación del agua y el petróleo, para el propósito de control de derrames, un sistema de separación por gravedad es suficiente.

En contraste con el tipo de skimmer descrito están aquellos que incorporan materiales oleofílicos en cintas, tambores, discos o cuerdas sintéticas, los cuales frecuentemente consiguen un mayor grado de recuperación de petróleo para el mismo volumen de material recogido. En general estos dispositivos dan mejores resultados con petróleos de viscosidad media, entre 100 y 200 centistokes, aunque los skimmers con discos dentados, o cintas formadas de eslabones de cadena han sido diseñados específicamente para la recogida de petróleos de alta viscosidad. Estos petróleos, tales como bunkers pesados, son extremadamente “pegajosos”, y pueden dar problemas a la hora de separarlos de las superficies de adhesión que se emplean para su recuperación, mientras que las emulsiones de este tipo de petróleos pueden ser difíciles de recuperar por este procedimiento ya que apenas se adhieren al dispositivo de recogida.

Respecto a los petróleos de baja viscosidad tales como el queroseno, aunque pueden ser recuperados, no se adhieren a las

superficies oleofílicas en capas suficientemente gruesas como para obtener un alto grado de recogida.

Los skimmers están diseñados de forma que el elemento de recogida de petróleo está situado en la zona interfase de petróleo y agua. Esto se consigue usualmente por un sistema de autonivelación. El oleaje normalmente no afecta al funcionamiento, aunque si las olas rompen no hay ningún sistema efectivo. Las unidades pequeñas cabecean fácilmente, mientras que las de mayor tamaño tienen una gran inercia y no pueden seguir el perfil de la ola. Asimismo el funcionamiento de los skimmers es afectado negativamente por las corrientes. Esta limitación es en parte eliminada en algunos skimmers autopropulsados, en los que una cinta se hace girar de forma que su velocidad relativa respecto al petróleo en flotación es reducida.

Otros diseños de skimmers autopropulsados pueden ser efectivos en las aguas tranquilas de los puertos. Debido a que son comparativamente caros suelen tener alguna función secundaria tal como la recogida de escombros oleosos. Estos dispositivos son frecuentemente parte integrante de terminales y refinerías en los cuales el riesgo de contaminación es elevado.

Los skimmers requieren suministro energético para el elemento de recuperación o para transferir el petróleo recogido a un tanque de almacenamiento. Algunos sistemas están diseñados con un dispositivo de suministro energético incorporado. La energía aportada por un motor diesel puede emplearse directamente o bien después de haberla transformado en sistemas neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

Todos estos sistemas, excepto aquellos que funcionan con derivados del petróleo, pueden construirse para ajustarse a las regulaciones de seguridad impuestas en refinerías y otras áreas restringidas donde suponen un riesgo debido al peligro de incendio y/o explosión. Cuando se emplean en atmósferas potencialmente peligrosas, deberían llevarse a cabo

comprobaciones regularmente mediante explosímetros, para asegurarse de que están operando en condiciones de seguridad, ya que las fuentes de chispas nunca pueden eliminarse completamente.

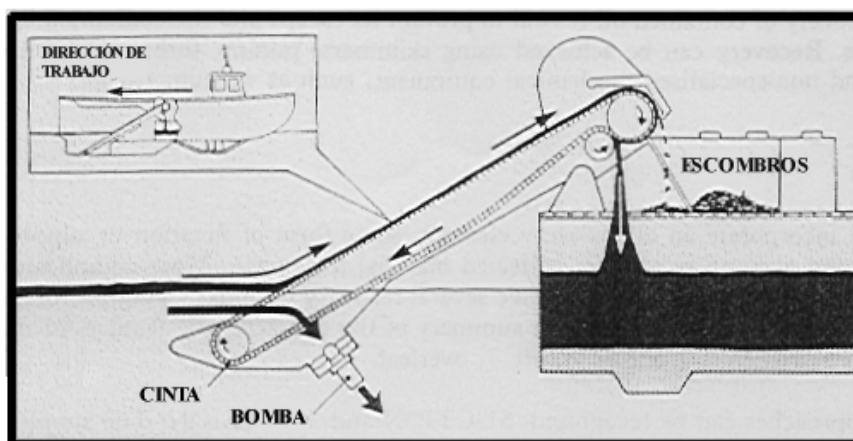
La experiencia ha demostrado que el rendimiento de los skimmers es bajo a menos que se puedan emplear en condiciones de mar en calma y con capas de petróleo relativamente gruesas. Sin embargo en estas situaciones, un simple dispositivo de succión, tal como un camión de vacío, puede conseguir un ritmo de recogida comparable o incluso mejor.

A la hora de seleccionar un skimmer hay que considerar muchos factores. El uso al que se destinará, y las condiciones operacionales previstas deberían tenerse en cuenta por encima de otros criterios tales como el tamaño, la resistencia y facilidad de operación, manejo y mantenimiento también se deben tener en cuenta. Las consideraciones más importantes son la viscosidad y propiedades adhesivas del petróleo, incluyendo cualquier cambio en dichas propiedades que se vaya a producir con el tiempo. En situaciones en las que es posible predecir el tipo de petróleo, como sucede en terminales y refinerías donde se conocen los distintos tipos de petróleo que se manejan, se puede determinar con antelación el tipo óptimo de skimmer.

4.9.2.1.1. PRINCIPALES TIPOS DE SKIMMERS

a) **Skimmers de cinta:** Una cinta giratoria recoge el petróleo de la superficie del agua por adhesión. Dicha cinta puede ser ascendente o descendente, en el primer caso lleva el petróleo hasta su parte superior donde es raspado o escurrido a un tanque de almacenamiento (figura 11). En el segundo caso la cinta sumerge el petróleo adherido, el cual debido a su flotabilidad sale a flote detrás de la cinta dentro del skimmer.

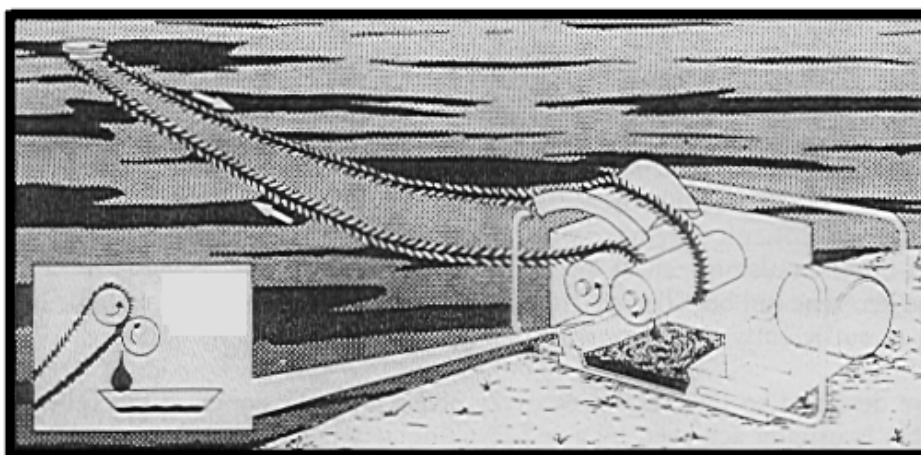
Figura 11



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

b) Skimmers de cuerdas oleofílicas: Una cuerda central tiene entretejidas hebras de material oleofílico, formando una “mopa” larga y continua. El cabo es movido por dos rodillos en torno a una polea de retorno situada en el agua, de forma que la cuerda atraviese la mancha. Los rodillos al mismo tiempo que mueven la cuerda la escurren en un tanque de almacenamiento, (figura 12).

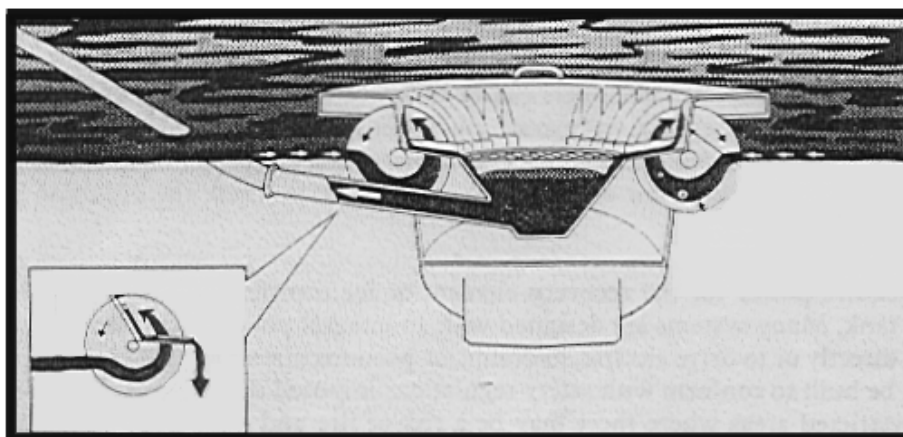
Figura 12



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

c) Skimmers de disco: Tiene varios discos que giran pasando a través de la interfase de petróleo y agua. El petróleo se adhiere a la superficie del disco, es separado del mismo por un raspador cayendo a un colector central, del cual es bombeado a un tanque de almacenamiento, (figura 13).

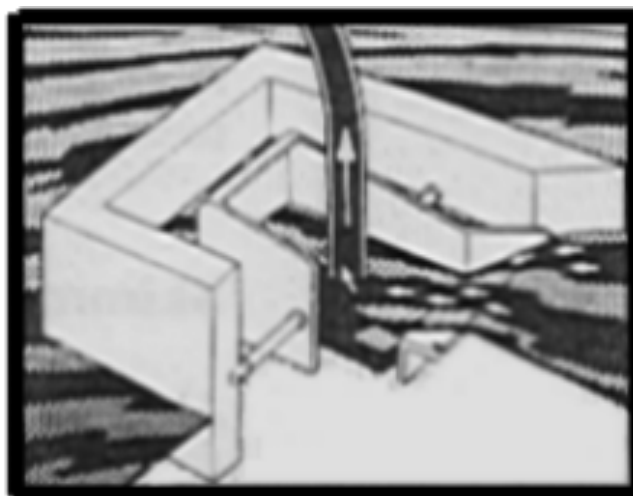
Figura 13



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

d) Skimmers de presa: El petróleo fluye sobre una presa autonivelada hacia el interior del skimmer y es bombeada al tanque de almacenaje, (figura 14).

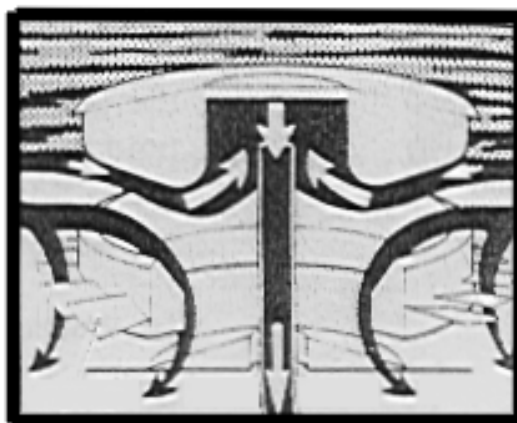
Figura 14



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

e) Skimmers de remolino: Un remolino generado por una turbina concentra el petróleo en el vórtice del mismo debido a efectos centrífugos. El petróleo es bombeado desde la parte superior y el agua se expulsa por el fondo, (figura 15).

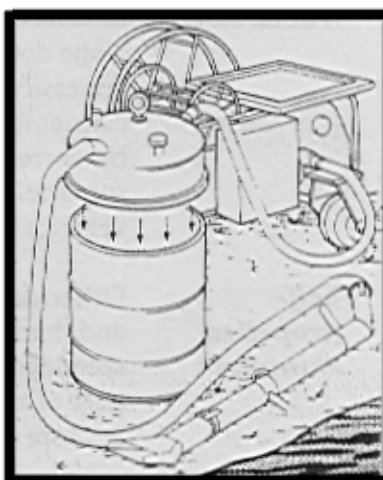
Figura 15



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

f) **Skimmers de succión de aire:** un sistema de vacío se conecta a una manguera que se coloca en la parte superior del skimmer. El bombeo de los petróleos más viscosos es posible incrementando el contenido de agua, (figura 16).

Figura 16



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

En la tabla 9 se indican los límites operacionales característicos de cada tipo de skimmer.

Tabla 9

SKIMMER	ESTADO DE LA MAR (ESCALA DE DOUGLAS)	NOTAS
De cinta ascendente.	1	Velocidad máxima 0.5 nudos. Los mejores resultados se obtienen con petróleos de baja viscosidad, aunque pueden operar también con los de alta viscosidad.
De cinta descendente.	2	Velocidad máxima 2 nudos. Los mejores resultados se obtienen con petróleos de baja viscosidad.
SKIMMER	ESTADO DE LA MAR (ESCALA DE DOUGLAS)	NOTAS
De cuerdas oleofílicas.	3	Sensible al incremento de viscosidad. Para emplear preferentemente con petróleos de media viscosidad.
De disco.	2	Sensible a las emulsiones, oleaje y residuos sólidos. Para emplear preferentemente con petróleos de media viscosidad
De presa.	1	Sensible a los petróleos de mayor viscosidad, emulsiones, oleaje y restos sólidos. Se obtienen los mejores resultados con petróleos fluidos.
De remolino.	2	Sensible a residuos sólidos. Para emplear preferentemente con petróleos de baja viscosidad.
De succión.	3	Sensible a restos sólidos. Preferentemente se emplea con petróleos ligeros o de viscosidad media, aunque algunos tipos pueden tolerar petróleos de alta viscosidad.

Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

4.9.2.1.2. RENDIMIENTO Y LIMITACIONES

En el proceso de recuperación de petróleo, a menudo es la fase de bombeo la que termina el rendimiento del skimmer, ya que todas las bombas pierden eficiencia al aumentar la viscosidad del petróleo.

Algunas bombas de tornillo de tipos especiales, tienen tolerancia a la alta viscosidad, y pueden incluso operar con petróleos solidificados, pero la resistencia interna de mangueras y líneas puede limitar la viscosidad máxima a la que el skimmer puede operar.

Estos problemas se pueden evitar mezclando pequeñas cantidades de petróleo en grandes volúmenes de agua o aire, que actúan como sistema de transporte. Cuando la viscosidad aumenta debido a la formación de emulsiones de petróleo y agua, se pueden emplear productos químicos que "rompen" la emulsión, siempre y cuando sea posible conseguir una buena mezcla con la emulsión. La calefacción mediante vapor también puede ser útil para reducir el bloqueo de las bombas y mangueras en condiciones de bajas temperaturas.

Las mangueras que llevan el petróleo del skimmer al tanque de almacenamiento deben montarse con medios de flotación apropiados, para evitar que se hundan afectando a la flotabilidad o rendimiento del skimmer. Todas las mangueras pueden resultar difíciles de manejar cuando están manchadas de petróleo. Por lo que los acoplamientos de las mismas deben ser efectivos y a la vez simples. Un juego de adaptadores apropiados puede ser útil para conectar mangueras de distinto diámetro y/o unir acoplamientos incompatibles.

Los residuos sólidos pueden ser un problema para cierto tipo de skimmers, especialmente aquellos que tienen partes en movimiento en contacto con el petróleo, y además pueden bloquear bombas y mangueras, algunos sistemas se montan con filtros para evitarlo, pero los filtros deben ser revisados regularmente para proceder a su limpieza cuando sea necesario para evitar que se bloqueen.

En ocasiones el rendimiento puede estar limitado por la carencia de medios apropiados para el almacenamiento. Los dispositivos que recogen gran cantidad de agua necesitan amplios tanques de almacenamiento temporal, para poder separar el agua del petróleo mediante un proceso de decantación y drenarla antes de transportar el petróleo al lugar de almacenamiento definitivo.

A causa de las restricciones impuestas en la zona de trabajo, rara vez se alcanza el rendimiento de proyecto del skimmer. La experiencia ha

demostrado que el petróleo no puede concentrarse lo suficiente para sostener los rendimientos óptimos obtenidos en condiciones de prueba. Los datos obtenidos en tales condiciones pueden resultar engañosos y solo deben emplearse para propósitos comparativos.

4.9.2.2. ABSORBENTES.

Un absorbente se puede definir como cualquier material que recoge petróleo por absorción o adsorción. Básicamente hay tres clases de absorbentes:

- a) Materiales naturales orgánicos, tales como paja, plumas, heno, cáscaras de coco o residuos de caña de azúcar.
- b) Minerales, tales como la vermiculita, perlita o cenizas volcánicas.
- c) Absorbentes sintéticos, tales como espuma de poliuretano o fibras de propileno.

En lo que se refiere a la capacidad de absorción, podemos decir que los absorbentes sintéticos usualmente tienen la mayor capacidad de retención de petróleo en relación con su volumen, y se pueden obtener en variedad de formas, tales como fibras, trapos, esponjas etc.

Algunos absorbentes, especialmente los naturales, pueden ser tratados con agentes oleofílicos, o mediante calentamiento controlado, lo cual aumenta la capacidad del material para absorber petróleo en lugar de agua. Esto incrementa el rendimiento del absorbente y previene contra el hundimiento del absorbente por absorción de agua.

En general el uso de absorbentes solamente es apropiado durante las etapas finales de una operación de limpieza, o para ayudar a eliminar finas películas de petróleo de lugares inaccesibles. Normalmente se utiliza a mano, o en el caso de empleo a gran escala de material no reutilizable, con un ventilador. En áreas sensibles, tales como zonas pantanosas, los

absorbentes naturales pueden ser, en algunos casos, útiles para inmovilizar el petróleo y así disminuir la cantidad del mismo que puede contaminar la vegetación y las aves. En tales situaciones, lo más apropiado puede ser dejar que el petróleo absorbido se degrade de forma natural, a menos que sea probable que se desplace y contamine otras áreas. Sin embargo es normalmente es necesario recoger todo el material absorbente empleado, pues de lo contrario se empeorarían los problemas que ocasionaría el petróleo por sí solo. Frecuentemente la única forma de recuperar los absorbentes es a mano, ya que la mayoría de los skimmers se obstruyen con los absorbentes. La excepción son algunos skimmers de cinta y las redes.

4.9.2.3. AGENTES SOLIDIFICANTES.

Aunque no son una técnica de recuperación propiamente dicha, se han empleado agentes químicos para convertir el petróleo líquido en una capa sólida, facilitando así la recogida por medios manuales. Aunque dichos productos han demostrado ser efectivos en el laboratorio, la dificultad para que conseguir que se mezcle de forma adecuada con el petróleo y su alto coste son impedimentos para su uso, excepto en el caso de pequeñas manchas den zonas restringidas.

4.9.2.4. RECUPERACION MANUAL.

En aquellos lugares a los que es difícil acceder, el petróleo tiene que ser recogido utilizando cubos, palas y otro equipamiento simple. La recuperación manual de grandes cantidades de petróleo de alta viscosidad y/o petróleo mezclado con escombros que no es posible recoger con skimmers, puede facilitarse mediante el empleo de equipamiento mecánico no especializado.

4.10. OPERACIONES EN LA MAR.

Muy raras veces es posible utilizar un skimmer de forma efectiva sin la ayuda de una barrera para limitar la extensión de la mancha sobre la superficie del mar, a la vez que se concentra y retiene para su recuperación.

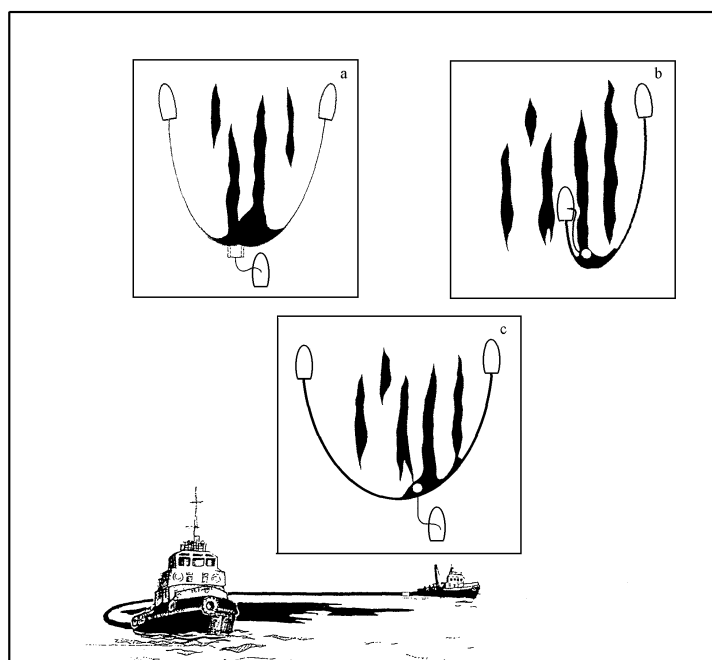
Por lo tanto la forma en que se empleen las barreras determinará en gran medida la operación práctica del skimmer.

4.10.1. OPERACIONES EMPLEANDO VARIOS BUQUES.

Para intentar evitar que la mancha se extienda y maximizar la cantidad de petróleo que es retenida, se pueden remolcar barreras de 300 metros de longitud o incluso mayores en forma de U, V o J mediante el empleo de dos buques. El skimmer es remolcado junto con la barrera o separadamente empleando un tercer buque situado detrás de la barrera (figura 17). El skimmer debe mantenerse donde la capa de petróleo es más gruesa, teniendo especial cuidado de no dañar la barrera. La reflexión de las olas producida en los skimmers de mayor tamaño puede interferir el flujo de petróleo al elemento de recogida, lo cual hace necesario un hábil manejo del equipo con continuos ajustes a medida que cambian las condiciones.

Un diseño efectivo de barrera para estos propósitos incorpora miembros de tensión separados de la barrera, unidos a la misma por un conjunto de cabos de menor diámetro, tal como se muestra en la figura 18. Este sistema ayuda a la barrera a mantenerse en posición vertical mientras es remolcada y al mismo tiempo permite que se adapte al movimiento de las olas. En contraste, las barreras firmes en su punto medio o en la línea de flotación tienen tendencia a resbalar sobre la superficie del agua.

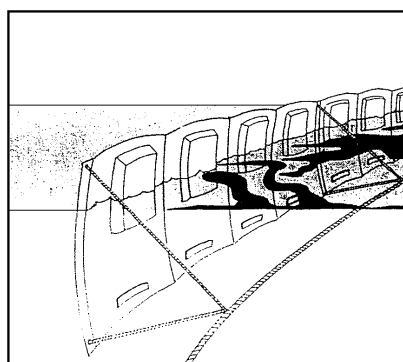
Figura 17



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

- a) Configuración en U remolcada por 2 buques. El dispositivo de recogida es remolcado con la barrera y el petróleo recogido transferido a un tercer buque.
- b) Configuración en J remolcada por 2 buques, uno de los cuales remolca también el skimmer.
- c) Configuración en U remolcada por 2 buques. El skimmer es remolcado por un tercer buque.

Figura 18 - Barrera de valla con cabo de tensión separado.



Fuente: (ENVIROMENTAL, Spilldam)

Cuando se emplea una barrera en configuración de “U”, debe emplearse un número impar de secciones, para evitar que haya una unión en el centro por la cual el petróleo escaparía fácilmente.

Para evitar esfuerzos bruscos sobre la barrera remolcada, los cabos entre la misma y el buque que la remolca deben tener la suficiente longitud, 50 ó más metros serían apropiados para remolcar una barrera de 300 metros de longitud.

El rendimiento de las barreras puede evaluarse en el vértice de la “U” o de la “V” a ojo. El petróleo que se escapa bajo la barrera aparecerá como glóbulos o gotas entre 2 y 10 metros detrás de la misma. La aparición de remolinos detrás de la barrera es también una indicación de que está siendo remolcada a excesiva velocidad. El brillo del agua tras la barrera indica por el contrario que está funcionando correctamente. Se necesitan buques especializados para mantener la configuración de la barrera y remolcarla a la baja velocidad requerida, que debe ser menor que la velocidad de escape del petróleo.

Cada uno de los dos buque que remolca la barrera necesitará, no solamente la mitad de la potencia necesaria para remolcar la misma a la máxima velocidad de acuerdo con la velocidad de escape del crudo, sino también máxima maniobrabilidad a baja velocidad.

Como guía se puede considerar que cada C.V. (de máquina intraborda) proporciona un tiro de una 20 Kgf. Remolcadores de dos hélices, las hélices de paso variable, hélices de proa o popa son apreciables. El punto ideal de remolque a bordo del buque debe ser determinado experimentalmente y puede que sea necesario cambiarlo de acuerdo a la dirección y velocidad del viento.

Por ejemplo un buque de una sola hélice con el cabo de remolque fijo a popa tendrá una maniobrabilidad muy baja, es preferible que el punto de remolque se sitúe próximo a la vertical del centro de giro del buque.

Los buques encargados del remolque de los skimmers también necesitan buena maniobrabilidad. Es necesario equipo de arriado para la puesta a flote y recuperación de los skimmers de forma rápida y segura. La concentración de petróleo conseguida con barreras puede ser baja, y un solo skimmer puede ser suficiente para recoger el petróleo de varias barreras.

El petróleo recuperado tiene que ser almacenado, por lo tanto, si el buque empleado para el remolque del skimmer no tiene capacidad suficiente es necesario un buque adicional o un contenedor flotante flexible. La eliminación de petróleos de alta viscosidad y las emulsiones de los depósitos temporales puede crear dificultades que deberían tenerse en cuenta cuando se selecciona el lugar de almacenamiento temporal.

4.10.2. OPERACIONES CON UN SOLO BUQUE.

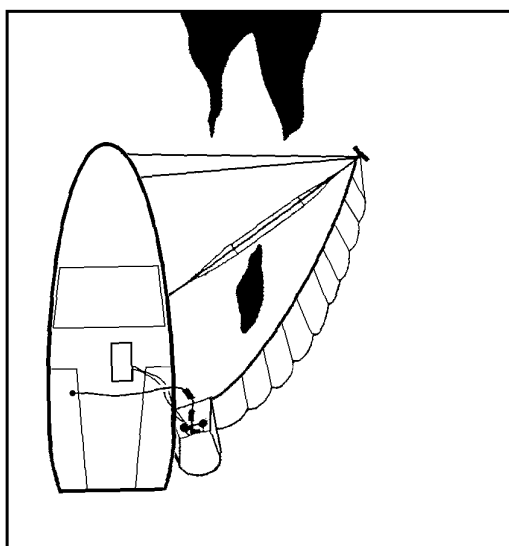
Coordinar las operaciones de varios buques remolcando barreras es muy difícil, y en la práctica solamente en raras ocasiones se ha conseguido un éxito significativo. Una alternativa es combinar la concentración del petróleo, recogida y almacenamiento en un sistema que emplee un solo buque.

Estos sistemas consisten en una corta sección de barrera flexible, un brazo móvil rígido, una bomba de gran capacidad o un skimmer para recoger el petróleo, y tanque/s de almacenamiento. El sistema se monta de forma que el brazo mantiene el extremo delantero de la barrera separado del buque, el otro extremo de la barrera está unido al buque próximo a la popa, en este punto se coloca el skimmer o la aspiración de la bomba, que recoge el petróleo que se acumula entre la barrera y el costado del buque, (figura 19).

Los sistemas de un solo buque operan relativamente bien hasta mar de fuerza 3 de la escala de Douglas, y algunos pueden recuperar petróleos de alta viscosidad, aunque con cantidades de agua sustanciales.

Aunque los sistemas de un solo buque son más manejables que los más complejos de varios buques, tienen la desventaja de que la anchura de “barrido” es menor, siendo aproximadamente igual a la manga del buque. Esta desventaja es menos significativa cuando el derrame tiene la forma de ventanas estrechas.

Figura 19 – Sistema de recuperación de petróleo empleando un solo buque con una barrera mantenida en posición por un brazo y vientos. Un hueco en la barrera contiene el skimmer, que esta situada en la cubierta del buque. EL petróleo recuperado se almacena en el mismo buque.

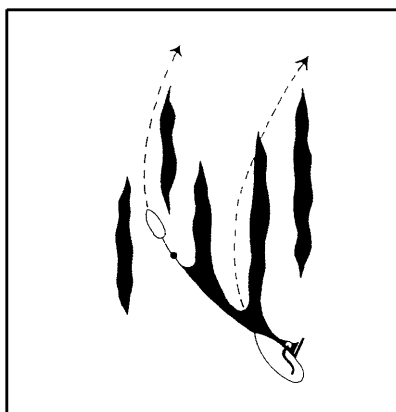


Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

Dos simples mejoras pueden incrementar la eficiencia de un sistema de un solo buque. Un sistema consiste en situar una barrera relativamente corta a partir de la proa del buque con el sistema de brazo rígido y barrera, un extremo va unido a dicho buque, el otro es remolcado por otra embarcación menor, (figura 20), los dos buques mantienen la formación con la intención de aumentar el área barrida y por lo tanto desviar más petróleo hacia el punto de recogida. El segundo método requiere dos buques remolcando una barrera de gran longitud a una velocidad de 1 ó 2 nudos, el

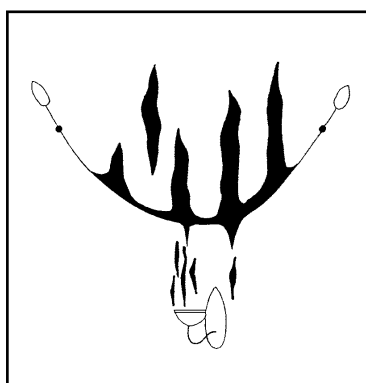
petróleo que escapa tras la barrera en forma de manchas alargadas y estrechas es recogido por el sistema de un solo buque, (figura 21).

Figura 20 – Sistema con un solo buque extendido con un buque adicional remolcando una barrera para aumentar el área barrida.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

Figura 21 – Configuración en “U” remolcada por dos buques a 1 o 2 nudos. El petróleo que escapa detrás de la barrera es interceptado por un sistema de un solo buque.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

Como vemos ambos sistemas requieren buques y equipamiento adicional, y por ello es probable que introduzcan problemas de coordinación.

4.10.3. CONTROL DE LAS OPERACIONES.

Una dificultad común en las operaciones de recuperación de petróleo en la mar es controlar el movimiento y actividad de los buques y asegurarse de que están operando en las áreas donde la mancha tiene el mayor espesor.

Esto se puede solucionar empleando un avión equipado con un sistema de comunicaciones apropiado que le permita mantenerse en contacto con los buques. Los helicópteros tienen la ventaja de su capacidad para quedarse parados en el aire y pueden operar desde un lugar muy próximo a la zona afectada.

4.11. OPERACIONES EN LA COSTA.

Las decisiones acertadas de limpieza de hidrocarburos dependen de la información precisa sobre los tipos de hábitat afectados, el grado de contaminación, la localización y el probable comportamiento de las sustancia contaminante.

Las principales técnicas de lucha contra la contaminación en tierra son:

- Recuperación/limpieza natural
- Limpieza manual/eliminación manual del contaminante
- Barreras flotantes
- Barreras
- Recogida mecánica del contaminante
- Absorbentes
- Aspiración
- Cribado de sedimentos con maquina
- Arrastre de los sedimentos
- Talas y cortas de vegetación
- Inundado (inundación con agua para lavado de zonas afectadas por arrastre de material contaminado)
- Lavado con agua a temperatura ambiente/caliente a alta/ baja presión
- Limpieza con vapor a presión
- Limpieza con chorro de arena
- Sustancias (agentes) de limpieza litoral
- Bioestimulación

- Quema (incineración) in-situ

Al escoger las técnicas a aplicar, incluyendo la recuperación natural, deben considerarse sus aspectos negativos potenciales sobre el entorno y el marco temporal de su aplicación. Los beneficios e impactos de los métodos de limpieza dependen de las condiciones específicas de cada incidente y afectan a la idoneidad del uso de esas técnicas en un hábitat determinado durante un incidente de contaminación. Por ejemplo, combinar varios métodos simultáneamente a lo largo de un incidente puede generar una respuesta mas efectiva con menores impactos ambientales. (MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE)

4.11.1. CONTENCION DEL PETROLEO EN LA FUENTE.

Excepcionalmente puede resultar práctico contener el petróleo derramado en barreras situadas próximas a la fuente de la contaminación, (por ejemplo un tanque o un pozo de petróleo con pérdidas). En algunos puertos se sitúan barreras de forma rutinaria durante las operaciones de carga y descarga, aunque usualmente es difícil mantener las barreras en la configuración deseada. Frecuentemente la zona en la que se debe colocar la barrera está demasiado expuesta o las corrientes son excesivamente fuertes para que tales sistemas resulten efectivos. Además la colocación de las barreras muy próximas a la fuente puede crear un peligro de incendio e interferir en los intentos para detener el flujo de petróleo.

En aquellos casos en los que el petróleo se disipa de forma natural, el uso de barreras es, en algunos casos, inapropiado, y puede fomentar la formación de emulsiones.

4.11.2. PROTECCION DE AREAS SENSIBLES.

Muy frecuentemente las barreras son empleadas próximas a tierra, para proteger áreas sensibles, tales como estuarios, zonas pantanosas, áreas de recreo etc. En la práctica no es posible proteger todas las áreas

sensibles, por lo que se debe realizar una planificación cuidadosa, encaminada primero a identificar que lugares pueden ser protegidos por barreras de forma efectiva, y en segundo lugar establecer un orden de prioridad.

Una ventaja más de estos planes es que se puede seleccionar la barrera más apropiada, la forma de amarre y de recuperación del petróleo. Los planes son particularmente relevantes para terminales y estaciones similares, donde la fuente del petróleo y la cantidad probable que será vertida se puede conocer de antemano aunque solo sea de forma aproximada.

Una inspección aérea puede ser útil para identificar aquellos lugares en los cuales se puede situar la barrera.

Frecuentemente es mejor utilizar las barreras para desviar el petróleo a aguas relativamente tranquilas donde pueda ser recuperado que intentar contenerlo.

En la tabla 10 se indica el máximo ángulo de incidencia de la corriente sobre la barrera para evitar el escape de petróleo, para distintas intensidades de la corriente. Como podemos ver se puede desviar el petróleo incluso con una corriente de 3 nudos, en estas condiciones no sería posible contener el petróleo con una barrera perpendicular al flujo de la corriente.

Tabla 10: *Máximo ángulo de incidencia de la corriente sobre la barrera a diferentes intensidades de la corriente para que la barrera pueda contener el petróleo de forma efectiva. (Cálculos basados en una velocidad de escape de 0.7 nudos)*

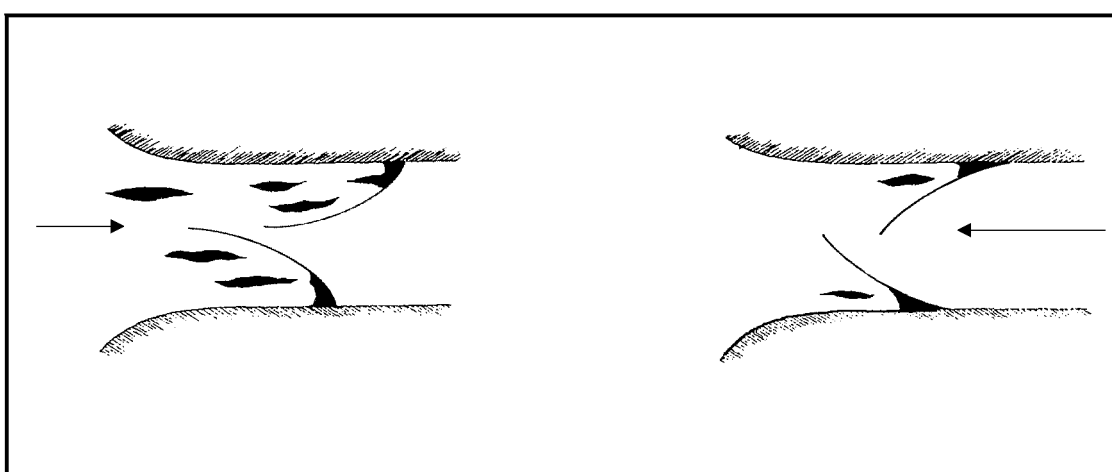
INTENSIDAD DE LA CORRIENTE (NUDOS)	MÁXIMO ÁNGULO DE INCIDENCIA
0.7	90
1.0	45
1.5	28

2.0	20
2.5	16
3.0	13

Fuente: (ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL , 2011)

Por lo tanto un río puede ser protegido colocando una barrera en dirección oblicua a la corriente, o bien, dos barreras, una en cada orilla, en el caso de que se quiera dejar un canal navegable, (figura 22).

Figura 22



Fuente: (THE INTERNATIONAL TANKER OWNER POLLUTION FEDERATION, 2012)

4.11.3. DESVIACION DEL PETROLEO.

Una forma de proteger áreas sensibles donde las fuertes corrientes impedirían la contención y recogida del petróleo, es emplear barreras para desviarlo, sin embargo esta es casi invariablemente una solución temporal, y es necesario estudiar con cuidado la zona a la que se desviará el petróleo, con el objeto de no dirigirlo hacia una zona donde cause mayores problemas.

4.11.4. AMARRE DE LAS BARRERAS.

El correcto amarre de las barreras es fundamental, ya que el rendimiento de las mismas depende de que el ángulo que forma con la dirección de la corriente sea apropiado a la intensidad de la misma. Para

mantener este ángulo y evitar la formación de bolsas, son necesarios varios puntos de amarre. El tendido de múltiples amarras es un trabajo que requiere experiencia, y frecuentemente poco práctico en una emergencia. La fórmula dada anteriormente, (referente al cálculo de F_w y F_c), se puede emplear junto con las tablas 10 y 11, como guía para determinar el número de amarras necesarias para fijar la barrera en una zona de corriente de intensidad conocida para la máxima velocidad del viento que se espera.

Tabla 11 - Máxima tensión de agarre de anclas tipo Danforth en fango de fango, arena o grava y arcilla

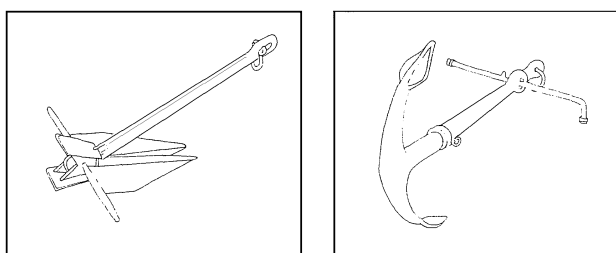
PESO DEL ANCLA (KG)	FANGO	ARENA O GRAVA	ARCILLA
15	200	250	300
25	350	400	500
35	600	700	700

Fuente: (ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, 2012)

Las anclas de tipo Danforth son efectivas en fondos de fango o arena, mientras que las de tipo Almirantazgo son mejores en fondos rocosos, (figuras 23 y 24 respectivamente).

Si hay tiempo, se pueden situar bloques de hormigón para dar puntos de amarre seguros, pero el peso de los mismos en el aire debe ser al menos 3 veces la carga máxima que se espera que tienen que soportar, para compensar la reducción del peso al sumergirlos. Así mismo será necesario una embarcación con equipo apropiado para manejar las amarras más pesadas. En áreas de alto riesgo, tales como las proximidades de los terminales, se pueden situar puntos de amarre permanentes en lugares estratégicos.

Figura 23 – Ancla Danforth. **Figura 24** – Ancla del Almirantazgo.

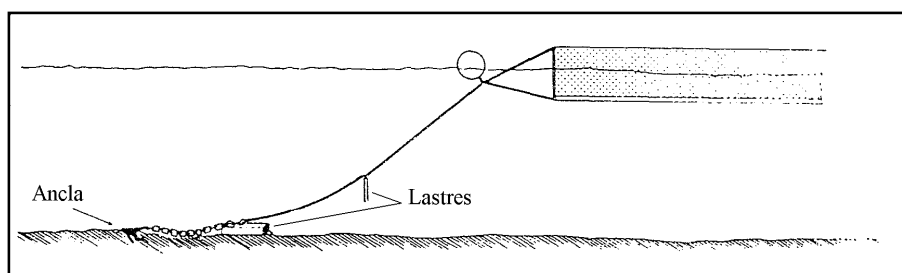


Fuente: (NATUREDUCA)

Barreras de longitud apropiada pueden ser almacenadas a cubierto, en carretes o de cualquier otra forma que facilite su rápido transporte y colocación.

Cualquiera que sea el tipo de amarre que se necesite, es importante seleccionar la longitud de las amarras para ajustarla a la profundidad a la que se estima que se va a situar la barrera, oleaje y amplitud de la marea. Si las amarras son demasiado cortas la barrera no flotará de forma apropiada, y la tensión cíclica producida por las olas sobre las amarras puede hacer garrear el ancla. Por el contrario, si las amarras son demasiado largas será difícil controlar la configuración de las mismas. Un tramo de cadena u otro peso situado entre el ancla y el cabo de amarre de la barrera mejora el agarre del ancla, y el uso de una boya situada entre el ancla y la barrera ayudará a evitar que la barrera se sumerja en los puntos de amarre, y puede absorber hasta cierto punto las cargas cíclicas. De la misma forma un peso colgado entre el ancla y la barrera evita que la amarra flote cuando queda en banda, (figura 25).

Figura 25 - Típico sistema de amarre.



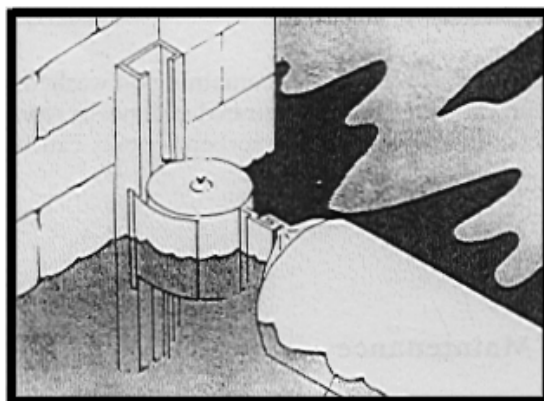
Fuente: (ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, 1995)

Cuando se tiende una barrera desde tierra frecuentemente es posible amarrarla a puntos fijos en tierra. En playas arenosas, un objeto enterrado, tal como un tronco por ejemplo, puede proporcionar un excelente punto de amarre.

En zonas con mareas sensibles donde las barreras están permanentemente instaladas, o es probable que haya que colocarlas, con

frecuencia se necesita algún tipo de amarre “deslizante”, que permita que la barrera suba y baje con la marea, de forma que pueda funcionar correctamente en todo momento, (figura 26).

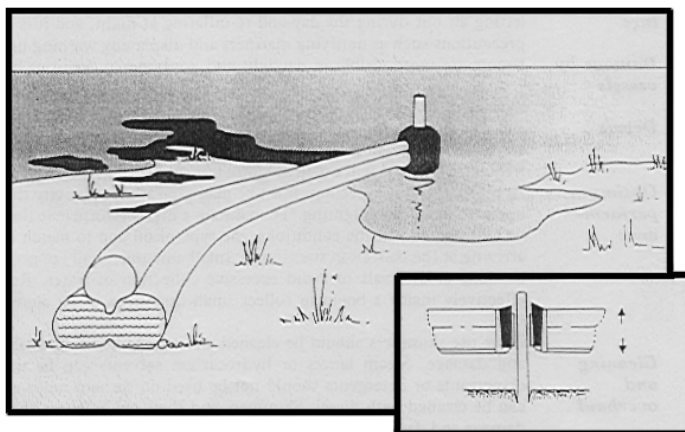
Figura 26 – Conexión de barrera consistente en un cilindro flotante con una zapata que se desliza dentro de una corredera vertical fija a un muelle.



Fuente: (TECHNOLOGY, Markleen: Oil spill)

El uso de barreras en fondos de fango o arena donde la misma puede quedar varada durante la marea baja, plantea problemas particulares que requieren del empleo de barreras específicamente diseñadas para estos fines, (figura 27).

Figura 27 - Barrera con dos tubos de agua que sirven de lastre, colocados debajo de un tubo de flotación lleno de aire. Una cámara de aire con un hueco central encaja en un pilote enterrado en el fango y proporciona un punto de fijación y a mismo tiempo permite el libre movimiento de ascenso y descenso de la barrera con la marea.



Fuente: (TECHNOLOGY, Markleen: Oil spill)

4.11.5. OTROS USOS DE LAS BARRERAS.

Al igual que otros materiales flotantes el petróleo se acumula en ciertos lugares a lo largo de la costa bajo la influencia del viento y/o la corriente. Las barreras pueden utilizarse para conseguir una mayor concentración del petróleo y evitar su desplazamiento en caso de que las condiciones cambien. Esto no solo minimiza el alcance de la contaminación, sino que además permite la eliminación controlada del petróleo atrapado.

Si es probable que haya escombros junto con el petróleo en los lugares en que se acumula, esto debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar un skimmer, ya que habrá que emplear aquel que pueda operar en presencia de estos. Puede ser necesario trabajar desde embarcaciones de poco calado, pero normalmente es más fácil emplear skimmers desde tierra, sobre todo si hay acceso por carretera.

También se pueden emplear las barreras para ayudar en labores de limpieza de costa, como sistema de contención temporal del petróleo que se consigue quitar de las playas y rocas.

Por último diremos que en algunas circunstancias se pueden usar barreras absorbentes no reutilizables para recoger delgadas películas de petróleo.

4.11.6. INSPECCION Y MANTENIMIENTO.

La configuración de una barrera cambia debido a los efectos de vientos, corrientes y mareas, por lo que es necesario efectuar frecuentes inspecciones y reajustes.

El petróleo y los escombros retenidos por la barrera deben ser retirados rápidamente, ya que reducen sustancialmente el rendimiento de la barrera. Cuando la temperatura del aire el sufre cambios importantes entre el

día y la noche, es importante tener en cuenta la dilatación y contracción del aire de las barreras inflables. Puede ser necesario soltar parte del aire durante el día y volver a inflar la barrera por la noche.

Es importante tomar precauciones para evitar que la barrera sea dañada por buques, dichas medidas pueden consistir en dar avisos a los navegantes sobre la posición de la barrera y colocar luces de advertencia. Las barreras pintadas con colores brillantes son más visibles durante el día y durante la noche están mejor señalizadas por luces.

Los skimmers también requieren supervisión, con el objeto de asegurarse de que el petróleo alcanza el elemento de recuperación y que los escombros recogidos no se están acumulando en una cantidad tal que reduzca la eficiencia del dispositivo o cause daños al mismo. Algunos skimmers tienen filtros para los restos sólidos, que pueden bloquearse por petróleo o escombros con frecuencia. Las reparaciones requerirán normalmente personal capacitado y disponer de piezas de repuesto.

Por la noche se deben hacer inspecciones regulares, y si es necesario se iluminará el equipo con focos para manejarlo. Para mantener un rendimiento elevado la velocidad de recogida debe ajustarse adaptándola a las condiciones y tipo de petróleo, tratando de conseguir que la velocidad de recuperación sea la misma que el petróleo llega al punto de recogida.

Si solo hay pequeñas cantidades de petróleo en el agua, el skimmer debe emplearse a intervalos, cuando el dispositivo atraviesa las manchas, para evitar recoger una cantidad de agua excesiva.

Después de su uso el skimmer deben ser lavado y reparado cualquier daño o desgaste.

Se pueden utilizar para la limpieza del skimmer lanzas de vapor o solventes de hidrocarburos, detergentes y dispersantes no deben emplearse para limpiar discos plásticos o elementos que recogen el petróleo por

adhesión, (mopas absorbentes o cuerdas oleofílicas por ejemplo), estos deben lavarse con gasoil.

Las mopas absorbentes, las cintas de caucho y los materiales plásticos incorporados en los skimmers se deterioran si se exponen a la luz solar durante largos períodos. Es muy importante realizar inspecciones regulares y tests de los equipos, particularmente si su uso puede ser infrecuente.

La recuperación, mantenimiento y almacenamiento apropiado de las barreras, protegiéndolas de la luz del sol, son fundamentales para prolongar su vida útil y garantizar que están siempre listas para su uso inmediato. Las barreras normalmente también necesitan ser lavadas, suelen emplearse para ello dispersantes y vapor, si se emplean productos químicos es importante asegurarse antes de que el tejido de la barrera no será dañado por los mismos.

Durante las operaciones se deberán tener siempre a mano kits de reparación de emergencia para reparar pequeños daños que de otra forma podrían inutilizar una sección o incluso una barrera entera.

4.12. EMPLEO DE DISPERSANTES.

La acción de las olas sobre las manchas de petróleo puede facilitar la dispersión natural del mismo en pequeñas gotas. Puesto que dichas gotas se mezclan en la columna de agua, la concentración del petróleo se reduce y además se facilitan la eventual degradación del mismo por microorganismos.

Para acelerar este proceso, a veces es conveniente el empleo de dispersantes químicos, especialmente cuando la contención y recuperación es poco factible. Por otra parte la eliminación del petróleo de la superficie del mar previene la formación de emulsiones persistentes y residuos que pueden constituir una amenaza para la costa y las aves marinas.

En este capítulo se expone la forma en que los dispersantes actúan, las distintas clases disponibles, los métodos de aplicación y las consideraciones medioambientales que conlleva el uso de los mismos.

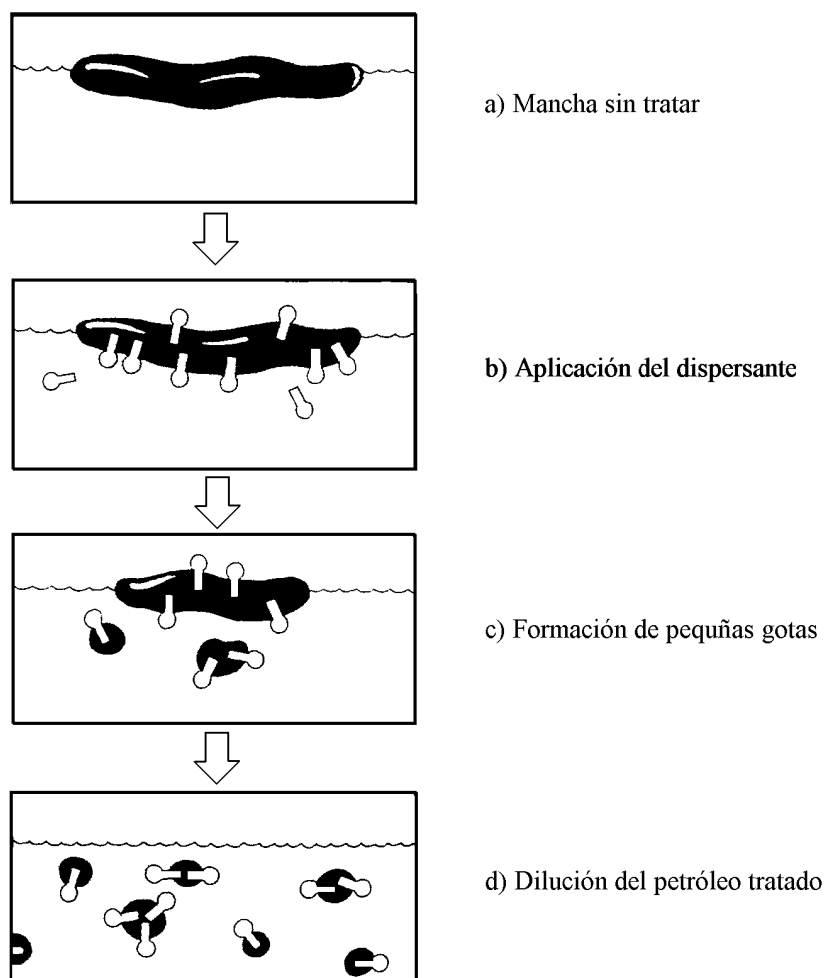
4.12.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPERSANTES.

El principal propósito de los dispersantes marinos es disgregar una mancha de hidrocarburo en numerosas gotas pequeñas que puedan diluirse rápidamente en la columna de agua y degradarse posteriormente por el efecto natural de microorganismos. Si se utilizan correctamente, los dispersantes pueden representar una respuesta eficaz a un derrame de hidrocarburos y pueden minimizar o evitar daños en recursos sensibles importantes.

Como ocurre en otras técnicas de respuesta, deb considerarse cuidadosamente su uso para tener en cuenta las características del hidrocarburo, condiciones meteorológicas y marinas, sensibilidades ecológicas y normativas nacionales sobre su uso. (ITOPF)

4.12.1.1. PRINCIPIO DE LA DISPERSION QUIMICA.

El componente fundamental de un dispersante es un agente surfactante, que tiene una estructura molecular tal que una parte de la molécula tiene afinidad por el petróleo (oleófila) y la otra por el agua (hidrófila). Cuando se aplica y mezcla con el petróleo el surfactante actúa en la zona interfase petróleo – agua, de forma que la tensión interfase entre ambos elementos se reduce. Esto promueve la formación de pequeñas gotas dispersas, con un área de la superficie combinada mucho mayor que la inicial, (figura 28).

Figura 28 - Mecanismo de dispersión.

Fuente: (ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, 1998)

Cuanto más pequeñas son las gotas de petróleo mayores posibilidades tienen de permanecer suspendidas en la columna de agua, a causa de su lentísima velocidad de ascenso. En la práctica, la mayor parte de los petróleos crudos, si las gotas producidas tienen un diámetro medio de 0.2 mm o menos, es muy poco probable que vuelvan a la superficie, excepto en condiciones de calma. Sin embargo, en el caso de productos refinados ligeros con baja densidad relativa, tales como el gasoil, son necesarias gotas mucho más pequeñas para compensar su mayor flotabilidad.

Si un petróleo de color negro es dispersado satisfactoriamente, una característica "nube" de color café extendiéndose lentamente hacia abajo se puede ver unos minutos después del tratamiento bajo la superficie del mar.

Al mismo tiempo que promueven la formación de gotas, los dispersantes llevan a cabo una segunda función, previniendo que las gotas vuelvan a unirse. Esto es debido a que el agente surfactante permanece en la zona de interfase petróleo – agua en cantidad y tiempo suficiente para actuar como una barrera entre las gotas.

Gran cantidad de pruebas de laboratorio y de campo sobre la efectividad de distintos tipos de dispersantes sobre diferentes clases de petróleo han demostrado que para que un dispersante pueda actuar debe ser distribuido en el interior del petróleo. Por este motivo la mayor parte de los dispersantes tienen un solvente o combinación de solventes apropiados que penetra en el petróleo y actúa como transporte para el agente surfactante.

4.12.1.2. EFECTIVIDAD DE LOS DISPERSANTES.

Si el petróleo muy viscoso los dispersantes son ineficaces, ya que tienden a resbalar sobre la superficie del mismo y caer al agua antes de que el solvente pueda penetrar a través del petróleo. Como norma general, los dispersantes actúan eficazmente sobre la mayor parte de los petróleos y emulsiones líquidas con viscosidades menores a 2000 centistokes, esto equivale a la viscosidad de un fuel oil de tipo medio a una temperatura de 10 a 20 °C. Si la viscosidad es superior, los dispersantes aplicados en la mar resultan menos efectivos y cuando la viscosidad alcanza la región de 5000 a 10000 centistokes son inefectivos. Así mismo no son apropiados para emulsiones de alta viscosidad, (mousse), o petróleos que tengan una temperatura de solidificación próxima a la temperatura ambiente.

El fuel oil pesado rara vez es dispersable. Por otra parte hay que decir que un petróleo puede volverse resistente a los dispersantes debido al

incremento de viscosidad que se produce a causa de los procesos de degradación natural, principalmente la evaporación y la emulsificación. El tiempo necesario para que esto suceda depende de varios factores, como el estado de la mar y la temperatura ambiente, pero en la mayor parte de los casos es poco probable que sea superior a 1 ó 2 días. Por lo tanto si se decide aplicar dispersantes debe actuarse con rapidez.

En la tabla 12 se da una lista de varios tipos de petróleo crudo y algunas de sus características, aquellos para los cuales el uso de dispersantes no es apropiado están marcados en negrita.

Tabla 12- Tipos de Crudo

PON EN MARGENES

Nombre	País	°API	Viscosidad a 37.8 °C (cst)	Temp. de solidificación (°C)
Amma	Libia	36.1	13	18
Ardjuna	Indonesia, E. stan	37.7	3	27
Bachequero	Venezuela	16.8	275	-23
Bahía	Brasil	35.2	17	38
Bakr	Egipto	20.0	152	7
Bass Strait	Australia	46	2	15
Belayim	Egipto	27.5	18	6
Boscan	Venezuela	10.3	>20000	15
Bu Attifel	Libia	40.6	-	39
Bunjo	Indonesia, E. stan	32.2	3	17.5
Cabinda	Angola	32.9	20	27
Cinta	Indonesia, Sumatra	32.0	-	43
Dun	Sumatra	20.6	100	14
Nombre	País	°API	Viscosidad a 37.8 °C (cSt)	Temp. de solidificación (°C)

	Egipto	32.3	9.5	7
Es Sider	Libia	37.0	5.7	9
Gamba	Gabón	31.8	38	23
Gippsland Mix	Australia	44.4	2	15
Handil	Indonesia, E. Kalimantan	33.0	4.2	29
Heavy Lake Mix	Venezuela	17.4	600	12
Iranian Nowruz	Irán	18.3	270	26
Jatibarang	Indonesia, Java	28.9	-	43
Jobo/Morichal	Venezuela	12.2	32780	-1
Mandji	Gabón	29.0	17	9
Merey	Venezuela	17.2	520	-23
Minas	Indonesia, Sumatra	35.2	-	32
Panuco	México	12.8	4700	2
Pilon	Venezuela	13.8	1900	-4
Qua Iboe	Nigeria	35.8	3.4	10
Quirequire	Venezuela	16.1	160	-29
Ras Lanuf	Libia	36.9	4	7
Río Zulia	Colombia	40.8	4	27
San Joachim	Venezuela	41.5	2	24
Santa Rosa	Venezuela	49.4	2	10
Shengli	China	24.2	-	21
Taching	China	33.0	138	35
Tía Juana Pesada	Venezuela	13.2	>10000	-1
Zaire	Zaire	34.0	20	27
Zeta North	Venezuela	35.0	3	21

Fuente: (THE INTERNATIONAL TANKER OWNER POLLUTION FEDERATION, 2012)

4.12.1.3. TIPOS DE DISPERSANTES.

Los dispersantes utilizados hoy en día se pueden dividir en dos grupos:

a) Dispersantes derivados de hidrocarburos o convencionales, que contienen entre un 15% y un 25% de surfactante. Están diseñados para aplicar directamente sobre el petróleo, y no deben diluirse en agua de mar antes de su aplicación, ya que esto los hace inefectivos. Las dosis típicas son de 1:1 a 1:3 (dispersante:petróleo). Los primeros disolventes de este tipo, conocidos a veces como de "primera generación", llevaban en su composición disolventes aromáticos tóxicos,

mientras que los productos actuales, conocidos como de “segunda generación”, no contienen productos aromáticos.

b) Dispersantes concentrados, contienen disolventes de alcohol o glicol y usualmente una mayor concentración de componentes surfactantes. Esta tercera generación de productos deben aplicarse preferiblemente sin diluir, aunque pueden diluirse en agua de mar. Las dosis típicas están entre 1:5 y 1:30 (dispersante:petróleo).

Tanto los dispersantes convencionales como los concentrados diluidos en agua deben ser mezclados enérgicamente con el petróleo después de su aplicación para conseguir un resultado satisfactorio. Sin embargo, los dispersantes concentrados, si aplican sin diluir no requieren un grado de mezcla tan elevado, y normalmente la acción de las olas es suficiente. Por este motivo y la menor dosis que se necesita, los dispersantes concentrados han desplazado ampliamente a los convencionales en lo que se refiere a la aplicación en la mar.

4.12.2. METODOS DE APLICACIÓN EN LA MAR.

El método de aplicación depende principalmente del tipo de dispersante, del tamaño y localización de la mancha y de la disponibilidad de buques o aeronaves para rociar el dispersante.

La tabla 13 resume las principales características de varios sistemas de aplicación de dispersantes.

Tabla 13 - Comparación entre diversos tipos de sistemas de aplicación de dispersantes

Sistema	Tipo de dispersante	Máxima velocidad de aplicación (Litros/min.)	Máximo volumen de petróleo tratado (toneladas/hora)	Ventajas	Desventajas
Unidades portátiles	Convencional	2.5	0.3	Ligero, portátil, barato y rápidamente disponible	Carga útil y velocidad de aplicación limitadas
	Concentrado	2.5	3		
Monitores contraincendios	Concentrado	10.70	1	Disponible en casi todos los buques.	Desperdicio de dispersante

Fuente: (ITOPF)

4.12.2.1. ROCIADO DESDE BUQUES.

Los buques empleados para operaciones de aplicación de dispersantes varían considerablemente en tamaño, variando desde grandes buques contruidos especialmente para estos fines a pequeños buques no especializados, en los cuales el equipo ha de ser instalado. Los buques de pequeño tamaño no son adecuados para operaciones a gran escala, ya que no tienen una capacidad de almacenamiento suficiente para las grandes cantidades de dispersante que se necesitan. El empleo de dispersantes concentrados permite obtener el mayor rendimiento de estos buques, ya que de esta forma se puede tratar un volumen de petróleo mayor que con la misma cantidad de dispersantes convencionales, dado que la dosis necesaria es menor.

4.12.2.1.1. EQUIPOS DE ROCIADO IMPROVISADOS.

Cuando no se dispone de equipo especializado se pueden emplear las bombas y mangueras contraincendios como último recurso. Para aplicar el dispersante con estos equipos se mezcla con agua mediante un eyector que está conectado a la línea de contraincendios y aspira del tanque de

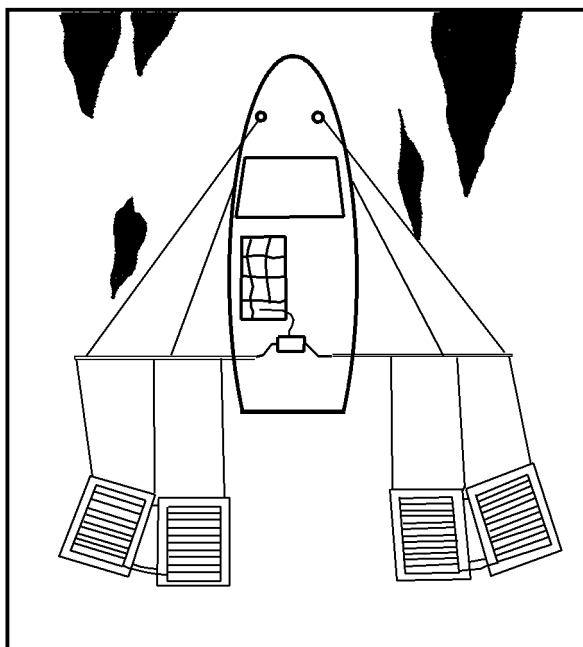
dispersante, (el sistema es similar al empleado para la formación de espuma de baja y media expansión, con la excepción de la lanza empleada). La concentración del dispersante se controla variando la velocidad de la bomba o bien desviando el agua en exceso, dicha concentración debe ser aproximadamente de un 10%. Debido a la alta velocidad del agua en estos equipos puede dar lugar a una dilución y/o consumo de dispersante excesivos. Otro inconveniente del sistema es que resulta difícil conseguir una aplicación apropiada, debido a la pequeña superficie cubierta por el fuerte chorro de agua producido por una manguera o monitor contraincendios. Los disolventes convencionales nunca deben utilizarse con este equipo, ya que, la dilución con agua inactiva el surfactante.

A pesar de las anteriores limitaciones mangueras y monitores contraincendios pueden ser adecuados para tratar pequeñas manchas en lugares confinados, por ejemplo el petróleo que queda atrapado bajo los embarcaderos.

4.12.2.1.2. EQUIPOS DE ROCIADO ESPECIALIZADO.

Cuando se aplican dispersantes convencionales, o concentrados diluidos, mediante sistemas de rociadores montados en buques, se puede conseguir mezclar el dispersante con el petróleo adecuadamente remolcando tablas de “agitación” de la superficie a través de la mancha que se están tratando, (figura 29).

Figura 29 – Buque con un equipo de rociado para la aplicación de dispersantes concentrados diluidos o de dispersantes convencionales instalado a bordo. El dispersante es bombeado desde un tanque a través de las barreras en las cuales van montados los rociadores, las tablas de agitación se arrastran amarradas a las barreras.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

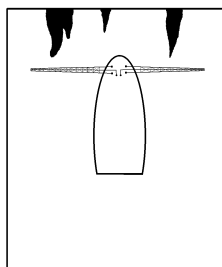
Con este equipo el dispersante es usualmente rociado a un ritmo constante, y la concentración de dispersante apropiada puede ajustarse variando la velocidad del buque o cerrando una de barras de rociadores. En la práctica el buque solo puede desplazarse a una velocidad entre 4 y 10 nudos, ya que este es el rango dentro del cual pueden operar adecuadamente las tablas de “agitación” de la superficie. Dichas tablas, que suelen ser remolcadas en las barras de rociadores, son difíciles de desplegar en algunos buques y además las tripulaciones suelen estar poco dispuestas a su empleo, con el resultado de que la efectividad del dispersante es grandemente reducida. El diseño del buque frecuentemente hace necesario montar las barras de rociadores en el centro o a popa, y con algunos buques, la ola de proa cuando el buque navega a más de 5 nudos puede separar el petróleo hacia los lados, fuera del alcance de los

rociadores. Esto disminuye grado de tratamiento del petróleo y da lugar a un desperdicio de dispersante.

Puesto que los dispersantes concentrados son más efectivos cuando se emplean sin diluir, además requieren un mezclado menos energético, y permiten mayor flexibilidad y se obtiene un mayor grado de tratamiento del petróleo. Las barras de rociadores pueden ser montadas a proa, (figura 30), eliminándose de esta forma los problemas causados por la ola de proa, lo que permite que el buque navegue a mayor velocidad durante las operaciones. Además, puesto que el francobordo de la mayoría de los buques es mayor a proa las barras de rociadores pueden ser más largas, de esta forma se aumenta la anchura cubierta por los rociadores, y por lo tanto, en el caso de manchas dispersas, también las posibilidades de encontrar manchas de petróleo en la trayectoria de los rociadores.

4.12.2.2. ROCIADO DESDE EL AIRE.

Figura 30- Sistema de rociadores para la aplicación de dispersante concentrado no diluido montado en la proa.



Fuente: (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

Serías limitaciones, particularmente debidas a la baja velocidad a la que se realiza la operación y a las dificultades inherentes a la localización de manchas desde un buque. En contraste el rociado desde el aire ofrece las ventajas de rápida respuesta, facilidad de localización de manchas, alta velocidad de tratamiento, óptimo uso del dispersante y mejor evaluación de la efectividad del tratamiento.

Solamente los dispersantes concentrados sin diluir son apropiados para ser rociados desde el aire, ya que son los únicos que no requieren nada más que la acción de las olas para mezclarse adecuadamente con el petróleo. Naturalmente es esencial que haya buena visibilidad sobre el mar, y puesto que la técnica depende de la acción de las olas para mezclar el dispersante y romper la mancha en pequeñas gotas, no es efectiva en condiciones de calma.

4.12.2.2.1. TIPOS DE AERONAVES EMPLEADAS

Helicópteros y aviones de uno y varios motores han sido utilizados con éxito para el rociado de dispersantes. Para que una aeronave sea apropiada para estos fines debe poder volar a baja altura y a relativamente baja velocidad, (entre 50 y 150 nudos), tener buena maniobrabilidad, y la carga útil debe ser lo mayor posible con respecto a las aeronaves de su mismo tamaño.

Las aeronaves empleadas para operaciones de rociado de dispersantes se dividen en tres categorías:

- a) Las diseñadas para labores de control de plagas agrícolas.
- b) Las que han sido transformadas específicamente para su uso en operaciones de rociado de dispersantes.
- c) Aquellas que no pertenecen a ninguno de los dos anteriores grupos pero pueden ser acondicionadas rápidamente.

Las aeronaves pertenecientes al primer grupo suelen ser de un solo motor, con una carga útil pequeña. Algunas aeronaves de este tipo son el Piper Pawnee, el Cessna Agtruck y el helicóptero Bell 47. El segundo grupo incluye aeronaves de varios motores que varían en tamaño desde el Piper Aztec al Douglas DC6. El tercer grupo incluye principalmente helicópteros y grandes aviones de carga tales como el C130 Hércules.

Para reducir el coste de mantenimiento de grandes aviones especializados, se han diseñado sistemas de rociado paletizados que pueden montarse de forma rápida en aviones de carga. Además de los ya mencionados son apropiados para la aplicación de dispersantes otros muchos como por ejemplo los modelos Basant, IAR – 822, Piper Brave 300, PZL Dromader M18, Transavia Air Truck, Shorts Sky Van, Twin Otter.

4.12.2.2.2. SELECCIÓN DE LA AERONAVE

La aeronave óptima para una operación particular se determina principalmente por el tamaño y localización del derrame, aunque en la práctica, el factor más determinante será la disponibilidad de aeronaves existente.

En el caso de un derrame de grandes dimensiones, las consideraciones sobre la carga útil podrían determinar por sí solas el empleo de un avión de gran tamaño. Por ejemplo un derrame de 4000 toneladas de crudo requerirían teóricamente el uso de 200 toneladas de dispersante. Teniendo en cuenta solamente la carga útil, esto se podría conseguir utilizando un DC6, 10 Piper Aztec o 20 Piper Pawnee. En realidad, habría que tener en cuenta muchos otros factores, entre ellos el comportamiento de la mancha.

Pequeños aviones de gran resistencia, con bajo consumo de combustible, que repostan rápidamente y con capacidad de operar desde pistas de aterrizaje cortas e incluso improvisadas, son frecuentemente los más apropiados para combatir pequeños derrames o manchas fragmentadas próximas a tierra. Sin embargo, los aviones de un solo motor estarán siempre restringidos por la distancia de la costa a la que pueden operar con seguridad.

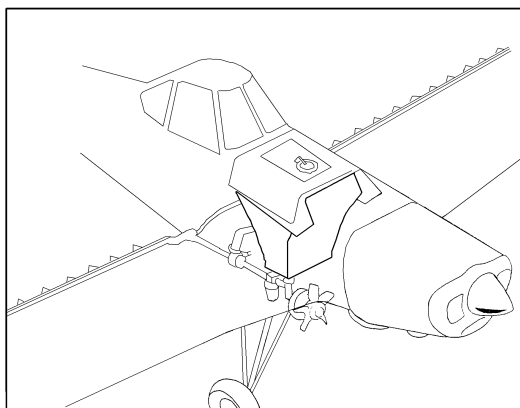
En cuanto a los helicópteros, su capacidad para rociar dispersante en áreas confinadas y operar desde una base muy próxima al lugar donde se encuentra el derrame son frecuentemente características de valor.

Además la posibilidad de utilizarlos simultáneamente para otros fines, (por ejemplo el transporte rápido de personas y material a lugares inaccesibles), puede ser una ventaja añadida. Aunque los grandes aviones de varios motores ofrecen la autonomía, carga útil, velocidad y seguridad requeridas para el tratamiento de grandes manchas alejadas de la costa, hay que tener en cuenta que necesitan largas pistas de aterrizaje, mayor soporte operacional, el tiempo empleado en repostar es mayor y tienen una visibilidad y maniobrabilidad más restringidas. Otra desventaja es que la cantidad necesaria del combustible apropiado puede ser imposible de conseguir en algunas partes del mundo, o incluso imposible.

4.12.2.2.3. EQUIPO DE ROCIADO PARA AERONAVES

La figura 31 muestra un típico sistema de rociado para un pequeño avión. Una bomba accionada por aire al avanzar el avión, impulsa el producto a un ritmo controlado desde uno o más tanques y alimenta los rociadores que suelen estar montados próximos al extremo posterior de las alas o sobre las mismas. El dispersante es descargado a través de atomizadores que generan gotas del tamaño apropiado, y están espaciados a lo largo de unas barras, a través de las cuales pasa el producto.

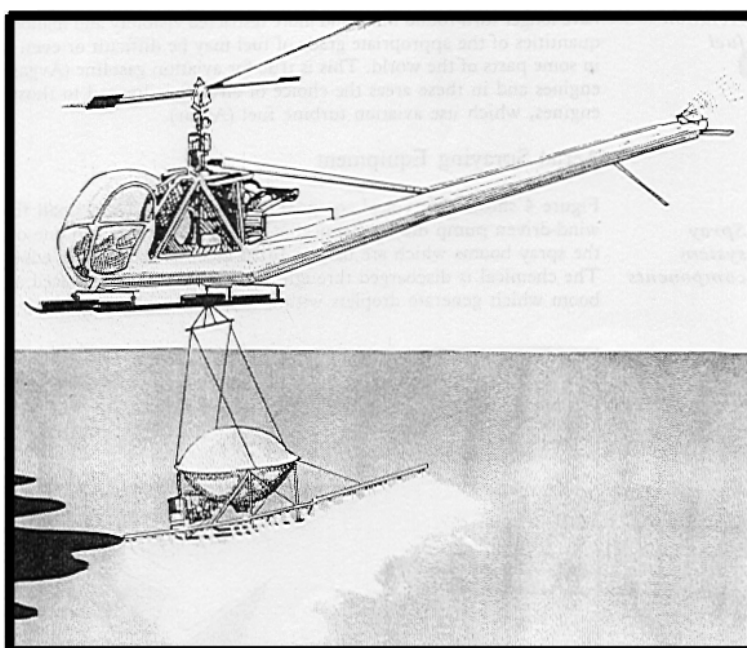
Figura 31 – Sistema de rociadores montado en un pequeño avión. La bomba va montada bajo el fuselaje y es accionada por aire al avanzar el avión. Un indicador montado en la cabina del piloto permite al mismo controlar el caudal de dispersante por medio de una válvula de by – pass.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

El equipo de rociadores para helicópteros suele ser similar al empleado en aviones, con el tanque y las barras de rociadores unidas al fuselaje. Alternativamente pueden transportar un tanque combinado, que lleva unidos el sistema de rociadores y la bomba, este equipo va suspendido del gancho de carga mediante estrobos de alambre con un mecanismo de acoplamiento rápido, (figura 32).

Figura 32 – Sistema de rociadores de tanque combinado colgado del gancho de carga del helicóptero.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

El rociado se controla directamente desde la cabina del piloto. Empleando dos equipos de este tipo alternativamente se reduce notablemente el tiempo empleado en repostar dispersante, ya que simplemente se desconecta un equipo y se conecta el otro con el tanque lleno.

Este sistema tiene la ventaja adicional de que el patrón de rociado es menos susceptible de ser afectado por la corriente de aire generada por el rotor. El inconveniente es que es más difícil volar a baja altitud, a menos que se emplee un cable de muy corto, sin embargo nunca debe ser inferior a

1.5 m con el objeto de permitir conectar o desconectar el dispositivo con seguridad.

Los dispositivos empleados para controlar el tamaño de las gotas son principalmente de dos categorías:

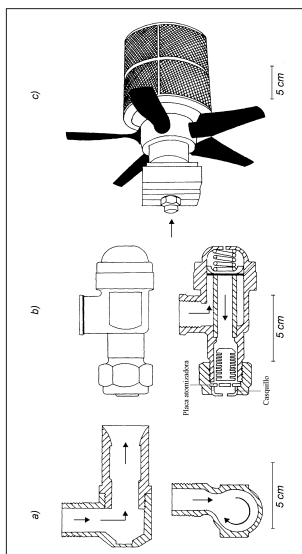
- a) Boquillas de presión, que se montan a lo largo de unas barras por cuyo interior fluye el dispersante.
- b) Dispositivos rotatorios, que consisten en una especie de “jaula” cilíndrica a través de la cual se hace pasar el dispersante mediante una bomba accionada por aire. Estos dispositivos se montan más separados entre sí que las boquillas, y pueden instalarse en barras que se fijan al fuselaje o directamente sobre el mismo en soportes especiales.

En la figura 33 podemos ver esquemáticamente algunos de estos dispositivos.

Tanto las boquillas como los atomizadores rotatorios son empleados en helicópteros, aviones de un solo motor de los empleados para la fumigación agrícola y aviones bimotores de pequeño tamaño. Las boquillas también son utilizadas en grandes aviones tales como el Douglas DC4 y el DC6, los atomizadores rotatorios no se emplean en grandes aviones debido al gran número de unidades que serían necesarias para tener la capacidad de procesamiento suficiente.

Aunque el sistema de rociado de dispersantes es muy similar a los sistemas de fumigación agrícola, difiere de esta en dos importantes aspectos:

Figura 33 – Diagrama simplificado de distintos rociadores. 1 Boquilla 2 Rociador Tipo Tee-Jet 3 Atomizador rotatorio Micronair.



Fuente: (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

- a) La velocidad de descarga del producto es mayor, (típicamente unos 100 litros/hectárea).
- b) El tamaño de las gotas es mayor, (500 μ m de diámetro medio), con el objeto de minimizar la deriva causada por el viento y las posibles pérdidas por evaporación.

Los rociadores Tee-Jet y Micronair han sido diseñados para producir las pequeñas gotas requeridas para la fumigación agrícola, sin embargo, pueden modificarse rápida y fácilmente para producir gotas mayores. En el caso de los rociadores Tee-Jet esta modificación consiste en retirar la placa atomizadora y sustituir el casquillo de salida por otra con una abertura de aproximadamente 5 mm. Además los rociadores se orientan paralelos al flujo de aire. Los diafragmas utilizados en las boquillas Tee-Jet para evitar la pérdida del producto cuando la bomba está parada se deterioran rápidamente en contacto con el dispersante, por lo que deben ser inspeccionadas frecuentemente y en caso necesario sustituidas. Existen diafragmas de materiales alternativos resistentes al dispersante.

La modificación de las unidades Micronair implica la sustitución de la jaula por otra del tipo y dimensiones apropiadas. Además hay que disminuir la velocidad del ventilador, para ello se varía la inclinación de las palas hasta unos 70° para ventiladores standard de 11.5 pulgadas de diámetro.

El equipo de rociado es propenso a obstruirse, particularmente con algunos dispersantes que forman un gel cuando se contaminan con pequeñas cantidades de agua, por lo que todos los componentes del equipo deben inspeccionarse regularmente y procederse a realizar el mantenimiento apropiado.

Las personas que vayan a trabajar con estos dispositivos deben recibir entrenamiento apropiado acerca de la instalación y empleo de los mismos, y deben realizarse ejercicios prácticos con frecuencia.

4.12.2.3. DOSIS NECESARIA.

La dosis requerida está determinado por el tipo de petróleo, su espesor y las condiciones reinantes. El control de la dosis aplicada puede conseguirse de dos formas:

- a) Variando el caudal de descarga de la bomba.
- b) Variando la velocidad del buque o aeronave.

La relación general entre las variables es la siguiente:

$$F.D. = 0.003 \times D \times V \times A$$

Siendo:

F.D. = Caudal de descarga de la bomba, litros/minuto.

D = Dosis de producto aplicada, litros/hectárea.

V = Velocidad, nudos.

A = Anchura de la faja cubierta por los rociadores, metros.

Por ejemplo, para una mancha cuyo espesor se estima en 0.2 mm, que representa un volumen de petróleo de 2 m³/hectárea, sería necesario aplicar dispersante a razón de 100 litros/hectárea utilizando un dispersante

concentrado con una dosis de 1:20 (dispersante:Petróleo). Un buque que navegue a 10 nudos cubriendo con los rociadores una franja de 30 m de ancho, tendría que descargar el dispersante a razón de 93 litros/minuto. Si en lugar de un buque se emplea un avión que vuela a 90 nudos con una anchura efectiva de rociado de 15 metros e ritmo de descarga sería de 417 litros/minuto.

Es importante concentrarse en el tratamiento de las zonas donde el petróleo tiene mayor espesor, ya que la aplicación de dispersante a las películas delgadas de petróleo representan un derroche de dispersante.

El caudal de descarga de la bomba se puede variar, a condición de que las boquillas generen una cortina estable, lo cual deja de ocurrir cuando la velocidad del líquido es demasiado baja.

En condiciones de muy bajas temperaturas hay que prestar atención a la viscosidad de los dispersantes concentrados, que reduce el rendimiento de las boquillas.

El equipo corriente para la aplicación de dispersantes concentrados sin diluir cubre una franja de 30 ó 40 metros, con caudales que pueden variar desde 36 a 220 litros/minuto. Los sistemas de mayor capacidad pueden dar lugar a una aplicación excesiva con el consiguiente desperdicio de dispersante, por lo que puede ser necesario cambiar las boquillas para conseguir el grado de aplicación óptima.

4.12.2.3.1. CONSIDERACIONES ACERCA DE LA APLICACIÓN DE DISPERSANTES DESDE EL AIRE

Es esencial minimizar las pérdidas de dispersante debida a la deriva causada por el viento y las turbulencias. En este sentido, las grandes gotas producidas resulta beneficioso, pero además el avión debe volar tan bajo como las consideraciones de seguridad lo permitan. Típicamente las

operaciones se realizan a una altitud de 5 a 15 metros, dependiendo del tamaño del avión y de las condiciones meteorológicas reinantes. La deriva causada por el viento puede limitarse volando en su misma dirección mientras se rocía el dispersante. Esto suele ser necesario debido a la tendencia del petróleo a alinearse en la dirección del viento en forma de bandas estrechas y alargadas o "ventanas" separadas entre sí por una fina película iridiscente de petróleo o mar limpio.

Debido a la dificultad de determinar la altura a la que se vuela en ausencia de objetos de referencia algunos aviones. Particularmente los de mayor tamaño, están equipados con radioaltímetros para asistir al piloto cuando vuela a tan baja altura.

Con el objeto de calcular las pérdidas de dispersante y así establecer la efectividad del grado de aplicación para una combinación particular de aeronave y sistema de rociadores, es aconsejable, en la etapa de planificación, llevar a cabo pruebas de calibración en tierra, simulando las condiciones reales. El efecto en la cantidad efectiva de dispersante que se aplica, es decir, la que cae sobre el petróleo, de factores como la velocidad, altura, intensidad y dirección del viento, anchura de la franja cubierta por los rociadores, tamaño de las gotas y caudal del dispersante deben ser examinados, para ello se añade al dispersante un tinte que permite ver su comportamiento al ser rociado. Estas pruebas se pueden llevar a cabo en un campo de aviación, donde se colocan en el suelo, tarjetas de muestreo, que quedan impregnadas al caer el dispersante. De esta forma se puede analizar fácilmente el tamaño de las gotas y en que grado se está aplicando realmente el dispersante. Además este procedimiento proporciona también la oportunidad de optimizar la posición y separación entre las boquillas para conseguir el patrón más uniforme a través de toda la franja que cubren los rociadores, compensándolo de los efectos causados por la hélice y las turbulencias generadas por las alas.

4.12.2.4. CONTROL DE LAS OPERACIONES.

Cualquiera que sea el método empleado para aplicar el dispersante, debe llevarse a cabo una objetiva y continua vigilancia de su efectividad para evitar el desperdicio de dispersante. Para asegurarse de que una operación de rociado llevada a cabo por buques o aeronaves se está llevando a cabo de la forma apropiada se recomienda controlarla desde una aeronave situada sobre la zona de las operaciones de forma que se pueda ver la evolución de las mismas. Dicha aeronave puede ser un avión ligero o un helicóptero, pero debe tener gran resistencia y buenas comunicaciones tanto con el avión/es y/o buque/es dedicado/s a la operación de rociado como con el control de tierra.

El avión dedicado al control de las operaciones se puede emplear para diversas funciones. Se puede utilizar para identificar las zonas donde la capa de petróleo es más gruesa o aquellas manchas que suponen una mayor amenaza para dirigir el avión/es y/o buque/s que realizan las operaciones de rociado hacia las mismas. Simultáneamente puede juzgar la precisión de la aplicación y la efectividad del tratamiento.

El control de las operaciones desde el aire se recomienda siempre que se empleen aviones de gran tamaño en las mismas, ya que cuando vuelan a baja altura la tripulación de los mismos tiene serias dificultades para distinguir entre el petróleo denso y las finas películas iridiscentes, especialmente si la mancha es discontinua. Cuando se emplean pequeño aviones estas tareas pueden ser llevadas a cabo por el piloto, siempre que tenga suficiente experiencia en la técnica.

4.12.2.5. ORGANIZACIÓN Y SEGURIDAD.

Se necesita una buena organización para mantener las operaciones el máximo tiempo posible durante las horas de luz. Esto puede requerir mantenimiento rutinario del equipo y reponer suministros durante la noche. El suministro de combustible y dispersante para los buques y aviones debe mantenerse también durante la noche.

Los dispersantes almacenados en bidones pueden ser adecuados para operaciones a pequeña escala, pero si trata de operaciones a gran escala los dispersantes tienen que ser suministrados en camiones cisterna, empleándose para el trasiego del mismo, bombas de gran capacidad.

Cuando se emplean aviones en las operaciones de rociado pueden ser necesarias tripulaciones de relevo, ya que los vuelos a baja altura sobre el mar son agotadores. Se deben observar todos los procedimientos habituales de seguridad, a pesar de las dificultades.

El personal que trabaja en buques y aquel empleado en operaciones de apoyo tendrán en cuenta las precauciones que deben tomarse cuando se utilizan dispersantes y deben consultar la información del fabricante para obtener información detallada.

Las pérdidas de dispersante crean superficies resbaladizas, y por lo tanto un área de trabajo insegura, sobre todo en la cubierta de los buques, por ello deben minimizarse los derrames.

Además los dispersantes tienen una fuerte acción desengrasante, por lo que deben realizarse chequeos regulares para asegurarse de que no contaminó los lubricantes, especialmente en el rotor de cola de los helicópteros, ni atacó componentes de caucho expuestos. Además deterioran muchas clases de pintura y pueden causar fisuras en los parabrisas y ventanas de plexiglás. Por este motivo buques y aeronaves deben lavarse regularmente con agua dulce.

4.13. EMPLEO DE DISPERSANTES EN LA LIMPIEZA DE LA COSTA.

Se pueden emplear dispersantes en los trabajos de limpieza de costa, particularmente en las etapas finales de la limpieza. Sin embargo, cuando la contaminación es grave, es importante eliminar primero la mayor parte del petróleo varado por otros medios. Las playas con fuerte oleaje frecuentemente se limpian de forma natural, y en estos casos no debe

intervenirse, excepto que las circunstancias dicten la inmediata retirada del petróleo.

Tanto los dispersantes convencionales como los concentrados pueden ser utilizados para operaciones de limpieza de costa, aunque los primeros pueden ser más efectivos con petróleos viscosos, debido al mayor grado de penetración conseguido por los disolventes de hidrocarburos. La cantidad de dispersante que debe aplicarse es la misma que cuando se emplean en la mar, sin embargo, es difícil predecir hasta que punto es efectivo contra el petróleo varado, y es aconsejable realizar una prueba sobre un área pequeña antes de llevar a cabo una operación a gran escala. En el caso de contaminación severa, normalmente es preferible limpiar las superficies contaminadas con dos o más tratamientos separados, en lugar de intentar eliminar todo el petróleo con una sola aplicación.

Cuando los dispersantes se emplean para operaciones de limpieza de costa, es importante hacerlo de forma que la playa se lave al bajar la marea, arrastrando los residuos dentro de los 30 minutos posteriores a la aplicación para minimizar la penetración del producto en el material de la playa. En las playas de guijarros es aconsejable que este tiempo sea todavía menor. En costas que no tienen mareas sensibles se puede considerar la posibilidad de baldear con agua de mar, teniendo cuidado de no introducir el petróleo en el substrato.

El equipo más apropiado para la aplicación del dispersante depende del tipo de material de la playa que se pretende limpiar, la facilidad de acceso a la misma y la escala de las operaciones. Para playas pequeñas e inaccesibles, lo más apropiado es el empleo de rociadores portátiles. En cambio en playas de gran extensión, vehículos especializados, tractores o incluso aeronaves se pueden emplear.

Los dispersantes se pueden usar para limpiar rocas, así como rompeolas y otras construcciones humanas, aunque suele ser necesario utilizar cepillos de mano para ayudar a mezclar el dispersante y limpieza con

agua a presión para eliminar el petróleo tratado de superficies y de la parte inferior de las rocas. Hay productos químicos especiales que mezclados con el dispersante una vez aplicado aumentan su viscosidad evitando que resbale rápidamente por las superficies verticales, de esta forma se aumenta el tiempo de contacto con el petróleo. A veces se puede utilizar el dispersante para despegar de las rocas petróleos de alta viscosidad como el fuel oil pesado.

Hay que tener en cuenta que solamente una pequeña parte del petróleo se dispersará, la mayor parte habrá que recogerlo con skimmers o sorbentes. La supervisión de las operaciones normalmente se puede llevar a cabo desde la playa. Es importante asegurarse de que el petróleo disperso no vuelve a la superficie formando una nueva mancha que podría contaminar otras áreas.

Es recomendable que aquellas personas que realizan operaciones de rociado utilicen ropa de protección, lo cual incluye guantes, botas y gafas. Durante las operaciones de aplicación de dispersantes el acceso a la playa debe cerrarse al público. (ITOPF)

4.13.1. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES **DEL USO DE DISPERSANTES.**

Aunque la toxicidad de los modernos dispersantes es mucho más baja que la de las primeras formulaciones, su uso todavía provoca controversia. Diferentes países tienen distintas actitudes hacia el uso de dispersantes. Conviene destacar principalmente que el uso de dispersantes representa, no solamente la introducción deliberada de un contaminante adicional en el mar, sino que también puede dar lugar a un incremento local de la concentración de hidrocarburos en la columna de agua, lo cual puede causar un daño biológico. Existen abundantes datos de laboratorio acerca de la toxicidad de los dispersantes y de las mezclas de petróleo y dispersante sobre varios organismos marinos, pero se conoce poco acerca de sus efectos en derrames reales, donde la dilución usualmente reduce la

concentración y tiempo de exposición significativamente. Basándose en pruebas de campo se ha comprobado que la concentración inicial alcanza los 50 miligramos/litro, pero disminuye a niveles de fondo en unas pocas horas.

Los pocos estudios efectuados en áreas donde se han utilizado dispersantes extensivamente no han demostrado efectos significativos en comunidades biológicas o poblaciones de especies particulares. No se dispone de evidencias concluyentes del incremento de la contaminación de especies comerciales como resultado del empleo de dispersantes.

Una valoración del potencial de dilución es la base más útil para decidir si se pueden emplear dispersantes para proteger ciertos recursos sin riesgo de dañar a otros. Factores relevantes son la distancia entre el lugar de aplicación y áreas sensibles, así como la dirección de las corrientes. Frecuentemente es posible hacer una estimación aproximada de la máxima concentración dispersante/petróleo y del tiempo de exposición para una localización específica. En áreas donde el potencial de dilución es grande, como en mar abierto, es poco probable que una concentración elevada persista más que unas horas, y por lo tanto es improbable que se produzcan efectos biológicos significativos. En aguas poco profundas próximas a la costa donde el cambio de agua es pobre, concentraciones elevadas pueden persistir por largos períodos y posiblemente alcancen valores que se conoce que causan efectos observables en experimentos de laboratorio. A pesar de los graves riesgos, una aplicación cuidadosa de dispersante puede en ciertas ocasiones ser globalmente beneficiosa, si el daño a áreas ecológicamente sensibles adyacentes se reduce de forma considerable.

En ocasiones el potencial beneficio obtenido por el uso de dispersantes para proteger áreas de esparcimiento, aves y la vida marina de la zona marítimo terrestre, puede ser mayor que cualquier potencial desventaja, tal como la contaminación temporal de mariscos comerciales. Por el contrario el uso de los mismos puede ser rechazado en áreas de freza del pescado, incluso si el riesgo de daños es muy bajo, y normalmente no es

aconsejable utilizarlos en las proximidades de tomas de agua para uso industrial, zonas marisqueras, arrecifes de coral o en zonas pantanosas o marismas.

A pesar de las dificultades que ello conlleva es importante establecer un orden de prioridades de los recursos que deben ser protegidos, y las condiciones en las que se aprueba el uso de dispersantes deben ser acordadas de antemano.

4.14. PLANIFICACION PRE-DERRAME.

Antes de que ocurra un incidente es importante identificar las áreas sensibles al uso de dispersantes y al petróleo disperso, tales como áreas de freza, zonas de marisqueo, pantanos y lagunas. El caso de emplear dispersantes en distintos lugares y circunstancias debe examinarse por adelantado de forma que los materiales y el equipo se puedan situar y almacenar de acuerdo con la forma de actuar prevista. Estas medidas reducen el tiempo de respuesta en caso de un incidente y aumenta las posibilidades de éxito.

4.14.1. PRUEBAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.

En muchos países se han desarrollado pruebas y procedimientos de aprobación, para asegurarse de que los dispersantes cuyo uso se ha autorizado son efectivos, rápidamente biodegradables y tienen una toxicidad mínima para la vida marina cuando se utilizan correctamente.

La efectividad de diferentes dispersantes varía considerablemente y siempre es aconsejable realizar tests de laboratorio y de campo para determinar cual es el mejor producto de que se dispone bajo las condiciones esperadas. Factores medioambientales tales como la temperatura del agua y la salinidad, y los probables tipos de petróleo deben tenerse en cuenta. También se deben realizar tests de toxicidad utilizando organismos marinos locales, así se puede seleccionar las fórmulas de menor toxicidad. Una vez

realizadas todas las pruebas, y considerando los resultados globalmente, se puede hacer una lista con los dispersantes autorizados.

4.14.2. RESERVAS Y ALMACENAMIENTO.

Cuando se almacenan dispersantes para su uso en caso de emergencia hay que considerar cuidadosamente la cantidad necesaria en relación con las dimensiones más probables del derrame. También se debe tener en cuenta la logística de la fabricación y transporte de suministros adicionales en el caso de un derrame de dimensiones superiores a lo esperado.

Los dispersantes se pueden almacenar en barriles de 200 litros o bien a granel en tanques. En el último caso, deben tomarse precauciones para impedir la contaminación con productos anteriormente almacenados en los tanques, así como la entrada de agua. Si se van a almacenar en un mismo tanque dispersantes de diferentes fabricantes, es importante asegurarse de que son compatibles. Los dispersantes convencionales y los concentrados nunca deben almacenarse juntos ya que al mezclarse forman geles viscosos.

Para una rápida respuesta el almacenamiento en camiones cisterna puede ser particularmente útil.

Aunque la mayoría de los dispersantes son tienen larga duración, los barriles de acero pueden sufrir corrosión por su parte exterior cuando están almacenados durante mucho tiempo, lo cual puede dar lugar finalmente a la pérdida del dispersante. Por este motivo para un almacenamiento durante largo tiempo son preferibles los barriles de plástico, a condición de que se mantengan apartados de la luz solar directa.

Tanto si se almacena el dispersante a granel como en barriles, serán necesarias bombas portátiles para el trasiego con el objeto de agilizar las operaciones cuando se carga el dispersante en buques o aviones. Cuando

se emplean buques especializados se puede almacenar el dispersante en los tanques del propio buque. En la mayoría de los otros buques tanques plegables de una capacidad de 4500 litros pueden ser convenientemente instalados en cubierta.

4.14.3. DISPONIBILIDAD DE BUQUES Y AERONAVES.

La localización y disponibilidad de remolcadores, pesqueros y otros buques debe tenerse en cuenta si no se pretende tener buques especializados permanentemente dedicados al servicio.

Si se prevé una aplicación aérea, deben determinarse lugares de aterrizaje a lo largo de la costa, y hay que considerar el mantenimiento de los aviones, fuentes de suministro de combustible y la forma de transportarlo.

Aunque las aeronaves para fumigación agrícola localmente disponibles se pueden utilizar en el caso de pequeños derrames, pueden ser difíciles de conseguir en ciertas épocas del año. Grandes derrames, particularmente aquellos que se producen lejos de la costa, requieren el uso de grandes aviones, y ya que estos usualmente no están inmediatamente disponibles, puede ser necesario tener una capacidad de respuesta especializada. Puesto que esto resulta caro, es ventajoso en uso compatible para el avión. Tal uso podría ser la lucha contra incendios, que tiene muchos paralelismos con el rociado de dispersantes. Alternativamente, puede ser utilizado para asistencia al control de tráfico en dispositivos de separación y/o par detectar e identificar buques que vierten hidrocarburos al mar ilegalmente, de esta forma la tripulación se familiariza con el vuelo a baja altura sobre el mar y el reconocimiento del petróleo.

4.15. LIMPIEZA DE LA COSTA.

Muchos derrames de petróleo terminan contaminando la costa a pesar de los esfuerzos por combatir la mancha en el mar y proteger el litoral.

La limpieza de la costa normalmente no requiere equipo especializado. Sin embargo, el uso de técnicas inapropiadas y/o una organización inadecuada pueden agravar los daños.

En este capítulo se describen técnicas que han sido aplicadas con éxito en distintos tipos de costa.

4.15.1. ESTRATEGIA DE LIMPIEZA.

4.15.1.1. VALORACION DEL PROBLEMA.

Antes de empezar las labores de limpieza hay que determinar el tipo y cantidad de petróleo, extensión geográfica de la contaminación y la longitud y naturaleza del tramo de costa afectado. Es importante identificar la fuente del derrame para poder evaluar la posibilidad de un posterior impacto sobre la costa y poder dirigir las reclamaciones por daños y perjuicios a quien corresponda. Estimar la cantidad de petróleo varado con exactitud es difícil en la mayor parte de los tipos de costa, ya que la distribución del petróleo rara vez es uniforme. En costas rocosas la tarea puede ser particularmente difícil debido a la gran cantidad de agujeros y grietas en los que se introduce el petróleo. Sin embargo, incluso una estimación aproximada es conveniente para la organización de la limpieza y para determinar la mano de obra necesaria.

La extensión total de la contaminación puede determinarse visualmente sobrevolando la zona, y después se puede realizar a pie una evaluación más detallada del petróleo presente en una pequeña sección representativa de la costa afectada. Este proceso se repite en otros tramos de costa en los que el grado de contaminación no es el mismo o la naturaleza de la costa es distinta. En la tabla 14 se resume el comportamiento del petróleo en distintos tipos de costa.

La inspección de la costa es además una buena oportunidad para tomar muestras de petróleo en caso de que se requieran análisis químicos, y

para confirmar rutas de acceso y la viabilidad de la limpieza, ya que en ocasiones es mejor dejar que el petróleo se degrade de forma natural.

En el proceso de limpieza suelen reconocerse 3 etapas:

- a) 1ª etapa: Limpieza de la contaminación más intensa y del petróleo en flotación.
- b) 2ª etapa: Limpieza de la contaminación moderada, petróleo varado y materiales oleosos.
- c) 3ª etapa: Limpieza de los tramos de costa que solo están ligeramente contaminados y eliminación de manchas de petróleo.

Hay que establecer prioridades de acción después de considerar los posibles conflictos de intereses. Por ejemplo, el uso de las técnicas más efectivas puede dañar algunos hábitats sensibles, pero el interés en proteger áreas de esparcimiento puede anular la consideración anterior.

Tabla 14 - Comportamiento del petróleo en los principales tipos de costa

TIPO DE COSTA	COMENTARIOS
Rocas, cantos rodados y estructuras construidas por el hombre. (>250 mm)	Frecuentemente las olas reflejadas mantienen el petróleo apartado de los afloramientos de rocas y de los acantilados, pero puede ser arrojado en la zona de rompientes donde puede acumularse en superficies porosas o rugosas. En zonas con mareas sensibles el petróleo se acumula en charcas y puede cubrir muchas rocas al bajar la marea. Este petróleo usualmente se limpia debido a la acción de las olas, aunque en zonas abrigadas es más persistente.
Playas de guijarros (2 – 250 mm)	La penetración del petróleo es mayor cuanto mayor es el tamaño de las piedras. En áreas de fuerte oleaje las piedras superficiales se limpian rápidamente por abrasión, pero el petróleo enterrado puede persistir durante cierto tiempo. El petróleo de baja viscosidad puede ser arrastrado hacia el mar por el movimiento natural del agua.

Arena (0.1 – 2 mm)	El tamaño de las partículas, la profundidad de la capa freática y las características de drenaje determinan el grado de penetración en la arena, Las playas de arena gruesa suelen tener mayor inclinación y se secan rápidamente al bajar la marea, lo cual facilita la penetración del petróleo, particularmente si es de baja viscosidad. Generalmente el petróleo se concentra cerca de la línea de pleamar. Normalmente las playas de arena fina tienen escasa inclinación, por lo que permanecen húmedas a lo largo de todo el ciclo de marea, por lo que la penetración es muy baja. Sin embargo, cierta cantidad de petróleo puede ser enterrado cuando se expone a la acción del oleaje, por ejemplo durante una tormenta.
Fango, marismas, bosques de manglares etc. (< 0.1 mm)	Extensivos depósitos de fango son característicos de sistemas de baja energía. La penetración del petróleo en el substrato es muy baja debido a que este suele estar anegado pero el petróleo puede persistir en la superficie durante largo tiempo. Si el derrame coincide con una tormenta, el petróleo puede incorporarse en los sedimentos y persistir indefinidamente.

Fuente: (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

En la primera etapa el petróleo que llega flotando a la costa debe recuperarse y almacenarse tan rápido como sea posible para evitar que se desplace hacia otras zonas contaminándolas. Esto también se aplica al petróleo varado en grandes cantidades, el cual, si no se recupera rápidamente puede volver a flotar, particularmente en zonas con mareas sensibles.

En ocasiones se pueden utilizar barreras para mantener el petróleo atrapado contra tierra mientras se realizan las operaciones de recuperación. Esta estrategia puede resultar inadecuada en zonas sensibles, en las cuales puede ser mejor permitir que el petróleo se traslade a otras áreas en las que cause menos daños.

Si no hay riesgo de que el petróleo se desplace hacia otras zonas, normalmente es mejor esperar hasta que todo el petróleo haya llegado a la costa antes de empezar las labores de limpieza, para evitar tener que limpiar

la zona más de una vez. No obstante, esto debe sopesarse con la posibilidad de que el petróleo se mezcle con el sustrato o incluso se entierre si la limpieza se retrasa demasiado.

Los trabajos de recuperación de petróleo deben realizarse con mucho cuidado para limitar la cantidad de material que se elimina con el petróleo, de forma que se minimice el riesgo de erosión posterior y la cantidad de material que hay que eliminar. Esta etapa de la limpieza suele ser la de mayor duración.

Frecuentemente es difícil decidir en qué etapa deben pararse las operaciones de limpieza. Esto suele estar determinado por factores tales como la importancia que se da al área, la época del año y la velocidad a la que se espera que tenga lugar la recuperación natural del medio. Los costos de limpieza también juegan un importante papel en esta decisión, ya que el esfuerzo requerido para conseguir una mejora puede crecer de forma desproporcionada a medida que la cantidad de petróleo disminuye. Por lo tanto una exhaustiva etapa final de limpieza generalmente solo es requerida en áreas de recreo importantes, particularmente cuando el derrame se produce durante, o justo antes de la temporada turística.

4.15.2. TECNICAS DE LIMPIEZA.

Para la limpieza de las costas, las técnicas que se deben emplear dependerán del tipo de costa, características del lugar y la posibilidad de recoger el hidrocarburo desde el mar con embarcaciones, o la necesidad de emplear equipamiento técnico desde tierra.

Por tanto, las técnicas están dirigidas a:

- Recogida de hidrocarburo: en los casos donde los vehículos o embarcaciones pueden llegar hasta la orilla, el hidrocarburo puede ser recogido utilizando dispositivos recolectores,

bombas y carros de vacío; cuando no es posible la llegada a la orilla de carros o embarcaciones, la recogida a de ser manual y se utilizan cubos, otros recipientes y palas.

- Empleo de dispersantes: esta técnica generalmente se emplea en mar abierto, pero su empleo no es recomendable, considerando que los químicos que se utilizan pueden provocar el hundimiento del hidrocarburo y daos adicionales por contaminación al medio marino y al terreno costero. (VALDES, Osnaldo M. Casas)

Por lo tanto lo que cada claro es que la técnica de limpieza dependerá del escenario en el que vayamos a combatir el derrame producido.

4.15.2.1. ROCAS, CANTOS RODADOS Y ESTRUCTURAS DE CONSTRUCCION HUMANA.

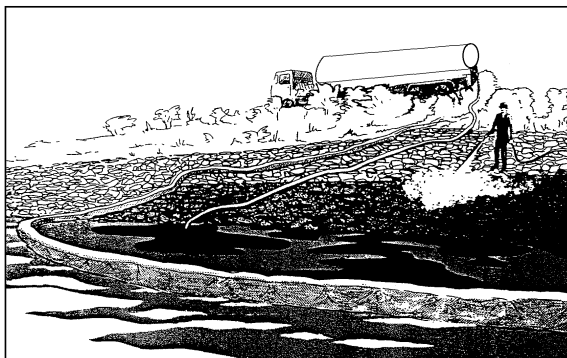
a) **1ª etapa:** En aquellos lugares en los que los vehículos o botes pueden llegar hasta la orilla el petróleo puede ser recogido utilizando skimmers, bombas o camiones de vacío. Muchos skimmers no dan buenos resultados en aguas poco profundas o bajo la acción de las olas, y en estas condiciones camiones o tanques de vacío pueden ser mejores. Típicamente estos últimos pueden recoger 20 m³ por día. En la medida de lo posible el agua recogida con el petróleo debe dejarse decantar y entonces drenarse antes de que el petróleo se lleve al lugar de almacenamiento. En algunas costas el petróleo puede limpiarse de la superficie de las rocas y piedras baldeando con agua del mar y recogido dentro de barreras colocadas junto a la orilla.

Donde los vehículos no pueden llegar lo suficientemente cerca de la orilla, el petróleo tiene que ser recogido manualmente utilizando calderos y palas u otros utensilios. Los barriles de más de 200 litros de capacidad son inapropiados, ya que una vez llenos son difíciles de manejar a mano sobre terrenos rocosos.

Si el petróleo es muy fluido su recuperación es más fácil si se introducen sorbentes en el mismo. Los sorbentes más efectivos son los fabricados con materiales sintéticos como la espuma expandida de poliuretano y las fibras de polipropileno. Estos materiales son caros, aunque algunos tipos se pueden emplear varias veces. En caso de no disponer de estos productos sintéticos se pueden emplear materiales naturales localmente disponibles, como pueden ser la paja, ramas de palmeras, cortezas fibrosas de coco, desechos de caña de azúcar o las plumas. Los sorbentes empapados en petróleo se pueden recoger con horquillas y rastrillos y se retiran del lugar en grandes bolsas de plástico muy resistentes o en pequeños contenedores. La utilización de sorbentes en exceso puede ser un problema si causa contaminación secundaria, y una buena norma es no usar más que lo que se puede recoger.

b) Etapas 2ª y 3ª: En muchos casos, una vez que el petróleo móvil ha sido recuperado, el que permanece adherido a la superficie de las rocas se puede dejar para que se limpie de forma natural, ya que se forma rápidamente una película muy resistente que minimiza la propagación de la contaminación. Sin embargo, cuando la costa afectada o una parte de la misma pertenece a áreas de esparcimiento, puede conseguirse un mayor grado de limpieza lavando con agua a presión. Se puede emplear tanto agua caliente como fría, dependiendo del equipo disponible y del tipo de petróleo. Para despegar de las rocas los petróleos viscosos se necesita agua a alta temperatura y en ocasiones también vapor. Típicamente el agua se calienta hasta unos 60 °C y se chorrea a 10 ó 20 litros/minuto con una lanza de mano que opera a una presión de 80 a 100 bares. El petróleo despegado de esta forma debe ser recogido, ya que de otra forma puede contaminar áreas que ya se han limpiado o que no estaban contaminadas. Para ello se puede baldear con agua de mar de forma que sea arrastrado hasta una barrera situada junto a la orilla, de donde puede recuperarse utilizando skimmers o camiones de vacío; otra opción es recogerlo colocando sorbentes en la base de las superficies que se están limpiando, (Figura 34).

Figura 34 - Baldeo de petróleo al interior de una barrera para su recuperación mediante un camión de vacío.



Fuente: (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

En zonas tropicales o subtropicales es probable que el lavado con agua caliente sea menos efectivo que en climas templados, ya que el petróleo expuesto al sol se adhiere firmemente a las rocas. En estos casos áreas de pequeña extensión pueden limpiarse con chorreo de arena.

Muchos animales y plantas sobreviven a la contaminación por petróleo, sin embargo cualquiera de las técnicas de limpieza antes mencionadas pueden destruir la mayor parte de los organismos marinos, y también pueden producir daños físicos a las superficies tratadas. Estos métodos deberán reservarse para aquellas áreas de fácil acceso en las cuales es probable que el público entre en contacto con el petróleo si no se toman medidas de inmediato.

El uso de dispersantes puede ayudar a limpiar el petróleo, pero su uso debe restringirse a áreas donde el flujo del agua permite una rápida dilución para evitar que se produzcan daños a la vida marina. En algunos casos, particularmente con petróleos de alta viscosidad, el dispersante actúa simplemente despegando el petróleo de las superficies a las que está adherido, sin producir la dispersión del mismo. En tales casos deben realizarse todos los esfuerzos posibles para recoger el petróleo y evitar que contamine otras zonas.

Las manchas de petróleo pueden eliminarse aplicando dispersante con cepillos o aplicándolo como un gel y baldeando después con mangueras la mezcla de petróleo/dispersante. En esta etapa de la limpieza el petróleo estará en forma de películas muy finas y por lo tanto solo se requiere una pequeña cantidad de dispersante.

4.15.2.2. PLAYAS DE GUIJARROS.

a) 1ª etapa: Este tipo de costa es probablemente el más difícil de limpiar satisfactoriamente, porque la mayor parte del petróleo habrá penetrado profundamente en el substrato a través de los huecos que hay entre las piedras. En este tipo de costa la primera etapa sigue la misma línea que la previamente descrita: Si es posible bombear el petróleo y si no recogerlo a mano.

La pequeña carga que soporta este tipo de terreno puede dificultar el movimiento de vehículos y personal.

b) Etapas 2ª y 3ª: Se puede emplear agua a alta presión para limpiar el petróleo en la orilla, pero parte del mismo será introducido en el substrato. El petróleo de baja viscosidad puede ser lavado de entre las piedras y el uso de dispersantes puede mejorar el resultado. Inevitablemente parte del petróleo penetrará en el substrato después de que las piedras de la superficie hayan sido lavadas. Este petróleo saldrá a la superficie lentamente como una fina película brillante durante un período de varias semanas o incluso más. La eliminación de piedras oleosas rara vez resulta práctico, y usualmente solo es posible si se pueden utilizar palas mecánicas de orugas. La eliminación de piedras solamente debe considerarse si se tiene la seguridad de que no causará una seria erosión de la playa y que será posible deshacerse del material.

Otra solución que se podría utilizar en lugares que en invierno están sujetos a fuertes tormentas es cubrir el área contaminada con piedras de la parte superior de la playa, proveyendo así una superficie limpia durante el

verano, par aquellos que utilizan la playa como lugar de esparcimiento. Durante el verano, debido a las altas temperaturas, se producirá cierto grado de degradación natural del petróleo, y después durante el invierno las piedras se redistribuirán de forma natural, saliendo el petróleo de debajo de las piedras y dispersándose. Este método solo puede emplearse en aquellos lugares que están moderadamente contaminados y no se puede hacer en playas de materiales finos, ya que el petróleo tiende a salir a la superficie. Debe tenerse en cuenta que el perfil de la playa puede quedar alterado permanentemente y las defensas naturales contra el mar disminuidas.

Para eliminar la película oleosa que frecuentemente permanece pegada a las piedras después de la limpieza es introducir la capa superior de piedras en el mar, donde la acción abrasiva causada por las olas las limpia rápidamente. No obstante esto es obviamente inapropiado si al hacerlo se exponen piedras manchadas situadas bajo las otras. Hay que tener en cuenta también que pueden pasar varios años antes de que el perfil de la playa se restaure, ya que es necesario fuerte oleaje para empujar piedras de este tamaño hasta la parte superior de la playa.

4.15.2.3. PLAYAS DE ARENA.

a) 1ª etapa: Muy frecuentemente las playas de arena están consideradas como valiosos recursos turísticos o de esparcimiento y se da prioridad a la limpieza de las mismas. Por otra parte los fondos marinos de la zona que queda al descubierto durante la marea baja suelen ser biológicamente productivos e importantes para la pesca comercial. Consideraciones medioambientales pueden por lo tanto determinar la selección de aquellos métodos de limpieza que causan menor daño, tales como los que se describirán más adelante para marismas y zonas similares.

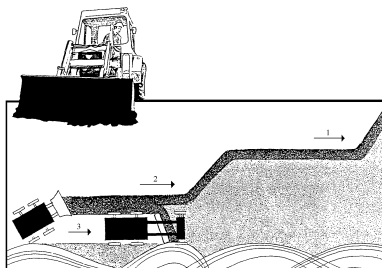
Las playas de recreo suelen tener buenos accesos, aunque en algunos casos hay que construir carreteras provisionales para permitir el acceso del equipo pesado. Aunque en este tipo de playas la mayor parte del petróleo puede eliminarse fácilmente, el deseo de realizar la limpieza

rápidamente puede, en algunos casos, crear dificultades. En un derrame de grandes dimensiones hay que hacer un balance entre la rapidez con que se pueden recoger grandes cantidades de petróleo utilizando maquinaria pesada y el incremento de contaminación del substrato que el uso de dicha maquinaria implica. En gran parte esto está determinado por el tipo de playa. Las playas de arena gruesa normalmente no pueden soportar ningún vehículo sin que sus ruedas o orugas se hundan en la arena haciendo que el petróleo se mezcle con la misma, o incluso podrían quedar inmovilizados en a playa una vez cargados.

En aquellos lugares en los que no hay acceso para los vehículos, la parte superior de la playa no tiene firmeza suficiente para soportar el peso de los mismos o está demasiado lejos de la orilla que no llegan las mangueras la limpieza tendrá que realizarse a mano. El petróleo, así como los sorbentes empapados y los escombros pueden recogerse en grandes bolsas de plástico y éstas se llevan a la parte superior de la playa, por encima de la línea de pleamar.

Las playas de arena compacta pueden soportar grandes vehículos, tales como palas mecánicas y niveladoras. Idealmente la pala debe empezar a trabajar en el extremo limpio de la playa e ir desplazándose hacia dentro de la zona contaminada. La hoja de la niveladora se fija de forma que su parte inferior quede justo por debajo de la superficie de la arena, la arena oleosa y el petróleo se van amontonando como se ve en la figura 35.

Figura 35 – Niveladora utilizada en una playa uniformemente contaminada para concentrar el petróleo en franjas con el objeto de facilitar su recogida mediante una pala mecánica.



Fuente: (VALDES, Osinaldo M. Casas)

Esta forma de operar puede que tenga que ser modificado dependiendo del patrón de contaminación y del estado de la marea. A medida que la niveladora va amontonando el petróleo la pala mecánica lo recoge. El trabajo se puede hacer empleando solo la pala, pero la cantidad de arena que se recoge de esta forma resulta inevitablemente mayor. En cualquier caso hay que tener mucho cuidado para asegurarse de que no se retira demasiada arena, lo que daría lugar a la erosión de la playa.

b) 2º etapa: Para los trabajos de recogida de arena moderadamente contaminada y escombros lo mejor es que las tareas se lleven a cabo por equipos de personas trabajando conjuntamente con las palas mecánicas, que se utilizarán solamente para transportar el material recogido a los lugares de almacenamiento temporal en la parte superior de la playa. De esta forma típicamente cada persona recoge entre 1 y 2 m³ de material contaminado por día. Si se utilizan las palas mecánicas u otra maquinaria pesada directamente para estas operaciones se pueden recoger entre 100 y 200 m³ por día y máquina, pero el contenido de petróleo de la arena recogida de esta forma solamente es del 1 al 2%, mientras que si se recoge manualmente contiene de un 5 a un 10%. Esto es debido a que la maquinaria pesada tiende a mezclar el petróleo con la arena al pisarla con las ruedas, y además es menos selectiva.

Para hacer más eficiente el uso de cada pala mecánica los equipos de limpieza deben acumular el material recogido en montones o alternativamente llenar barriles de 200 litros situándolos a intervalos a lo largo de la playa.

Para minimizar la extensión de la contaminación a consecuencia de las operaciones de limpieza, siempre que sea posible las palas trabajarán desde la parte limpia hacia la contaminada. Los vehículos con neumáticos de baja presión normalmente son más apropiados que los que tienen orugas.

En aquellos lugares en los que no se pueden emplear vehículos hay que transportar la arena contaminada en bolsas de plástico. Las bolsas deben ser muy resistentes, siendo apropiadas las del tipo empleado para los fertilizantes. No deben llenarse completamente debido a la dificultad que supone transportarlas por la arena suelta. Hay que tener en cuenta que las bolsas de plástico expuestas a la luz solar intensa durante más de diez días comienzan a deteriorarse, por lo que el almacenamiento en un lugar apropiado o la eliminación de las mismas no debe demorarse.

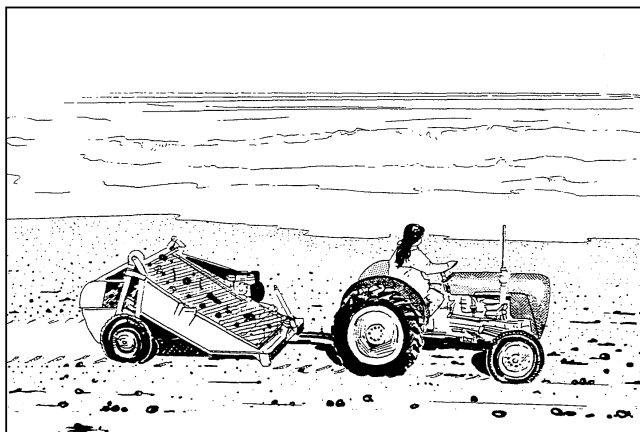
b) 3ª etapa: Después de que la mayor parte de los materiales contaminados han sido retirados, los restantes es probable que estén grasientos y decolorados. Este grado de limpieza no es suficiente para playas de esparcimiento y es necesaria una etapa final de limpieza. Se pueden utilizar dispersantes, aplicados mediante rociadores portátiles, vehículos agrícolas o aeronaves. El dispersante debe permanecer en contacto con el petróleo alrededor de 30 minutos antes de ser lavado por la marea. En regiones que no tienen mareas sensibles o que no tienen fuerte oleaje puede ser necesario baldear con agua del mar para conseguir una buena dispersión. Otro método particularmente apropiado para playas con mareas, que solo están ligeramente contaminadas, es arar o gradar la playa durante la bajamar. Así se mezcla el petróleo con un volumen mayor de arena y además sufre mayor degradación natural.

Se puede lavar la arena gruesa haciendo pasar grandes volúmenes de agua a través de tramos cortos de playa. Para ello se bombea agua del mar mediante bombas de gran capacidad y se distribuye a varias mangueras a baja presión. Dirigiendo el agua a un área pequeña de la playa el petróleo flota y al mismo tiempo es barrido por el agua hasta la orilla donde se puede acumular en una barrera para su recuperación como ya se ha explicado anteriormente. Este método es lento y solo se puede aplicar a un pequeño tramo de playa.

En la arena seca el material que permanece después de finalizar la limpieza normalmente consiste en pequeños nódulos de arena oleosa de

unos 50 mm de diámetro. Estos y las bolas de alquitrán expulsadas a lo largo de la línea de la pleamar se pueden recoger empleando cribas mecánicas, (figura 36).

Figura 36 - Criba mecánica accionada por un tractor.



Fuente: (VALDES, Osvaldo M. Casas)

Los terrones oleosos son retenidos en la criba, mientras que la arena limpia cae nuevamente a la playa. Estas máquinas fueron diseñadas originalmente para la recogida de basura en las playas.

Si el derrame coincide con la temporada turística puede ser necesario devolver la playa a su estado original en el menor tiempo posible. En este caso se puede traer arena limpia de otra parte y esparcirla sobre cualquier resto de arena ligeramente contaminado. En la medida de lo posible, los granos de esta arena limpia deben ser del mismo tamaño que la arena de la playa, con el objeto de no alterar las características físicas y biológicas de la playa. Si se utiliza arena más fina para sustituir a la otra se corre el riesgo de que el mar la arrastre rápidamente. Cuando se tiene la seguridad de que una mancha de petróleo va a alcanzar la playa puede ser conveniente llevar parte de la arena de la zona que queda cubierta por la marea hasta la parte superior de la playa, por encima de la línea de la pleamar. Esta arena puede devolverse a su lugar después de limpiar la playa, y no es necesario traerla de otro lugar.

4.15.2.4. COSTAS PANTANOSAS Y MARISMAS.

En este tipo de costas lo mejor es permitir que el petróleo se degrade de forma natural, particularmente en aquellos lugares en los que hay vegetación. Se ha demostrado en la práctica que normalmente las actividades encaminadas a limpiar estas zonas dan lugar mayores daños que los causados por el petróleo, debido a las alteraciones físicas y a la erosión del sustrato. La vegetación de las marismas usualmente sobrevive a la contaminación causada por el petróleo, (siempre que esta no sea continuada ni se produzca varias veces seguidas), y en varias ocasiones se encontraron nuevas plantas creciendo a través de la capa de petróleo. Cuando sea imperativo hacer la limpieza para evitar que la contaminación se extienda hacia otras zonas, se puede baldear con agua a baja presión para arrastrar el petróleo hacia aguas abiertas, donde puede recogerse en el interior de una barrera para su recuperación. Esta técnica se aplica mejor acercándose a la orilla desde aguas abiertas en embarcaciones de poco calado. Si existe peligro de que se contaminen las aves se puede considerar la posibilidad de cortar la vegetación cubierta de petróleo para retirarla del lugar, pero esto debe sopesarse con el daño a largo plazo que se causará al caminar por la zona.

Similares consideraciones se deben hacer en los bosques de manglares. En las zonas donde los árboles son particularmente densos y hay un alto riesgo de que el petróleo penetre todavía más en el bosque de manglares puede ser necesario cortar parte de la vegetación para permitir el acceso a fin de baldear el petróleo hacia fuera. De esta forma se puede evitar la destrucción de manglares en un área más extensa, pero debe tenerse en cuenta que se causarán daños locales y que la recuperación del medio probablemente será lenta.

4.15.3. ORGANIZACIÓN.

Una apropiada organización del personal dedicado a la limpieza y de los medios disponibles es vital para el éxito de las operaciones. Esto puede conseguirse por división del litoral afectado en pequeños tramos. Se divide el

personal disponible en equipos asignando a cada tramo de costa un equipo y un supervisor. La longitud de cada tramo de costa dependerá del tipo de costa y de la cantidad de material que se espera que un equipo pueda recoger en un día. De esta forma los equipos tienen la satisfacción de complementar una tarea cada día y ver el progreso realizado a medida que se va limpiando la costa sección a sección. Los equipos pueden estar formados por unas 10 personas cada uno más un jefe de equipo, y cada supervisor sería responsable de unos 10 equipos.

En costas con mareas, el trabajo se organizará para que coincida con los ciclos de marea, con períodos de descanso y paradas para comer durante la pleamar. Durante la noche el trabajo suele ser ineficaz, incluso con buena iluminación.

El equipo material debe organizarse de forma que complemente a la mano de obra. Los vehículos que trabajan en la playa estarán confinados al área de trabajo, mientras que los camiones de mayor capacidad, que transportan el material recogido a sus lugares de almacenamiento o eliminación, se mantendrán fuera de la playa, de esta forma se consigue que la zona limpia y la contaminada se permanezcan segregadas. Esto no solo limita el número de vehículos en la playa, sino que también ayuda a reducir la cantidad de petróleo que es llevado directamente de la playa a la carretera. Las pérdidas en las carreteras pueden reducirse todavía más cubriendo los camiones con lonas de plástico.

El acceso a algunos lugares de trabajo necesitará ser restringido para minimizar los daños a las dunas de arena y a las defensas naturales del mar. El tráfico en las proximidades del área de trabajo se controlará de forma que los camiones puedan moverse sin estorbos. También puede ser necesario que la policía cierre las playas y las carreteras de acceso a las mismas, en beneficio de la seguridad pública, particularmente donde se utilizan vehículos pesados.

Se deben llevar registros diarios de la mano de obra y equipo empleado en cada área, y es esencial para hacer reclamaciones de compensación. Un registro de las cantidades de petróleo y escombros oleosos eliminados facilita el seguimiento de los progresos. El estado de cada área de trabajo así como la situación de la mano de obra y el equipo pueden ser monitorizados en mapas, lo cual facilita el seguimiento de las operaciones y también la redacción de informes.

4.16. ELIMINACION DEL PETROLEO Y DE LOS ESCOMBROS.

Idealmente todo el petróleo debería ser procesado en una refinería o en una planta de reciclaje. Desafortunadamente esto raramente es posible, debido a la degradación y a que está contaminado con escombros, por lo que tiene que se requiere otra forma de eliminarlo. Esto incluye echarlo directamente al vertedero, estabilizar los escombros para su aprovechamiento para la construcción de carreteras secundarias y su destrucción por medio de procesos biológicos o incineración. La forma de eliminarlo dependerá de la cantidad y tipo de petróleo y escombros, localización de la mancha, consideraciones legales y medioambientales y de los costos de cada sistema.

4.16.1. TIPO Y NATURALEZA DEL PETROLEO Y DE LOS ESCOMBROS OLEOSOS.

Como norma general solamente los derrames de petróleos persistentes como el crudo, los fuel oils de los grados más altos y algunos lubricantes requieren tratamiento y eliminación, ya que la limpieza de petróleos no persistentes no suele ser necesaria. Si el petróleo se puede recuperar poco después del derrame es probable que sea fluido y que no esté contaminado. Sin embargo, en la mayoría de los casos el petróleo recuperado es viscoso debido a la degradación natural. El petróleo recuperado del mar estará relativamente “limpio”, es decir, no tendrá escombros, sin embargo, es probable que contenga grandes cantidades de agua en forma de emulsión.

Por otra parte el petróleo varado en la costa normalmente se recoge junto con grandes cantidades de escombros y suele ser difícil separarlos de forma que pueda ser reciclado. En general, los escombros que se recogen junto con el petróleo pueden considerarse de 3 clases:

- a) Arena.
- b) Madera, plásticos o algas marinas.
- c) Bolas sólidas de alquitrán.

4.16.2. ALMACENAMIENTO Y PREPARACION DEL PETROLEO PARA SU ELIMINACION.

La gran cantidad de material que debe eliminarse después de la limpieza pueden presentar problemas de manejo y transporte. Por este motivo normalmente es necesario almacenar temporalmente el material, hasta el momento de su eliminación una vez escogido el método que se considere más adecuado.

En la medida de lo posible el petróleo “limpio” debe almacenarse separado de los escombros para que puedan seguirse distintos métodos de tratamiento y eliminación.

Si el petróleo es bombeable a la temperatura ambiente, puede almacenarse en tanques cerrados. No obstante, hay que ser muy cuidadoso cuando se almacena grandes cantidades de petróleos de alta viscosidad, particularmente si los tanques no disponen de calefacción, ya que puede haber serias dificultades para vaciarlos. Este tipo de petróleos es mejor almacenarlos en contenedores abiertos, tales como barcasas o barriles, para facilitar su tratamiento y las operaciones para cambiarlo de un recipiente a otro.

Si no se dispone de contenedores especiales para el almacenamiento de petróleo, se puede almacenar en tanques improvisados con tierra compactada o en simples hoyos, forrados interiormente, tanto en

un caso como en el otro, con plásticos gruesos de polietileno, u otro material resistente al petróleo. En el caso de los hoyos, lo más apropiado es hacerlos largos y estrechos, aproximadamente de 2 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad, (figura 37). Si existe la posibilidad de fuertes lluvia no deben llenarse demasiado para evitar que rebosen.

Figura 37 - Hoyo forrado con plástico para el almacenamiento temporal del petróleo. Cuando es necesario almacenar temporalmente el petróleo en áreas sensibles, por ejemplo las dunas de arena, es importante no alterar la vegetación, ya que esto podría dar lugar a erosión.



Fuente: (SCHULZE, Robert, 1998)

Todos los hoyos o tanques de tierra compactada que se hagan deben quedar llenos al finalizar la limpieza, es decir, no se hará ninguno más que los estrictamente necesarios, ni tampoco de tamaño excesivo, y en la medida de lo posible el terreno en el que se construyeron debe devolverse a su estado original para minimizar al máximo el impacto medioambiental.

Las bolsas de plástico deben considerarse como un medio para transportar el material oleoso más que un medio de almacenamiento del mismo, ya que tienden a deteriorarse rápidamente bajo los efectos de la luz solar, dejando salir su contenido.

El transporte del material oleoso puede ser caro y junto con su eliminación los costos pueden exceder los de recuperación. Por lo tanto siempre es beneficioso reducir la cantidad de material que hay que transportar, separando el petróleo del agua y la arena durante el almacenamiento temporal. Las emulsiones pueden romperse para separar el

agua. El petróleo que se filtra de los escombros puede ser recogido haciendo una zanja alrededor del área en la que están amontonados. Para separar la arena limpia de las bolas de alquitrán se puede tamizar.

4.16.3. FORMAS DE ELIMINACION.

La mayoría de las operaciones de limpieza de derrames de hidrocarburos, particularmente los de la costa, implican la recolección de cantidades importantes e hidrocarburos y desechos oleosos. El almacenamiento y la eliminación de residuos constituye un aspecto importante de cualquier operación de respuesta y será necesario plasmar claramente las disposiciones correspondientes sobre gestión de residuos en un plan de contingencia de derrames de hidrocarburos. Resulta fundamental que las medidas tomadas al comienzo de un siniestro actúen para evitar que los problemas con los residuos comprometan la respuesta y se conviertan en un problema costoso que continúe después de completarse la limpieza del derrame.

A través de este apartado, analizaremos las diferentes opciones disponibles para la gestión del material de residuo generado como resultado de derrames de hidrocarburos procedentes de buques en el medio marino. (ITOPF)

Las técnicas de eliminación existen son las siguientes:

- Utilización del hidrocarburo como combustible para refinerías.
- Quemado.
- Eliminación directa.
- Estabilización con material inorgánico.
- Degradación mediante técnicas de compost.
- Incineración.

(VALDES, Osinaldo M. Casas)

4.16.3.1. RECUPERACION DEL PETROLEO PARA SU PROCESAMIENTO.

En ciertos casos es posible recuperar el petróleo por un eventual procesamiento o mezclado con fuel oils. Esta opción siempre debe ser la primera que se considere. Posibles receptores del petróleo para su procesamiento o mezclado con fuel oil son refinerías, contratistas especializados en el reciclaje de desechos oleosos, centrales térmicas y obras de cimentación. Sin embargo, la calidad del petróleo debe ser alta, ya que la mayoría de las plantas solamente pueden operar con combustibles cuyas características cumplen con unas especificaciones muy determinadas. Por ejemplo, debe ser bombeable, tener un bajo contenido en sólidos y tener un contenido en sales inferior al 0.1 % para su procesamiento en una refinería o menor que el 0.5 % para mezclarlo con fuel oil.

Los escombros de pequeño tamaño pueden eliminar pasando el petróleo por una malla de alambre.

Asumiendo que el petróleo es apropiado para reciclar, es probable que las potenciales refinerías u otros usuarios no tengan una capacidad de almacenamiento extra o de procesamiento suficiente, por lo que se requerirá de inmediato un lugar de almacenamiento alternativo. Estaciones de deslastrado de tanques o de recepción de slops pueden ser apropiadas para estos fines, pero también tendrán una capacidad extra limitada. (ITOPF)

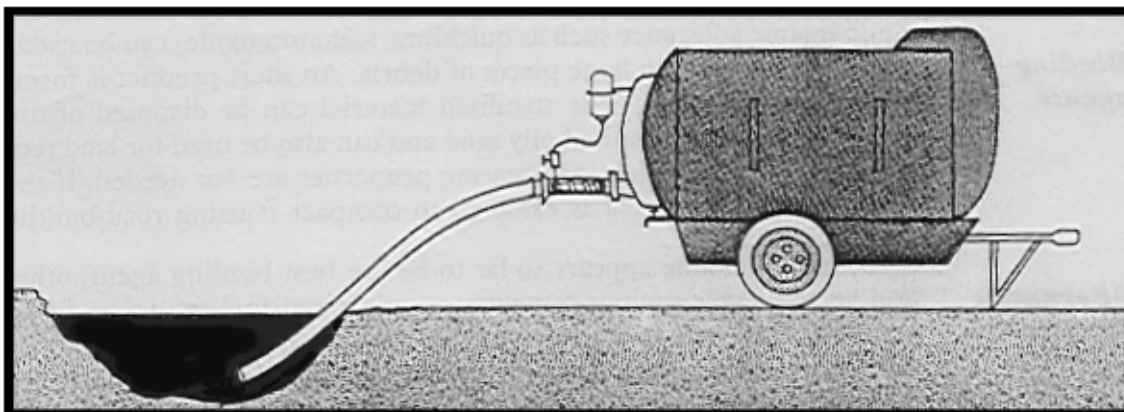
4.16.3.2. TECNICAS DE SEPARACION.

El petróleo recogido del agua es probable que sea más fácil de preparar para su procesamiento, ya que normalmente solo será necesario separar el agua. Esto se consigue normalmente por decantación, bien en dispositivos de recogida como camiones de vacío o bien en tanques portátiles, drenando el agua de la parte inferior del tanque.

La extracción del agua de las emulsiones es más difícil. Las emulsiones inestables normalmente pueden romperse calentándolas a unos

80 °C, (en climas cálidos a veces el calor del sol es suficiente), separando el agua por decantación. En el caso de emulsiones estables puede ser necesario el empleo de productos químicos conocidos como demulsificantes, que también tienden a disminuir la viscosidad de algunos petróleos, haciéndolos más fáciles de bombear. No hay ningún producto químico apropiado par todos los tipos de emulsión, por lo que puede ser necesario llevar a cabo pruebas de campo para determinar cual es el producto más efectivo y la dosis óptima. Las dosis típicas están entre el 0.1 % y el 0.5 % del volumen total tratado. El tratamiento da mejores resultados si se hace durante el trasiego de la emulsión desde dispositivo de recogida a un tanque o entre dos tanques, ya que de esta forma se asegura una buena mezcla, y además gracias a esto se necesita una menor cantidad de producto. El demulsificador puede inyectarse en la entrada de la bomba o directamente a la manguera de succión mediante un mezclador incorporado a la misma, (figura 38). Después de la separación la fase de agua contendrá la mayor parte del demulsificante y alrededor del 0.1 % de petróleo, y se debe ser cuidadoso a la hora de la eliminación.

Figura 38 - Tanque de vacío con un mezclador para aplicar el demulsificante incorporado a la manguera de succión.



Fuente: (ITOPF)

Experimentos recientes han demostrado que las emulsiones pueden romperse parcialmente mezclándolas con arena en equipos estándar tales como hormigoneras. Si una emulsión con un contenido de agua del 70 % se

mezcla con un 50 % de arena en volumen el contenido en agua puede reducirse a la mitad y devolverse a la playa junto con la arena.

A veces se puede recuperar el petróleo del material oleoso, para ello se lava dicho material con agua, a veces junto con algún disolvente tal como el gasoil para separar el petróleo. La mezcla resultante de agua y petróleo puede bombearse a un tanque y separarse por gravedad. La separación también puede conseguirse en un sistema cerrado utilizando agua o disolvente. Se han diseñado dispositivos basados en maquinaria no especializada que va desde hormigoneras para operaciones a pequeña escala a equipo de procesamiento de mineral para un tratamiento continuo a gran escala. Aunque estos sistemas han sido probados con éxito todavía no tienen gran aplicación en incidentes reales.

La limpieza de grandes cantidades de material oleoso en la misma playa puede ser menor que la limpieza del mismo con otros métodos que implican el transporte del material a otros lugares a cierta distancia de la costa para su eliminación. (ITOPF)

4.16.3.3. ELIMINACION DIRECTA.

Una opción adoptada cuando no es práctica la recuperación del petróleo es depositarlo en vertederos designados al efecto. Los materiales que se pretenden eliminar de esta forma deben tener un contenido de petróleo inferior al 20%. Los lugares escogidos deben estar alejados de terrenos con fisuras o porosos para evitar cualquier riesgo de contaminación de corrientes subterráneas, particularmente si se extrae el agua de las mismas para uso doméstico o industrial.

La eliminación del petróleo junto con la basura doméstica suele ser un método aceptable, aunque es probable que la degradación del petróleo sea lenta debido a la escasez de oxígeno. El petróleo tiende a ser absorbido por todos los tipos de basura doméstica, y la tendencia a salir es pequeña. La basura oleosa debe depositarse en la parte superior de al menos 4

metros de residuos domésticos, en capas de 0.1 metros de espesor o en zanjas de 0.5 metros de profundidad, para permitir que el drenaje del agua, y será cubierta con al menos 2 metros de residuos domésticos para evitar la salida de petróleo a la superficie al ser comprimido por el peso de la maquinaria propia del lugar. En un vertedero el volumen de residuos oleosos no debe ser superior al 1.5% del volumen total de basura.

En el caso de costas ligeramente contaminadas con escombros oleosos o bolas de alquitrán, a veces es posible enterrar el material recogido en la parte superior de la playa, bien alejado de la línea de pleamar, siempre y cuando esto no suponga un riesgo para la vegetación y se tenga la seguridad de que el petróleo no será desenterrado por la erosión natural de la playa. Una cobertura de 1 metro debería ser suficiente. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.16.3.4. ESTABILIZACION.

Una sustancia inorgánica como la cal viva por ejemplo, puede utilizarse para pegar los granos de arena entre sí, siempre y cuando no contenga escombros de gran tamaño. Se forma así un producto inerte que evita la salida del petróleo. El material tratado por este método puede utilizarse en la construcción de carreteras que no requieran materiales que soporten grandes cargas. Aunque la cal viva es el material que mejor resultado da, hay otros materiales como el cemento y las cenizas de carbón pulverizado que se utiliza como combustible en algunas centrales térmicas que pueden ser empleados. Existen en el mercado varios productos basados en los mismos materiales, pero que han sido tratados para mejorar su eficacia. Sin embargo la experiencia acumulada del empleo de los mismos en casos reales ha demostrado que no resultan tan rentables como los materiales sin tratar a partir de los que se fabrican.

Una ventaja de la cal viva sobre los otros materiales es que el calor generado al reaccionar con el agua reduce la viscosidad del petróleo, lo que facilita su absorción.

La viabilidad de la aplicación de esta técnica depende de un abundante suministro de material estabilizador desde un lugar próximo al lugar contaminado.

La cantidad óptima de agente estabilizador depende en primer lugar del contenido de agua de los residuos más que del contenido de petróleo y lo mejor es determinarla experimentalmente sobre el lugar. Típicamente la cantidad de cal viva está entre el 5% y el 20% del peso total del material que va a ser tratado. El tratamiento se puede llevar a cabo utilizando una máquina mezcladora o una técnica de estratificación. La primera ofrece mejor control de la calidad y ocupa una menor superficie, pero requiere el uso de equipo caro, aunque se pueden tratar cantidades pequeñas en un proceso por etapas utilizando hormigoneras. Si se dispone de suficiente espacio en un lugar próximo a la zona afectada por la contaminación probablemente la técnica más rentable es la de estratificación. Esta técnica consiste en extender los residuos oleosos en zanjas de 0.2 a 0.3 metros de profundidad y mezclar la cal mediante un mezclador pulverizador.

En ocasiones puede ser preferible realizar una primera mezcla en hoyos en el lugar contaminado, para hacer el material oleoso más fácil de transportar, el tratamiento final se realiza en instalaciones de recepción utilizando equipo especializado.

Inevitablemente esta técnica genera gran cantidad de polvo, que además es corrosivo, por lo que siempre que sea posible el lugar de tratamiento debe situarse de forma que la cantidad de polvo que llega a las propiedades colindantes sea la mínima posible. Así mismo el personal encargado de estas tareas debe llevar ropa protectora adecuada y máscaras para proteger la cara, ojos y pulmones. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.16.3.5. INCINERACION.

Cuando el petróleo se quema directamente sobre la tierra tiende a extenderse y a ser absorbido por el terreno, además casi siempre quedan residuos ya que es muy difícil conseguir una completa combustión del material. En lugares remotos donde el humo no represente un problema se puede quemar el petróleo en barriles o contenedores abiertos.

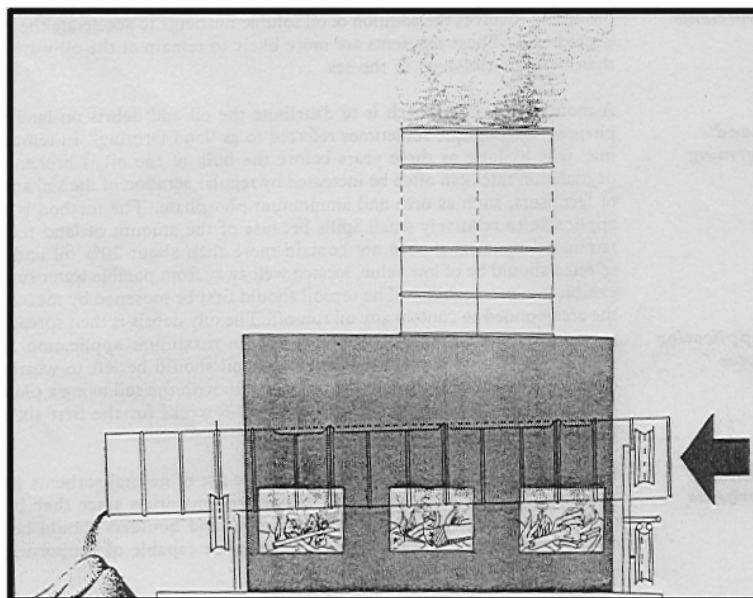
Se han diseñado varios incineradores portátiles que pueden generar las altas temperaturas necesarias para la total combustión de los residuos oleosos. Los hornos rotatorios y los de hogar abierto son los tipos más apropiados para petróleos con alto contenido de sólidos.

Como norma general los incineradores empleados para la basura doméstica no son apropiados, ya que los cloruros del agua de mar pueden causar corrosión.

Los incineradores industriales aunque probablemente toleran las sales, pueden no tener suficiente capacidad para hacerse cargo de la carga adicional creada por una gran cantidad de material oleoso, sin embargo si se dispone de almacenamiento a largo plazo puede ser un sistema aceptable.

Un sistema diseñado para lugares remotos consiste en un horno que se puede montar en el lugar contaminado con barriles de acero de 200 litros de capacidad, (figura 39). El material oleoso se introduce a mano por un lado del horno a un ritmo de aproximadamente 7 toneladas por hora, la arena y los guijarros se descargan por el otro lado ya limpios.

La combustión es autosostenida si el material contiene un 25% o más de petróleo y no más de un 50% de agua. La vida de la unidad puede ser corta, pero suficiente para tratar entre 100 y 600 toneladas de escombros contaminados.

Figura 39 – Horno de cilindro giratorio construido con barriles de acero de 200 litros.

Fuente: (THE INTERNATIONAL TANKER OWNER POLLUTION FEDERATION, 2012)

Se puede construir un pequeño incinerador portátil abriendo un barril de acero de 200 litros de capacidad por uno de los lados. Este dispositivo es útil para la incineración a pequeña escala de bolas de alquitrán y escombros. El aire se suministra tangencialmente mediante un compresor o ventilador y de esta forma se mantiene la combustión. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.16.3.6. ACCELERACION DE LA BIODEGRADACION.

El petróleo y los residuos oleosos se pueden eliminar a veces mediante procesos biológicos. La biodegradación del petróleo mediante microorganismos solo puede tener lugar en la interfase petróleo – agua, así que en tierra el petróleo debe mezclarse con un substrato húmedo. La velocidad de degradación depende de la temperatura y de la cantidad de oxígeno y nutrientes apropiados que contengan nitrógeno y fósforo. Algunos componentes del petróleo como las resinas y los asfaltos son resistentes a la biodegradación y, incluso después de períodos prolongados, más del 20% del material original puede seguir inafectado.

Hay varios productos en el mercado que contienen bacterias u otros microorganismos que degradan el petróleo. Algunos de estos productos son para aplicación directa en la costa, y han de utilizarse junto con nutrientes que sostienen el proceso de biodegradación. Los intentos de utilizar estos productos en derrames reales han tenido poco éxito, principalmente debido a que las concentraciones de petróleo son demasiado altas, a la carencia de una interfase petróleo – agua y la dificultad que supone mantener el nivel de nutrientes requerido en una costa con mareas. Un sistema más reciente y que parece prometedor emplea nutrientes solubles con el petróleo para acelerar el proceso de degradación natural. Estos nutrientes tienen mayores probabilidades de permanecer en la interfase petróleo – agua que de disolverse en el mar.

Un procedimiento más efectivo es distribuir el petróleo y los escombros en un lugar apartado destinado para el propósito. En climas templados pueden ser necesarios 3 años para que se degrade la mayor parte del petróleo, aunque la velocidad de degradación puede aumentarse aireando regularmente el suelo y/o añadiendo fertilizantes tales como urea o fosfato amónico. Este método solo se puede aplicar a relativamente pequeñas cantidades de residuos oleosos debido a la gran superficie de terreno que se necesita. Para que la técnica se pueda aplicar el material contaminado no debe contener más de un 20% de petróleo. El terreno sobre el cual se va a realizar el tratamiento idealmente será de bajo valor, estará alejado de suministros de agua potable y debe tener baja permeabilidad. El suelo debe, en primer lugar gradarse y se hará una zanja alrededor para recoger el petróleo que escurra. Entonces se extienden sobre la superficie los escombros oleosos, hasta una profundidad de aproximadamente 0.2 metros. No se aplicarán más de 400 toneladas por hectárea. Se deja que se degrade el material hasta que no es demasiado viscoso, entonces con un arado se mezcla con la tierra. Esto se debe repetir a intervalos de 4 a 6 semanas durante los primeros 6 meses, pero a partir de entonces se hace menos frecuentemente.

Si se va a utilizar esta técnica, es preferible que durante la limpieza se empleen sorbentes naturales en lugar de materiales sintéticos, ya que los primeros se degradan más rápidamente. Los escombros de gran tamaño como trozos de madera o grandes piedras deben separarse del resto. Una vez que la mayor parte del petróleo ha sido degradado el suelo puede sostener una amplia variedad de vegetación, incluyendo árboles e hierba.

Otro método de acelerar la biodegradación de pequeñas cantidades de material es utilizar las técnicas de formación de compost, particularmente si se han empleado sorbentes naturales como paja, plumas o turba durante la limpieza. La técnica se puede utilizar si los escombros contienen pequeñas cantidades de petróleo. El material oleoso se reparte en montones para facilitar la formación del compost. Puesto que los montones retienen el calor esta técnica es particularmente útil en climas fríos, donde la degradación mediante la técnica anterior es lenta. (DEPT., Exxon Corporation. Public Affair, 1978)

4.17. PLANES DE CONTINGENCIA.

Dado que los recursos disponibles son limitados, la protección o limpieza de todos los lugares a lo largo de un tramo de costa es imposible, por lo que es necesario dar prioridad a unas áreas sobre las otras, de acuerdo a su valor para la economía local, el medio ambiente o como lugar de esparcimiento.

Hay que determinar las fuentes del equipo y de la mano de obra. Se identificarán los contratistas que pueden facilitar camiones, tanques de vacío, palas mecánicas, unidades de calefacción de agua y otro equipo, y se establecerán también las bases para hacerse cargo de los costos que todo esto acarrea. Se identificarán también los proveedores de dispersante, y en lugares sujetos a un alto riesgo se almacenará una cantidad suficiente para hacer frente a un derrame por lo menos durante el tiempo necesario para el aprovisionamiento.

Aunque los hombres seleccionados para ser supervisores usualmente conocerán el litoral, necesitarán entrenamiento apropiado acerca de las técnicas y dirección de operaciones de limpieza. Se deben establecer comunicaciones por radio entre el coordinador de campo, las distintas áreas de trabajo y las personas responsables del almacenamiento y eliminación del material contaminado.

En mapas de la costa se deben marcar los distintos tipos de costa, los accesos a las playas y también aquellos lugares en los que puede utilizarse maquinaria pesada y los que no. Los mismos mapas podrían indicar también corrientes costeras y los vientos predominantes, las áreas de mayor prioridad, la localización de los recursos medioambientales sensibles y aquellas áreas en las que no se pueden utilizar dispersantes.

Los planes de eliminación del petróleo deben ser específicos para la zona, ya que dependerán en gran medida de las materias primas disponibles y de la disponibilidad de lugares apropiados.

Los planificadores deben determinar la capacidad de procesamiento de las refinerías locales y también la de cualquier contratista dedicado a la recepción de petróleos, así como las especificaciones acerca de la calidad del petróleo aceptable.

Es necesario determinar la disponibilidad y capacidad de instalaciones para el almacenamiento, y seleccionar lugares apropiados para hacer hoyos en caso de que sean necesarios.

Muchos de los problemas de eliminación del petróleo están relacionados con la cantidad de escombros que contiene. Una inspección del litoral a veces puede indicar los lugares donde es más probable que el petróleo alcance la costa y los puntos en los que se recogerán escombros. Teniendo esta información a veces es posible retirar los escombros o al menos parte de ellos antes de que el petróleo llegue a tierra, o bien hacer un esfuerzo con la ayuda de barreras para desviar el petróleo hacia otras áreas.

Se deben hacer ejercicios prácticos del plan de contingencia en conjunto periódicamente, no solamente para probarlos aspectos organizativos del mismo, sino también para asegurarse de que el equipo y otros recursos identificados en el plan son realmente disponibles y están en buenas condiciones. (ORANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, 1995)

5. CONCLUSIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

PRIMERA: El presente trabajo da una visión de todos aquellos factores y circunstancias que afectan y que crean los vertidos de hidrocarburos al mar.

SEGUNDA: Los vertidos producidos por derrames desde buques, son menores en proporción a otro tipo de vertidos que se producen en el mar, como pueden ser los producidos por las diferentes industrias situadas en tierra o las pequeñas fugas naturales que se pueden producir en diferentes yacimientos de hidrocarburos, etc...

TERCERA: Los diferentes hidrocarburos son compuestos diferenciados entre si y que por lo tanto, se comportaran de manera diferente en el mar, dicho comportamiento es muy importante y lo debemos de tener en cuenta a la hora de idear y planificar cualquiera de las estrategias posibles para combatir los derrames por hidrocarburos.

CUARTA: La contención y recuperación de los hidrocarburos son dos medidas fundamentales que realizamos a la hora de lucha contra los derrames de hidrocarburos. Normalmente atendemos en primer lugar a la contención del derrame para luego pasar a la recuperación de los hidrocarburos derramados y de los residuos que se producen cuando el petróleo llega a la costa y se mezcla con arena, piedras, maderas, etc...

QUINTA: Para la contención de hidrocarburos se emplean diferentes tipos de barreras. Existen principalmente dos tipos:

- Comerciales: de las cuales existen diferentes tipos y modelos, los cuales se han descrito a lo largo del apartado 4.11 del presente trabajo.

- Improvisadas, las cuales se realizan con aquellos materiales de los que dispongamos en ese momento las cuales ya han demostrado su utilidad en casos tan conocidos como el del buque “Prestige” frente a las costas Gallegas.

SEXTA: Las barreras deben ser de fácil empleo, ya que no siempre el personal que las maneja esta lo suficientemente preparado para su utilización. Una vez colocadas las barreras tenemos que mantener una correcta señalización de las mismas, sobre todo nocturna, y un adecuado mantenimiento de ellas.

SEPTIMA: Los skimmers son mas apropiados para su uso en zonas donde el mar este tranquilo y en perfectas condiciones, como puertos o radas, para su empleo en alta mar se usaran combinados con las barreras y colocados a bordo de grandes remolcadores o buques anticontaminación especialmente diseñados para ello.

OCTAVA: La contención del derrame se hace de mejor manera cuanto mas cerca de la fuente del derrame se realiza, en algunos casos y para preservar algunas zonas de especial sensibilidad medioambiental, podemos intentar el desvío de la mancha mediante el empleo de barreras y teniendo en cuenta las diferentes corrientes existentes en la zona, y teniendo cuidado de no desviar la mancha a zonas donde el habitat costero es mas sensible y por lo tanto el daño producido es de mayor grave .

NOVENA: La acción de las olas sobre las manchas de petróleo facilita la dispersión natural del mismo en pequeñas gotas, de tal manera que se reduce la concentración del petróleo y se facilita la eventual degradación del mismo por microorganismos, para acelerar todo este proceso, es por lo que empleamos los dispersantes químicos.

DECIMA: Una buena organización y coordinación de los trabajos, es fundamental para alcanzar el éxito.

6. BIBLIOGRAFÍA.

6.1. Bibliografía

- ARGENTINA, Prefectura Naval. *Prefectura Naval Argentina*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.prefectura naval.gov.ar/web/es/html/dpma_convenios_internacionales.php" http://www.prefectura naval.gov.ar/web/es/html/dpma_convenios_internacionales.php >
- BOWN, Jane. *VisonBeta*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://matiascallone.blogspot.com.es/2008/07/el-da-que-incendiaron-el-mar.html" http://matiascallone.blogspot.com.es/2008/07/el-da-que-incendiaron-el-mar.html >
- CHILE, Ministerio de Energia Gobierno de. *Ministerio de Energia Gobierno de Chile*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/la_energia/Hidrocarburos.html" http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/la_energia/Hidrocarburos.html >
- D. W. ABECASSIS, Richard L. Jarashow. 1985. *Oil pollution from ships: international, United Kingdom and United States law and practice*. Stevens.
- DABIC, Markus Gómez. *Garrigues*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.garrigues.com/es/Publicaciones/Articulos/Paginas/Codigo-Polar-retos-para-el-sector-naval.aspx" http://www.garrigues.com/es/Publicaciones/Articulos/Paginas/Codigo-Polar-retos-para-el-sector-naval.aspx >
- DEPT., Exxon Corporation. Public Affair. 1978. *Fate and effects of oil in the sea*. The Corporation.
- ENVIROMENTAL, Spilldam. *http://www.spilldam.com/*. [online].
- EXXONMOBILE. 2008. *Oil Spill Response Flot Manual*.
- HUERTAS, Ángeles. *eldiario.es*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.eldiario.es/andalucia/Prestige-deberia-completamente-limpio_0_196680574.html" http://www.eldiario.es/andalucia/Prestige-deberia-completamente-limpio_0_196680574.html >
- ITOPF. *Eliminación de hidrocarburos y desechos*. Londres.
- ITOPF. *Uso de dispersantes para el tratamiento de derrames de hidrocarburos*. Londres.

- LAMOR. *Lamor: Environment solutions*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.lamor.com/es/productos/sistemas-skimmer-tamano-grande/sistemas-integrados-de-recuperacion-de-petroleo-lors/" http://www.lamor.com/es/productos/sistemas-skimmer-tamano-grande/sistemas-integrados-de-recuperacion-de-petroleo-lors/ >
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. *Costas y medio marino*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/prevencion_y_lucha.aspx" www.magrama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/plan-ribera/contaminacion-marina-accidental/prevencion_y_lucha.aspx >
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, Energía y Turismo. *Ministerio de Industria, Energía y Turismo*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Carburantes/Paginas/especificaciones.aspx" http://www.minetur.gob.es/energia/petroleo/Carburantes/Paginas/especificaciones.aspx >
- NATUREDUCA. *Natureduca*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "www.natureduca.com/tecno_glosnav_a06.php" www.natureduca.com/tecno_glosnav_a06.php >
- OMI. *Lavanguardia.es*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.lavanguardia.com/natural/20141127/54420745024/cambio-climatico-codigo-polar-navegacion-maritima.html" http://www.lavanguardia.com/natural/20141127/54420745024/cambio-climatico-codigo-polar-navegacion-maritima.html >
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. 1995. *Manual in oil pollution: Contingency planning*. OMI.
- ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL. 2011. *Convenio MARPOL Edición refundida 2011*. Londres: OMI.
- ORGANIZACIÓN MARITIMA INTERNACIONAL. 2011. *Manual sobre la contaminación ocasionada por hidrocarburos. Parte I – Prevención*. Londres: OMI.
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. 1998. *Manual in oil pollution*. Londres: OMI.
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. 2012. *Manual OMI/PNUMA sobre la Evaluación de los daños ocasionados al medio ambiente y su rehabilitación tras un derrame de hidrocarburos en la mar*. Londres: OMI.

- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. *IMO.org*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/polar/Paginas/Default.aspx" http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/polar/Paginas/Default.aspx >
- ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL. *Manual sobre la contaminación producida por hidrocarburos*. Londres: OMI.
- RESERVA, La. *La reserva*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.lareserva.com/home/peores_derrames_petroleo" http://www.lareserva.com/home/peores_derrames_petroleo >
- SCHULZE, Robert. 1998. *Oil spill response performance review of skimmers*. West Conshohocken.
- TEBRAFILTER. *Tebrafilter: Ingeniería y filtración*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://tebrafilter.com/tipos-de-barreras/" http://tebrafilter.com/tipos-de-barreras/ >
- TECHNOLOGY, Markleen: Oil spill. *Markleen*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.markleen.com/es/productos/uniboom-c-barreras-de-contencion-planas-de-flotacion-solida/" http://www.markleen.com/es/productos/uniboom-c-barreras-de-contencion-planas-de-flotacion-solida/ >
- THE INTERNATIONAL TANKER OWNER POLLUTION FEDERATION. 2012. *Response to Marine Oil Spills*. The International Tanker Owner Pollution Federation.
- TOXIPEDIA. *Toxipedia: Connecting science and people*. [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Torrey+Canyon" http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Torrey+Canyon >
- VALDES, Osvaldo M. Casas. *¿Qué hacer ante derrames de hidrocarburos al mar?* [online]. Available from World Wide Web: < HYPERLINK "http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia52/HTML/Articulo07.htm" www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia52/HTML/Articulo07.htm >

RESPONSABILIDAD DEL TRABAJO

AVISO:

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Máster de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Máster así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.