

Curso de Introducción a la Respuesta de Derrames Accidentales de Petróleo y Ejercicios de Aplicación

IAPG-Colección



06A.62B.16 D448 1996 0011237

*Características y comportamiento de
un derrame de petróleo*

INSTITUTO ARGENTINO DEL PETROLEO	
BIBLIOTECA	
Nº INVENTARIO	11237
MATERIA	
UBICACION	Est. CONGRESOS

Proceso Básico. Características y Comportamiento de un Derrame de Petróleo

Ing. J. Marini
(ESSO)

Cap. N. Numerosky
(IAPG)

Buenos Aires
26 al 29 de Noviembre de 1996



EFFECTO DE LAS CORRIENTES Y DEL VIENTO EN UN DERRAME DE PETRÓLEO PRONÓSTICO - PROCESO FÍSICO-QUÍMICO

El derrame de hidrocarburos en el agua debe ser analizado caso por caso, para adoptar la respuesta a las condiciones particulares que correspondan. Ningún derrame es igual a otro. El tipo de producto derramado, el lugar en que ocurre, las condiciones del agua: mar abierto, sobre la costa en un estuario o en un río; las características climáticas, temperatura y viento especialmente; la presencia de zonas ecológicamente sensitivas, etc., son algunas de las informaciones que ayudan a definir el tipo de respuesta más conveniente.

La importancia que a escala mundial se le presta al tema de lo que ocurrirá con una mancha en las horas siguientes al derrame, se debe especialmente a la experiencia recogida al combatir los grandes derrames que han tenido lugar en los últimos años, que han dado las pautas sobre el crecimiento de los costos y de los problemas asociados con la contaminación, en función del tiempo transcurrido entre el momento del siniestro y el comienzo de las tareas de contención, recolección y limpieza. Cálculos efectuados en EEUU indican que si las tareas mencionadas comienzan una hora después de ocurrido el derrame, el costo oscila en 250 dólares por barril derramado; después de varias horas el costo ya es de 1.000 dólares por barril. Como dato ilustrativo debe tenerse en cuenta que un metro cúbico de petróleo puede cubrir en un solo día un área de 5 a 13 km².

Para una adecuada acción de respuesta y ataque a un derrame planificada desde una sala de control en la que se encuentran el comandante en la Escena y sus colaboradores, donde se deciden escalonadamente las distintas acciones a tomar por los grupos de tareas, se debe tener conocimiento de las técnicas de respuesta y con los elementos de cálculo para poder prever en qué dirección se moverá la mancha, con qué velocidad, qué zonas de la costa deben ser protegidas, a qué hora llegará a un lugar crítico y por consiguiente, de cuanto tiempo se dispone para llegar allí y organizar la defensa adecuada.

Lógicamente, el desastre tendrá mayor consecuencia si las horas inmediatas al derrame se emplean en organizar defensas en áreas costeras a las cuales el derrame no llegará, encontrándose en cambio que ha invadido zonas no previstas, que se hallan desprotegidas por completo.

También es menester tener algunas nociones básicas sobre las modificaciones físico-químicas que afectan al hidrocarburo vertido en las horas subsiguientes y que pueden variar o no la decisión de emplear ciertas técnicas de ataque.

Examinemos brevemente los cambios que ocurren en el seno del hidrocarburo al quedar expuesto a los efectos del viento, de las radiaciones solares, de las corrientes y de las temperaturas del aire como el de la masa acuosa sobre la que se extiende.

PROPIEDADES DEL HIDROCARBURO

Tipos de hidrocarburo

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

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



Gravedad específica

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

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

Características de destilación

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

Viscosidad

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

Punto de fluidez

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

También debemos tener en cuenta que las características de los hidrocarburos varían mucho según su origen. Por su densidad o gravedad específica pueden ser pesados, medianos o livianos, lo cual tendrá una gran influencia en su grado de dispersión y en el porcentaje de su volumen que se evaporará en las primeras horas.

Por su composición química puede ser más rico en compuestos aromáticos, nafténicos o asfálticos, lo cual incidirá en su comportamiento y en su toxicidad, por ejemplo en mayor grado en los primeros, por ser los más solubles.

Si tiene un elevado contenido de parafinas, cabe esperar la formación de emulsiones con el agua, de muchas estabilidad y de difícil manejo.

Por su contenido de azufre pueden ser agrios o dulces, variando por lo tanto su corrosividad y su ataque a diversos elementos.

De estas consideraciones se desprende que una de las primeras medidas que se deben adoptar en caso de un siniestro de esta naturaleza es determinar qué tipo de hidrocarburo es el que se ha derramado y cuáles son sus características principales. Así se podrá anticipar su régimen de evaporación, la tendencia a formar emulsiones, etc.

PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS QUE TIENEN LUGAR DESPUÉS DE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS

Los diferentes procesos que afectan al petróleo una vez que entra en contacto con el agua, pueden resumirse en los siguientes:

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1) Expansión/propagación | 6) Emulsificación |
| 2) Deriva | 7) Sedimentación |
| 3) Evaporación | 8) Biodegradación |
| 4) Disolución | 9) Foto-oxidación |
| 5) Dispersión | |

El tiempo y la magnitud de cada proceso varía con el tipo de hidrocarburo y con las condiciones físicas y climáticas del área donde se produjo el vertimiento, tales como temperaturas del agua y del ambiente, intensidad y dirección del viento, magnitud del oleaje, etc.

Pasaremos una rápida revista a cada uno de estos procesos, deteniéndonos en algunos puntos que pueden ser de interés práctico y que han sido estudiados recientemente.

La siguiente tabla servirá para aclarar algunos conceptos, en función del factor tiempo a partir del momento en que se produce el derrame, la duración de cada fenómeno y el momento en que comienza.

DURACIÓN DE LOS PROCESOS QUE AFECTAN AL PETRÓLEO EN EL AGUA

Proceso	Comienzo	Duración
Expansión/propagación	Instantáneo	Una semana
Deriva	Instantáneo	Más de un año
Evaporación	A los pocos minutos	Dos días
Disolución	Idem	Un día
Dispersión	A las pocas horas	Un día
Emulsificación	Idem	Uno o dos días
Sedimentación	Al segundo día	Más de un año
Biodegradación	A los pocos días	Idem
Foto-oxidación	A las diez horas	Una semana o más

1. EXPANSIÓN/PROPAGACIÓN

Es el proceso que comienza inmediatamente después de producido un derrame, extendiéndose el producto rápidamente sobre la superficie del agua.

La fuerza que impulsa el esparcimiento inicial del hidrocarburo es su peso. De allí que un derrame grande instantáneo se esparcirá más rápidamente que una descarga lenta. Este esparcimiento, ayudado por la gravedad, es reemplazado rápidamente por efectos de la tensión superficial del agua y del petróleo, siendo mayor la del agua. Este fenómeno tiene lugar aún con la ausencia de viento y de corrientes marinas. La velocidad de propagación aumenta con la mayor diferencia entre ambas tensiones; además dicho aumento de velocidad de propagación es favorecida con los fenómenos atmosféricos que reducen la tensión superficial del hidrocarburo, como por ejemplo un aumento de temperatura. En forma inversa, un aumento de la viscosidad o de la densidad, retardarán la expansión de la mancha. Es debido a ello que después de los dos primeros días en que por evaporación el petróleo se hace más denso y viscoso, la expansión disminuye sensiblemente. Incluso en los casos en que se forman emulsiones que aumentan la viscosidad de la mancha, la expansión prácticamente se detiene.

Los hidrocarburos con la alta viscosidad sólo se esparcen lentamente y aquellos derramados a temperaturas por debajo de su punto de fluidez casi no se esparcen. Después de unas pocas horas, la mancha comienza a quebrarse y forma franjas estrechas o "hileras" paralelas a la dirección del viento.

En cuanto a la máxima dispersión que puede alcanzar una cierta cantidad de petróleo derramada en condiciones ambientales normales (temperatura del agua 12 grados centígrados, viento de 12 nudos y velocidad de corriente no mayor de un nudo) se determinó experimentalmente en el Mar del Norte que una tonelada de petróleo liviano, de 37 grados API y después de 10 horas, puede cubrir una superficie de unos 5/6 km²; otras determinaciones efectuadas en zonas más cálidas indican que una tonelada de petróleo liviano puede llegar a cubrir una superficie de hasta 13 km².

Con respecto a la incidencia del viento, se ha podido comprobar que la velocidad de propagación de una mancha de petróleo aumenta en un 3.4% de su propia velocidad.

2. DERIVA

Ver Predicción del Movimiento de la Mancha - Página 10.

3. EVAPORACIÓN

Este fenómeno tiene gran relevancia, depende de la concentración de los componentes volátiles del petróleo, como así también de las temperaturas del agua y del ambiente, velocidad del viento, grado de expansión superficial de la mancha, etc. Este proceso es muy intenso en las primeras horas para ir atenuándose posteriormente, a medida que las fracciones livianas se van agotando.

PETRÓLEO EVAPORADO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

Tiempo en horas	% Evaporado		
	10°C	21°C	38°C
5	16.5	19.5	23.5
10	19.5	22.5	27.0
20	21.5	25.0	30.0
30	23.0	27.0	32.0
40	24.0	28.0	33.0

Según el tipo de petróleo, se evapora en el término de un día entre un 25 y un 30% de su volumen total.

En el caso de la gasolina a una temperatura de 20°C, producido un derrame se evaporará un 50% en sólo 3-4 hs. Esto nos indica que en las primeras horas posteriores a un derrame hay que extremar las precauciones con el manipuleo de posibles fuentes de ignición, puesto que el riesgo de incendio es muy grande. Pero a partir del segundo día es muy remota la posibilidad de que el derrame entre en ignición por haber desaparecido los componentes de bajo punto de inflamación.

Es importante destacar que los compuestos aromáticos más tóxicos como el benceno, están entre los que se evaporan en el primer día, casi por completo.

A medida que se evaporan las fracciones livianas, el petróleo se vuelve más pesado, tomando la forma de "tar" o asfalto, aumentando su tendencia a formar emulsiones.

Conviene recordar que a mayor propagación o extensión de la mancha, mayor será la evaporación.

El mar picado, la alta velocidad del viento y las temperaturas cálidas también aumentan la tasa de evaporación. En términos generales aquellos componentes con un punto de ebullición por debajo de 200°C se evaporarán dentro de un período de 24 horas en condiciones templadas.

Cuando se derraman hidrocarburos extremadamente volátiles en áreas confinadas, puede existir un riesgo de incendio y explosión. La inflamabilidad del hidrocarburo a menudo ha hecho pensar en la posibilidad de prender fuego las manchas en la superficie del mar. Aunque frecuentemente se pueden prender las manchas, especialmente de hidrocarburo recién derramado, es difícil mantener la combustión aún cuando se utilicen agentes que actúen como mecha, debido al poco grosor de la capa de hidrocarburo y al efecto refrigerante de la capa de agua por debajo. La aplicación de nuevas técnicas de quemado en el lugar, ayudarán al desarrollo de esta estrategia de respuesta.

4. DISOLUCIÓN

Este fenómeno comienza a los pocos minutos de producido el vertimiento, pero a diferencia de otras sustancias, en el caso del petróleo tiene muy poca relevancia dado su poca solubilidad en agua.

La tasa y grado al cual un hidrocarburo se disuelve depende de su composición, grado de esparcimiento, temperatura del agua, turbulencia y grado de dispersión. Los componentes pesados del hidrocarburo se hacen virtualmente insolubles en el agua de mar, mientras que los componentes livianos, particularmente los hidrocarburos aromáticos tales como el benceno y tolueno, son altamente solubles.

Sin embargo, estos componentes también son los más volátiles por lo que se evaporan rápidamente, generalmente unas 10-1000 veces más rápido que por disolución. De ahí que las concentraciones de hidrocarburos disueltos raras veces exceden una parte por millón y la disolución no hace una contribución significativa en la remoción del crudo de la superficie marina.

Se han efectuado cuidadosas determinaciones en las áreas afectadas por el vertimiento producido por el buque Amoco Cádiz, que naufragó frente a las costas de Bretaña (Francia) en marzo de 1978, arrojando 223.000 toneladas de crudo iraní y saudiarabí, ambos de tipo liviano. Los estudios efectuados en la columna de agua, debajo de la superficie cubierta con petróleo, arrojó una concentración que variaba entre un mínimo de 20 y un máximo de 150 microgramos por litro, o sea por debajo de 0.15 PPM, lo cual es un valor insignificante.

Esto indica que a menos que existan condiciones meteorológicas desfavorables como vientos y oleaje muy fuertes, el ataque se debe concentrar en el petróleo superficial, evitando que llegue a las costas, donde su acción sobre las aves y toda forma de vida en la faja costera será muy nociva.

5. DISPERSIÓN

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

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

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

6. EMULSIFICACIÓN

Es un fenómeno que agrava las consecuencias de un vertimiento y consiste en la formación de interfases muy estables entre gotas de hidrocarburo suspendidas en agua, y en otros casos, gotas de agua suspendidas en petróleo.

Dos ejemplos nos pueden ilustrar mejor sobre la diferencia entre ambos tipos de emulsiones: la leche es una emulsión de gotas de grasa en agua, mientras que la manteca es una emulsión de gotas de agua en grasa.

Las emulsiones de petróleo en agua son formadas por la agitación de las olas y son favorecidas por la presencia de ciertos surfactantes. A menudo son inestables y terminan agrupándose y formando manchas o glóbulos de tamaño variable. Otras veces se adhieren a partículas en suspensión o plancton y finalmente se hunden. La contribución a la desaparición de un derrame por acción de este fenómeno puede ser muy importante cuando hay mucha arena en suspensión, dado que las gotas suspendidas de petróleo irán precipitando al fondo del mar, adheridas a los granos de arena.

Por el contrario, las emulsiones de agua suspendidas en el petróleo son muy estables. Pueden formar gruesas capas en la superficie del mar de un espesor de 10 a 30 cm, conteniendo de un 60 a un 80% de agua en suspensión, formando una espuma espesa, llamada comúnmente "mousse de chocolate" y que puede permanecer largo tiempo sin desintegrarse.

Estas emulsiones a menudo son extremadamente viscosas y como resultado de esto, los demás procesos que harían que el hidrocarburo se disipen, se ven retardados. Esta es la principal razón para la persistencia de los crudos medianos y pesados en la superficie del mar. La estabilidad de estas emulsiones depende de la concentración de asfaltenos. Los hidrocarburos con contenido de asfaltenos mayores de 0.5% tienden a formar estas emulsiones estables, que como ya se mencionó, se denominan "mousse de chocolate". Esta origina las tristemente célebres "mareas negras", que llegando a las costas y al retirarse la marea, dejan una gruesa capa espesa y pegajosa y que causa estragos a las diversas formas de vida que existen normalmente en las zonas de intermareas, (que son las comprendidas entre los niveles máximo y mínimo de mareas en cada zona costera), donde existe una muy variada y valiosa vida animal y vegetal.

Este tipo de emulsiones puede permanecer más de un año sin romperse, y cuando llega a las costas, lo más aconsejable es su remoción en forma mecánica. Hay que descartar en esa circunstancia el uso de dispersantes químicos.

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

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

7. SEDIMENTACIÓN

Algunos hidrocarburos residuales pesados tienen gravedades específicas mayores de 1, por lo que se hundirán en aguas dulces o salobres. Sin embargo, muy pocos crudos son lo suficientemente densos, o se modifican a tal punto que sus residuos se hundan en agua de mar. El hundimiento por lo general se produce por la adhesión al hidrocarburo de partículas de sedimento o materia orgánica. Algunos crudos pesados, tales como los producidos en Venezuela así como la mayoría de los combustibles pesados y las emulsiones de agua en hidrocarburo, tienen gravedades específicas cercanas a 1, y de ahí que requieran de muy poca cantidad de material particulado para exceder la gravedad específica del agua de mar (cerca de 1.025). También es de esperarse que la temperatura afecte el comportamiento de un hidrocarburo. Sobre un rango de 10°C de temperatura, la densidad del agua de mar cambiará en 0.25% mientras que las densidades del hidrocarburo cambian en un 0.5%. Un hidrocarburo que apenas flote durante el día puede sumergirse a medida que la temperatura baja y luego resurgir en agua más cálida (caso derrame que impactó las costas de la Isla Madeira).

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

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

8. BIODEGRADACIÓN

Este proceso es muy importante y constituye una de las formas más conocidas de autodepuración del medio ambiente marino, y es lógico que así sea si tenemos en cuenta lo siguiente:

El petróleo ha estado presente en el mar desde hace miles de años, ya sea por afloramientos naturales, como la Laguna de la Brea en la Isla de Trinidad, que durante milenios ha deslizado toneladas de pitch, que es un residuo pesado de petróleo, hacia el Mar Caribe; o como resultado de diversos usos que del petróleo se hacía en las más remota antigüedad. En efecto, unos 4.000 años antes de JC en la Mesopotamia, los habitantes de Kish y de Ur usaban asfalto para recubrir los botes y hacerlos impermeables.

Plutarco menciona una corriente de "nafta" que corría hacia el mar en Kirkuk, que a menudo se incendiaba, lo cual intrigaba sobremanera a Alejandro Magno. Muy conocidos también eran los afloramientos de petróleo pesado en el Mar de Galilea y en el Mar Muerto; de allí se llevaba a Egipto, por ejemplo, donde tenía numerosos usos.

Lógicamente la naturaleza desarrolló los medios para mantener el equilibrio ecológico con un producto que se incorporaba periódicamente en el medio ambiente marino. Y es así que existen unas 100 variedades de bacterias, hongos y mohos que se alimentan de petróleo, usándolo como fuente energética, metabolizándolo en otros compuestos tales como proteínas o simplemente degradándolo a anhídrido carbónico y agua.

Estos microorganismos están ampliamente distribuidos en el mar aunque tienden a ser más abundantes en aguas crónicamente contaminadas tales como las que reciben descargas industriales o aguas de desagües no tratadas.

Los principales factores que afectan las tasas de biodegradación son la temperatura y la disponibilidad de oxígeno y nutrientes, principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo. Cada tipo de microorganismo tiende a degradar un grupo específico de hidrocarburos y mientras que existe un rango de bacterias que entre ellas pueden degradar la mayor parte de la amplia variedad de compuestos en el petróleo crudo, algunos componentes son resistentes al ataque. Aunque los microorganismos no están siempre presentes en cantidades suficientes en mar abierto, cuando existen las condiciones adecuadas se multiplican rápidamente hasta que el proceso se ve limitado por la deficiencia de oxígeno o nutrientes.

El equilibrio se logra con una cierta concentración de petróleo en el mar y este nivel máximo constituye la capacidad de autodepuración. Por encima de este nivel se produce la contaminación, que en esencia consiste en la rotura de un equilibrio biológico natural, comenzando un proceso de acumulación irreversible de algún producto en un medio determinado.

La presencia de bacterias destructoras de petróleo, como ya se puntualizó, es más abundante en zonas en que han existido restos de dicho producto desde hace mucho tiempo. También tienden a multiplicarse cuando ocurre algún derrame.

Después del vertimiento del Amoco Cádiz ya mencionado (Gran Bretaña), se efectuó un recuento bacteriano en sedimentos costeros, en lugares impregnados con petróleo y en otros que no lo fueron, en la misma zona. El resultado se muestra en el cuadro siguiente:

<u>Lugar</u>	<u>Bacterias/Gr. (Total)</u>	<u>Bacterias que utilizan hidrocarburos</u>
Ille Grande (con petróleo)	630.000.000	14.000.000
Ille Grande (sin petróleo)	96.000.000	520



Indudablemente es bien visible la multiplicación de bacterias que tuvo lugar posteriormente al derrame de aquellas especies que se alimentan de hidrocarburos.

Se ha demostrado que esta alimentación es de tipo selectivo, ya que prefieren los compuestos de tipo parafínico, o sea los llamados de cadena lineal. En cambio es mucho más lenta la degradación de los compuestos aromáticos de cadena cerrada.

Debido a que los microorganismos viven en agua de mar, la biodegradación puede ocurrir en la interfase hidrocarburo/agua. El hidrocarburo atrapado en las costas por encima de la línea de marea alta se degrada por lo tanto muy lentamente y puede persistir durante muchos años. En el mar, la creación de gotas de hidrocarburo, bien sea por dispersión natural o química, aumenta el área interfacial disponible para la actividad biológica y por ende aumenta la degradación. La diversidad de factores que influyen sobre la biodegradación hace difícil predecir la tasa de remoción de hidrocarburo. En aguas templadas se han reportado tasas diarias entre 0.001 y 0.03 gramos por tonelada de agua de mar, pero pueden alcanzar hasta 0.5-60 gramos por tonelada de agua de mar en áreas crónicamente contaminadas por hidrocarburo. Sin embargo, una vez que el hidrocarburo es incorporado a los sedimentos, las tasas de degradación se reducen enormemente debido a la falta de oxígeno y nutrientes.

En el caso del Amoco Cádiz, se calcula que el efecto total de biodegradación en toda el área afectada alcanzó las 10.000 toneladas de petróleo por año, lo cual constituye una cifra realmente importante.

9. FOTO-OXIDACIÓN

Consiste en la combinación de distintos hidrocarburos con el oxígeno, para originar productos que a menudo son solubles en agua, por lo cual contribuyen a disipar las manchas de petróleo. Es un proceso mucho más lento que los anteriores y sólo afecta al producto que se encuentra en la superficie y que está en contacto con el oxígeno del aire. Es catalizado por la presencia de ciertos metales pesados en el petróleo, como en vanadio. En cambio la reacción es retrasada por la presencia de azufre.

Las radiaciones ultravioletas del sol favorecen el proceso de oxidación, llamándosela en estos casos foto-oxidación.

En las condiciones más favorables, con el petróleo extendido en una fina película y con una intensidad de luz normal, la oxidación puede resultar en la eliminación de un 0.1% por día del producto derramado.

La oxidación de capas gruesas de hidrocarburos de alta viscosidad o emulsiones de agua en hidrocarburos es más probable que resulte en su persistencia y no su degradación. Esto es debido a la formación de compuestos de alto peso molecular que forman una capa protectora externa. Por ejemplo, los depósitos de alquitrán, por lo general consisten de una costra externa sólida combinada con partículas de sedimento que rodean una parte interior suave, menos meteorizada.

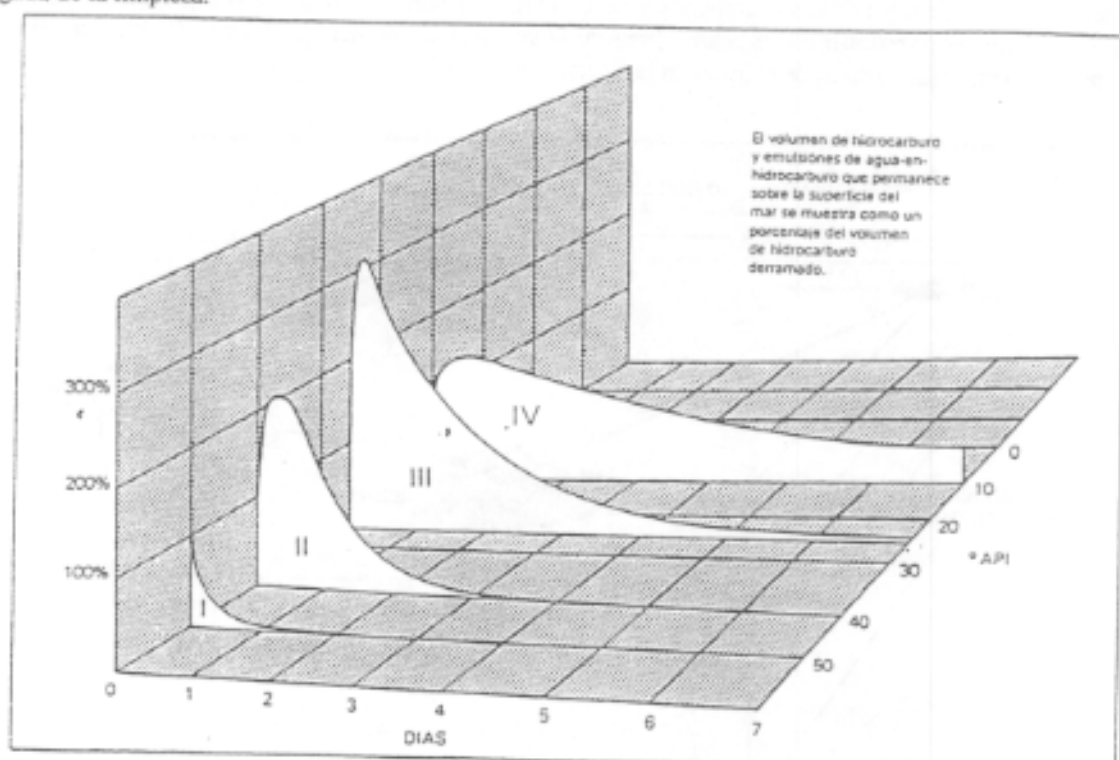
PROCESOS COMBINADOS

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

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

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

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



Tasa de remoción de la superficie del mar de los hidrocarburos pertenecientes a los Grupos I al IV según sus propiedades físicas.

En una apretada síntesis de todo lo expuesto hasta ahora, podemos decir que un derrame de hidrocarburos produce un primer efecto instantáneo: la interrupción brusca de la microcapa superficial que es la interfase entre el agua y la atmósfera, donde se desarrollan los fenómenos de aireación de la capa superior de la masa acuosa y de la generación de oxígeno y fijación de anhídrido carbónico, a través de la fotosíntesis llevada a cabo por las algas y otros materiales planctónicos. Al mismo tiempo, todo el episodio tiende a agravarse, ya que al formarse la película oleosa, refleja gran parte de la luz que debiera penetrar para permitir la realización del fenómeno señalado, atenuando además el pasaje de aquella que no ha sido reflejada.

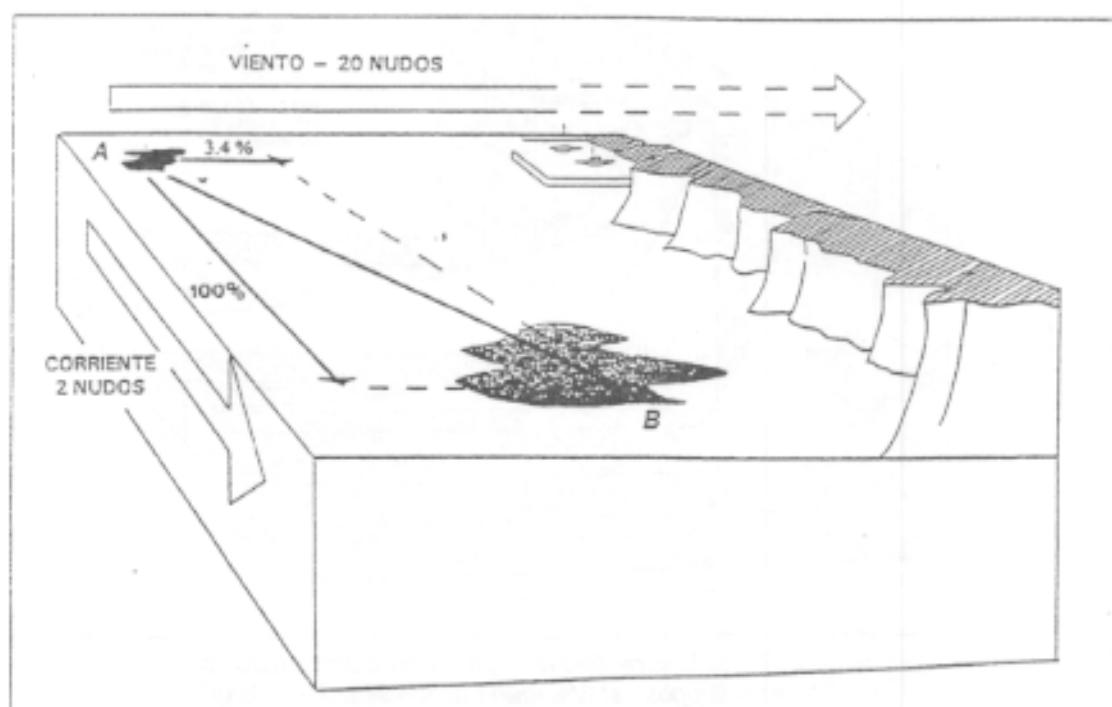
Como consecuencia, al faltar luz, falta también oxígeno, lo que ocasiona la muerte de los microscópicos habitantes del fito y zooplancton, muriendo también, muriendo también por inanición los que de ellos se alimentaban. Como vemos y sin quererlo casi, la descripción de los procesos apuntados nos lleva a la necesidad de crear un estado de conciencia universal para la conservación del medio ambiente, concepto totalmente integrado a la ecología.

PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE LA MANCHA

2. DERIVA

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

Se ha conseguido de manera empírica que el hidrocarburo flotante se moverá con el viento a aproximadamente 3.4% de la velocidad de éste. Con la presencia de corrientes superficiales, se superpondrá al movimiento ocasionado por el viento, un movimiento adicional del hidrocarburo equivalente a la fuerza de la corriente. Cerca de la costa, deberán tomarse en consideración la fuerza y dirección de cualesquiera corrientes de marea, pero mar afuera su contribución por lo general es menos significativa porque éstas son cíclicas y tienden a anularse con el tiempo. De allí que, con un conocimiento de los vientos u corrientes prevaletientes, es posible predecir la tasa y dirección del movimiento del hidrocarburo flotante desde una posición conocida, tal como se muestra en la figura.



La influencia del 3.4% de la velocidad del viento combinado con el 100% de la velocidad de la corriente resulta en el movimiento del hidrocarburo de A a B.

APLICACIÓN DE LAS REGLAS QUE DETERMINAN EL COMPORTAMIENTO DE UNA MANCHA

Tal como se mencionó, la mancha se moverá en determinadas direcciones como resultado de la acción de la corriente y del viento. Se ha demostrado que el viento, independientemente de la velocidad del agua, imprime a la mancha un movimiento equivalente a un 3.4% de su velocidad, por ejemplo, si el viento sopla a 40 km/h, la mancha adquirirá una velocidad propia de 1.4 km/h, desplazándose en la misma dirección del viento.

En cuanto al efecto de la corriente y en ausencia de viento, la tendencia de la mancha será desplazarse con la misma velocidad con que lo hace el agua en su superficie, despreciando el pequeño retardo producido por rozamiento.

Así la mancha estará simultáneamente sometida a la influencia del movimiento del agua y del viento, por lo que el desplazamiento final será resultante de ambas fuerzas.

Ya sabemos que si el viento sopla en dirección opuesta a la corriente, puede disminuir y llegar a revertir la velocidad superficial del agua. El siguiente es un método que puede servir para determinar la velocidad y dirección de una mancha.

- Si no hay viento y existe una corriente de 1 km/h, la mancha se moverá a 1 km/h y en la misma dirección de la corriente.
- Si hay viento de 12 km/h y aguas sin movimiento, la mancha se moverá a 0.4 km/h y en la misma dirección del viento.
- Si el viento y la corriente tienen la misma dirección, sus efectos se suman.
- Si tiene dirección opuesta, la dirección y velocidad de la mancha es la resultante de la suma algebraica de ambos vectores. Por ejemplo, si la corriente incide en una dirección con una fuerza de 0.8 km/h y el viento lo hace en dirección contraria con 0.4 km/h, la mancha se moverá en la dirección de la corriente a una velocidad de 0.4 km/h.

Si el viento sopla de otro cuadrante con respecto a la dirección de la corriente, el método es el siguiente: se representan con vectores utilizando la misma unidad para las respectivas magnitudes, tanto el viento como la corriente, con la dirección de cada uno según la representación de la rosa de los vientos. Desde su centro se traza el paralelogramo de fuerzas y la diagonal resultante indicará la dirección y la velocidad con que se moverá la mancha, de acuerdo a la escala utilizada.

Un ejemplo ilustrará el tema. Determinar la dirección y la velocidad de una mancha, si el viento sopla del Sud a una velocidad de 45 km/h y la corriente se orienta al SE a una velocidad de 4 km/h. Para ello primero dibujamos la rosa de los vientos en un plano de la zona en que ocurrió el derrame.

- Se dibuja la mancha en el lugar en que se presume ocurrió el siniestro.
- En el borde de la mancha que coincide con la dirección del viento se traza el vector que lo representa. Aplicando un factor de 3.4% a la velocidad de 45 km/h, da como resultado 1.5 km/h para el vector viento.
- Desde el mismo punto de origen y con la misma escala, se traza el vector de la corriente, que tiene 4 km/h y con dirección SE.
- Se traza el paralelogramo y se halla que la diagonal resultante nos indica que la mancha se moverá en la dirección E con una velocidad de 3.8 km/h

Con los datos citados y sobre el croquis o la carta de navegación de la zona, se puede predecir qué lugar de la costa será alcanzado por la mancha y también a qué hora, de modo que en función de ello pueden enviarse grupos de tareas a determinados lugares de la costa antes que llegue la mancha. Por lo tanto habrá que estar muy atentos a los cambios del viento y/o corriente en el Centro de Control Operativo, a fin de proceder a realizar un nuevo cálculo de posición, partiendo del lugar en que se presume se encuentra la mancha.



Conviene agregar que existen métodos más sofisticados de predicción de un derrame en base a modelos matemáticos con ayuda de programas en computadoras. El seguimiento de la mancha se puede hacer por observación visual aérea, por observación aérea por teledetección infrarroja y por balizaje por medio de boyas equipadas con un reflector radar que se desplazan junto con el derrame.

Como dato ilustrativo, conviene apuntar que la costumbre hace que los datos en el ámbito fluvial respecto a la velocidad se de en km/h, mientras que en el marítimo se haga en nudos (1 nudo = 1 milla náutica/hora); respecto a profundidades, calados, etc., es indistinto el uso de pies o metros.

Equivalencias Útiles

1 milla marina	=	1.852 metros
1 pie	=	0.305 metros
1 yarda	=	6 pies

Fuerza del viento en la escala Beaufort	Velocidad equivalente en nudos
0	menos de 1
1	1 a 3
2	4 a 6
3	7 a 10
4	11 a 16
5	17 a 21
6	22 a 27
7	28 a 33
8	34 a 40
9	41 a 47
10	48 a 55

Para información más detallada, ver tabla.

PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO

FIGURA 1

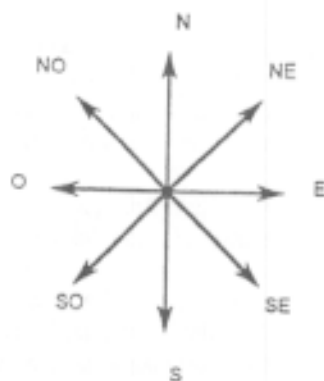


FIGURA 2

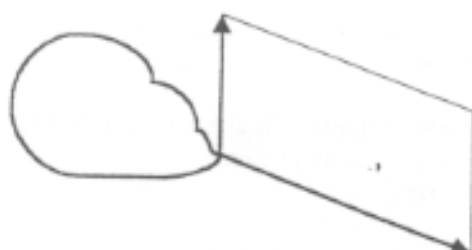
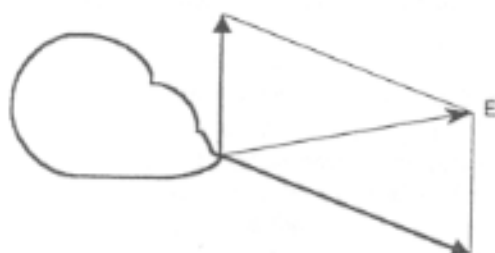


FIGURA 3



DIRECCIÓN Y VELOCIDAD
DE LA MANCHA

Resultante: Rumbo E
Velocidad 3,8 km/h

EFFECTO DE LAS CORRIENTES Y DEL VIENTO (INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA)

Independientemente del desplazamiento periférico que sufre la mancha de hidrocarburo como resultado del proceso de expansión, también tenderá a moverse en determinadas direcciones como consecuencia de la acción del viento y de las corrientes. Con respecto a estas últimas, tenemos que distinguir entre corrientes marinas propiamente dichas -producto de la rotación de la tierra y de vientos constantes que son estables de acuerdo a cada época del año- y las corrientes de marea o simplemente mareas -producto de la acción ejercida por la gravedad de los astros-; aunque en rigor de verdad, esto último no es totalmente cierto, ya que la elevación de las aguas no es producida por el efecto directo de los astros, sino por la componente de las corrientes horizontales de marea.

Para que el efecto acumulativo de éstas se haga notar, es menester que su acción se verifique en mares de gran extensión, circunstancia confirmada por la ausencia casi total de mareas en mares pequeños o cerrados.

También existen factores terrestres que alteran, a veces profundamente, la formación astronómica de las mareas, como las ya mencionadas corrientes marinas, los vientos, los deshielos, las grandes lluvias, los terremotos y maremotos, etc.

El ciclo total astronómico de las mareas se repite cada 18 años y 11 días, sus fuerzas gravitacionales se potencian, por lo que las pleamares, llamadas de sicigias o vivas, son más pronunciadas. Cuando la luna se encuentra en otras posiciones intermedias, se producen las mareas de cuadratura, que tienen menor amplitud.

En el período de un día, generalmente existen dos pleamares, separadas por lapsos más o menos regulares por sus respectivas bajamares.

En nuestro país, el Servicio de Hidrografía Naval edita una Tabla de Mareas, realizando una labor de predicción de la marea utilizando hasta 60 componentes basados en datos extraídos mediante análisis de las observaciones prácticas.

Las mareas astronómicas se registran a lo largo de todo el litoral argentino con diferentes regímenes y amplitudes, que varían desde 2 pies en el Río de la Plata hasta 31 pies en el tramo de la costa patagónica comprendida entre San Julián y cabo Virgenes. También son afectadas por ondas de tormenta producidas por grandes y persistentes vientos, que en el caso de SE generan fuertes corrientes hidráulicas de efectos incontenibles sobre costas y playas adyacentes. También tiene gran influencia la onda de marea oceánica que por ejemplo en el Río de la Plata se propaga por toda su extensión sin perder su fuerza, sufriendo deformaciones a medida que avanza hacia su interior; su efecto llega por los ríos Paraná y Uruguay hasta más de 200 km, de sus desembocaduras.

Con respecto a las corrientes marinas, se ha establecido que cada océano posee su propio sistema de circulación de las grandes masas de agua, obedeciendo a determinados principios oceanográficos. Los vientos dominantes arrastran por fricción las aguas de la superficie de los mares en la dirección en que soplan. Pero éstas se desvían en el hemisferio norte hacia la derecha de la dirección del viento, mientras que en hemisferio sur lo mismo ocurre hacia la izquierda, fenómeno conocido como "Efecto de Coriolis".

En el hemisferio sur la llamada corriente del Cabo de Hornos desplaza aguas subantárticas, frías y de menor salinidad, del Oeste hacia el Este. al cruzar el pasaje Drake, esta corriente da origen a una componente que se desplaza hacia el Norte, transportando las aguas subantárticas hasta la latitud 40 grados sur y ocasionalmente algo más al norte, hundiéndose luego por debajo de las aguas subtropicales de menor densidad en forma de cuña, dándose así inicio a la corriente de las Malvinas, cruzando todo el Atlántico de Oeste a Este, lo que se reconoce por los fragmentos de algas procedentes de Tierra del Fuego que transporta además por los témpanos que son llevados por la misma vía, llegando hasta África, donde la corriente tuerce hacia el Norte corriendo a lo largo de su costa occidental denominándose corriente de Benguela. Ya cerca del Ecuador se dirige hacia el Oeste como corriente sub-ecuatorial y antes de llegar al cabo San Roque (extremo oriental del Brasil), se bifurca, enviando un ramal hacia el Caribe y el otro hacia el sur, llevando el nombre de corriente del Brasil cuyas aguas tropicales tienen una salinidad del 36‰ y una temperatura de 20°C. Esta corriente se mueve al Este del Talud hacia la latitud 35 grados Sud, para encontrarse con un frente de aguas más frías que transporta la corriente del Cabo de Hornos, recomenzando así todo el proceso descrito anteriormente. Cabe acotar que en el hemisferio norte se desarrollan procesos similares.

Cada una de las corrientes casi permanentes que integran un sistema de circulación oceánica tiene características propias en cuanto a dirección, velocidad, salinidad y temperatura de las aguas que transporta, aunque modificados gradualmente por los diversos procesos de mezcla.

Por ejemplo la corriente de Malvinas tiene entre las latitudes 55 grados y 53 grados sud, una velocidad de 3/4 nudos y una temperatura de 6 grados centígrados. La latitud 41° S en cambio la velocidad ha bajado a 1/2 nudo y la temperatura subió a 10 grados.

La corriente del Brasil tiene en la latitud 35° Sud una velocidad de 1 nudo y una temperatura de unos 20°C en su eje, mientras que en la latitud 45° Sud ésta se reduce a 14°C. Por ejemplo, la corriente de las Malvinas lleva aguas de alta fertilidad potencial al Mar Argentino, mientras que la corriente del Brasil traslada aguas biológicamente agotadas, de reducida capacidad de producción. El hecho de que esta corriente se encuentre al este de la plataforma argentina tiene gran importancia biológica y económica para nuestro país.

Con respecto a la velocidad de la corriente en el régimen fluvial podemos decir que las corrientes son de poca intensidad en el Río de la Plata, donde en su canal principal la velocidad máxima es de 3.5 a 4.0 km/hr, aunque puede ser mayor cuando sopla viento fuerte.

En el Paraná inferior hasta las proximidades de Rosario, las corrientes son afectadas por la influencia de las mareas del Río de la Plata, pudiendo alcanzar en creciente en algunos tramos una velocidad de 7 km/hr.

En el sector Rosario-Santa Fe la corriente en el centro del río oscila entre 3 km/hr en bajante y 7 km/hr en creciente.

Entre Santa Fe y Corrientes, en condiciones análogas, la velocidad es de 3.5 km/hr y 8 km/hr.

En el Alto Paraná la velocidad oscila entre 3.5 y 8 km/hr, con excepción de los rápidos de Apipé, donde alcanza los 11 km/hr.

El Río Paraná además, está caracterizado por un período de crecida entre los meses de enero y abril y uno de estiaje de agosto y noviembre. Hay un período intermedio, conocido con el nombre de "repunte del pejerrey", en el que el nivel de las aguas experimenta un incremento en los meses de junio y julio.

En la zona del Delta y Predelta, el régimen fluvial responde a las variaciones del nivel de las aguas del Río de la Plata, es decir que obedece a la influencia de las mareas. El límite de la zona de influencia depende del estado propio del Río Paraná, pudiendo extenderse hasta Rosario en ocasiones de mareas extraordinarias.

Merece recordarse que casi siempre y generalizando, la velocidad máxima del río se encuentra en la zona central de su recorrido, debido a la mayor profundidad del mismo; mecánicamente funciona como un eyector o como un venturi, por lo que en esa zona una eventual mancha de petróleo viaja con mayor rapidez, "arrastrando" a su vez a las manchas cercanas a sus orillas.

La Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables edita semanalmente el "Boletín Fluvial" informativo de las rutas principales y secundarias de los Ríos de la Plata, Paraná hasta Iguazú, Paraguay hasta Asunción y Uruguay hasta Concordia.

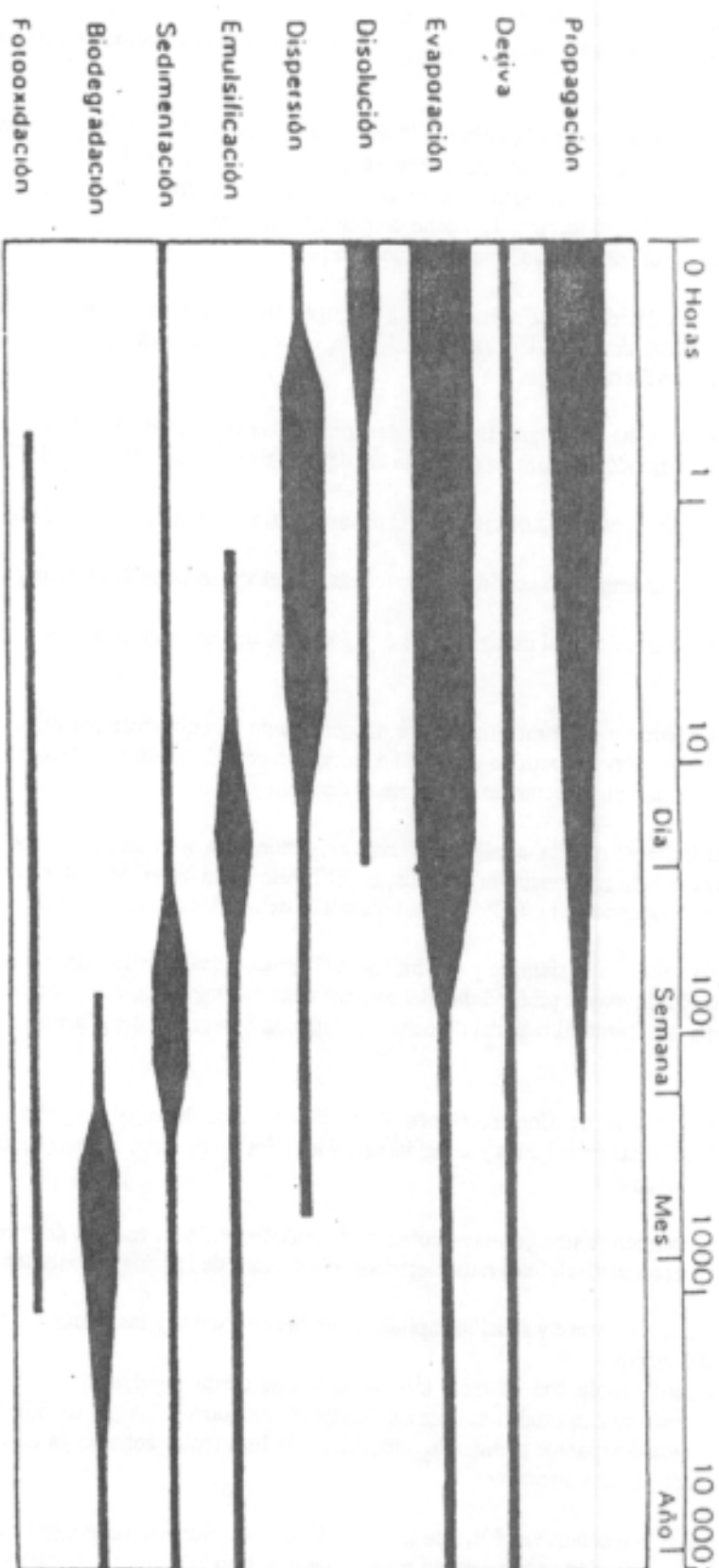
La información contiene datos generales como profundidades, calados cambio de balizamiento, etc. También la Prefectura Naval Argentina con sus Boletines radioeléctricos sobre altura de los ríos, transmiten datos de mucho interés.

Para terminar este muy breve y sencillo capítulo sobre las corrientes y las mareas, cabe acotar como factor importantísimo la influencia del viento.

En las zonas donde sopla con bastante intensidad y una cierta regularidad, se hace notar su efecto sobre las mareas locales, aumentando su amplitud si se trata de vientos procedentes del mar y disminuyéndola en caso contrario. A veces la marea astronómica desaparece totalmente, absorbida por los efectos eólicos, ya que además su régimen particular puede alcanzar intensidades muy superiores.

Un ejemplo típico lo tenemos en el Río de la Plata, donde la influencia del viento es seis veces superior a la astronómica, para su estudio y predicción se requiere un gran número de observaciones efectuadas durante varios años, lo que permitirá deducirla regularidad e intensidad de los vientos en cualquier época y poder así combinar sus efectos con la marea normal o con el régimen fluvial ya mencionado.

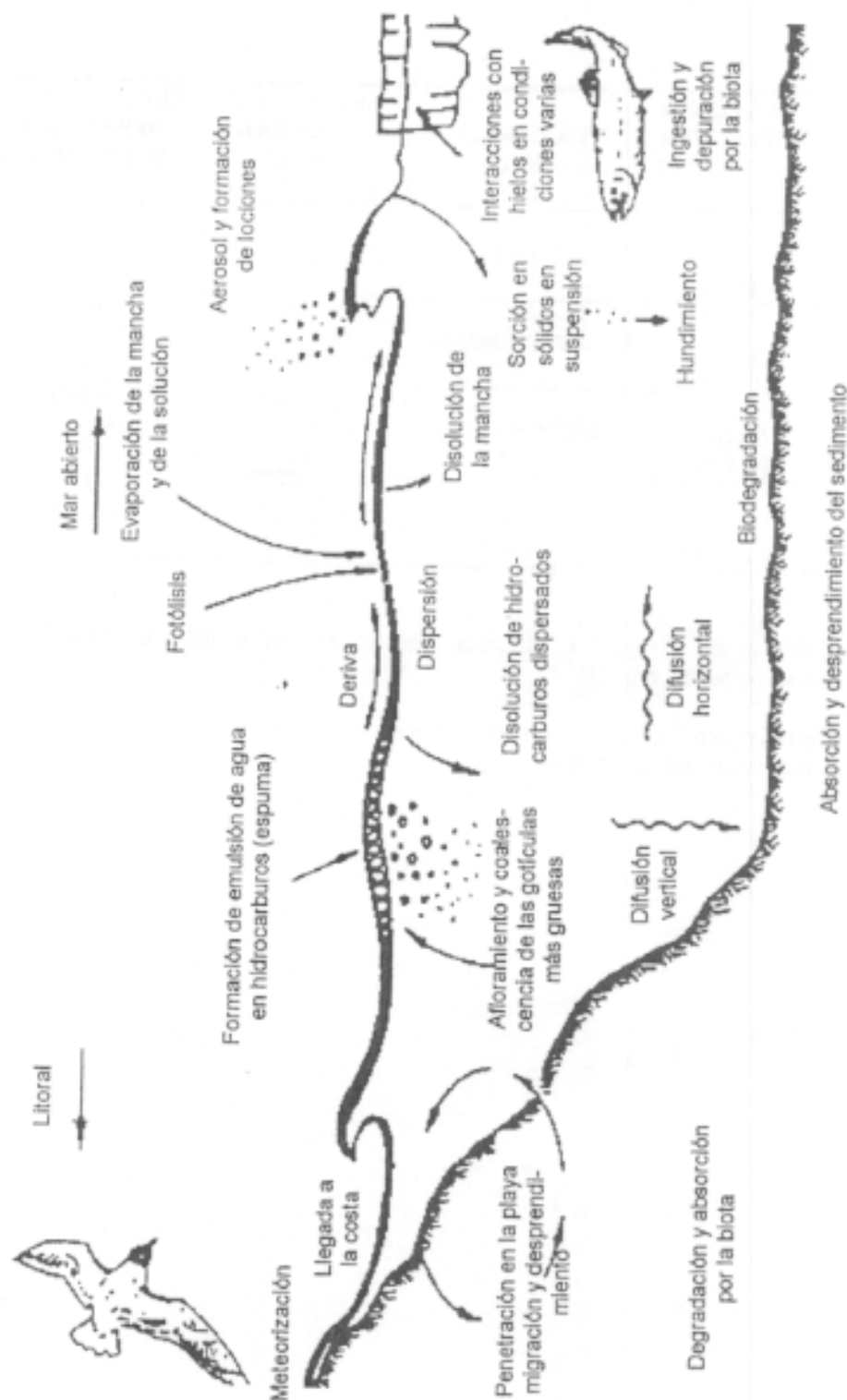
DURACIÓN Y MAGNITUD RELATIVA DE LOS PROCESOS QUE ACTÚAN SOBRE LOS HIDROCARBUROS DERRAMADOS



Longitud de las líneas: duración probable de cada proceso.

Anchura de las líneas: magnitud relativa del proceso tanto a lo largo del tiempo como en relación con otros procesos simultáneos.

PROCESOS QUE TIENEN LUGAR DESPUÉS DE UN DERRAME DE HIDROCARBUROS



**CLASIFICACIÓN DE LOS CRUDOS Y COMBUSTIBLES MÁS CORRIENTES DE
ACUERDO A SU GRAVEDAD ESPECÍFICA**

GRUPO	GRAVEDAD ESPECÍFICA KG/DM3-API	VISCOSIDAD A 15°C (CTS)	EBULLICIÓN POR DEBAJO 200°C % DESTILADO	EBULLICIÓN POR DEBAJO 370°C % DESTILADO	PUNTO DE FLUIDEZ °C
I	< 0.8 API > 45	0.5-2	50-100	0	05-2
II	0.8-0.9 API 35-45	4 SÓLIDO PROMEDIO 8	10-48 PROMEDIO 35	0-40 PROMEDIO 30	> 5 *
III	0.9-1.0 API 17.5-35	8 SÓLIDO PROMEDIO 275	14-34 PROMEDIO 25	28-60 PROMEDIO 45	> 5 **
IV	> 1.0 API < 17.5	1500 SÓLIDO	2-24 PROMEDIO 10	33-92 PROMEDIO 65	> 30

- * Se comportarán como grupo II a temperatura ambiente por encima del punto de fluidez; a temperaturas menores deben tratarse como del grupo IV
- ** se comportarían como grupo III a temperatura ambiente por encima del punto de fluidez; a temperaturas menores deben tratarse como los del grupo IV

CARACTERÍSTICAS DE CRUDOS LOCALES

PRODUCTO	PESO ESP. @ 15°C	DENSIDAD API	VISCOSIDAD cST @ 20°C	PUNTO FLUIDEZ °C	ASFALTENOS % VOL
GRUPO I: PE < 0.8					
CENTENARIO	0.784	48.98	1.95	-30	0.015
CAMPO DURAN	0.789	47.84	3.46	6	0.380
GRUPO II: PE 0.8 A 0.85					
TIERRA DEL FUEGO	0.807	43.84	3.58	-6	0.248
CERRO R. (SCS)	0.808	43.62	3.38	-12	0.860
PALMAR LARGO (1)	0.811	42.98	19.88	21	0.510
PALMAR LARGO (2)	0.823	40.43	17.15	18	0.680
HIDRA (Río Cullen)	0.825	39.9	16.5	3.6	1.00
GRUPO III: PE 0.85 - 0.95					
MEDANITO	0.879	29.48	33.94	6	1.000
CHALLACO	0.881	29.11	91.6	12	0.660
MENDOZA NORTE-VENTANA	0.885	28.38	-----	36	0.730
MENDOZA SUD	0.891	27.31	36.48	0	0.060
CAÑADÓN SECO (SCN)	0.900	25.72	279.3	0	1.860
ESCALANTE (Chubut)	0.905	24.85	471.2	6	-----
GRUPO IV: PE 0.95 - 1					
Fuel Oil N° 6 (Bunker C)	0.975	13.62	1.500 (Sólido)	5	

CARACTERÍSTICA CRÍTICA	DESCRIPCIÓN DE LA CARACTERÍSTICA	NAFTA	JP-4	AUTO DIESEL.	MARINE DIESEL.	FUEL OIL.		LUBE OIL.	RELACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA CON UN DERRAME EN AGUA
						Nº 2	Nº 6		
Viscosidad (centistoke a 100°F 38 °C).	Resistencia a fluir	Baja	Baja	Baja (≈ 1.4)	Baja (≈ 3.0)	Baja (≈ 2.0)	Alta (> 7.5)	Mediana Alta	Los materiales de baja viscosidad fluyen fácilmente sobre la superficie.
Tensión superficial	Resistencia a propagarse sobre otro líquido.	Baja	Baja	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana	Los materiales de baja tensión superficial se propagarán más rápidamente.
Volatilidad	Tendencia a evaporarse.	Alta	Alta	Baja	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja	La alta volatilidad favorece la evaporación -- En combinación con bajo punto de inflamación, origina riesgos de explosión.
Solubilidad relativa	Tendencia de todo o parte del derrame a disolverse en el agua.	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Emulsificación	Los componentes solubles del derrame (incluyendo aditivos), pueden resultar tóxicos para los organismos acuáticos.
Densidad (gravedad específica)	Masa por unidad de volumen -- Tendencia a hundirse en el agua	Baja (≈ 0.73)	Baja	Baja (≈ 0.83)	Baja	Baja (≈ 0.82)	Alta (0.9-1.0)	Mediana (0.85)	Materiales más pesados que el agua (gravedad específica > 1.0), generalmente se hundirán ahogando organismos del fondo, afectando moluscos.
Emulsividad	Tendencia a formar suspensiones estables con el agua.	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	La alta emulsividad disuelve el petróleo a través de la columna de agua, extendiendo el alcance de la posible contaminación, afectando a los peces que nadan libremente.
Punto de fluencia	Temperatura mínima a la cual el petróleo fluirá	Baja	Baja	Baja	Baja (20°F - 7°C)	Baja (20°F - 7°C)	Alta (60°F - 15°C)	Baja (10°F - 12°C)	A medida que se aproxima al valor del punto de fluencia la propagación del petróleo decrece.
Punto de inflamación (mínimo)	Tendencia a encenderse.	Muy baja (-40°F -40°C)	Muy baja (-20°F -28°C)	Baja (≈ 16°F ≈ 40°C)	Mediana (140°F 60°C)	Baja (100°F 38°C)	Mediana (150°F 65°C)	Muy alta (350°F 177°C)	Bajo punto de inflamación combinado con alta volatilidad -- riesgo de explosión.

20

CUADRO: DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS MARINAS

Fuerza del viento (Beaufort)	Velocidad media del viento en nudos Medida a 10 m por encima del nivel del mar	Límites de la velo- cidad del viento en nudos	Término descriptivo	Criterio mínimo	Altura probable de las olas en metros	Altura máxima probable de las olas en metros
0	00	Menos de 1	Calma	El mar está como un espejo.	--	--
1	02	1-3	Ventolina	Rizos con aspecto de escamas, pero sin crestas de espuma.	0.1	0.1
2	03	4-5	Flojito (brisa muy débil)	Olas muy pequeñas todavía cortas, pero con crestas más pronunciadas de aspecto vítreo y que no rompen.	0.2	0.3
3	09	7-10	Flojo (brisa débil)	Olas muy pequeñas, pero con crestas que empiezan a romper. Espuma de aspecto vítreo. Puede haber borreguitos aislados.	0.6	1.0
4	13	11-16	Bonancible (brisa moderada)	Olas pequeñas que se hacen más largas. Borreguitos bastante frecuentes.	1.0	1.5
5	19	17-21	Fresquito (brisa fresca)	Olas moderadas más claramente alargadas. Numerosos borreguitos. Eventualmente rociadas.	2.0	2.5
6	24	22-27	Fresco (brisa fuerte)	Empiezan a formarse olas grandes. Las crestas de espuma blanca se extienden por todas partes. Posibilidad de rociadas.	3.0	4.0
7	30	28-33	Frescachón (viento fuerte)	El mar se encrespa y la espuma blanca de las olas empieza a ser arrastrada en forma de regueros en la dirección del viento.	4.0	5.5
8	37	34-40	Temporal	Olas moderadamente altas de mayor longitud. Las crestas empiezan a romperse formando remolinos. La espuma es arrastrada en forma de regueros bien definidos en la dirección del viento.	5.5	7.5
9	44	41-47	Temporal fuerte	Olas altas. Densos regueros de espuma a lo largo de la dirección del viento.	7.0	10.0
10	52	48-55	Temporal duro	Olas muy altas con largas crestas colgantes. La espuma resultante en gruesas capas es arrastrada en la dirección del viento. Toda la superficie del mar toma un aspecto blanco. Los lumbos del mar se hacen muy fuertes y semejantes a choques. La visibilidad disminuye.	9.0	12.5
11	60	56-63	Temporal muy duro	Olas excepcionalmente altas. Los buques pequeños y medianos pueden quedar transitoriamente ocultos por detrás de las olas. El mar está completamente cubierto de grandes manchas blancas de espuma situadas en la dirección del viento. En todas partes las crestas de las olas son arrastradas por el viento en forma de espuma. Visibilidad reducida.		
12	--	64 o más	Temporal huracanado	El aire está lleno de espuma y rociones. El mar está completamente blanco con rociones violentos. Visibilidad muy reducida.	14 o más	--

* Estas columnas se han añadido como guía para mostrar aproximadamente lo que puede esperarse en alta mar, lejos de tierra. En aguas cerradas o cerca de tierra con un viento de alta mar, las olas serán menos altas pero más empinadas.

NOTAS:

- Debe tenerse en cuenta que puede ser difícil estimar la fuerza del viento con el criterio mínimo. En consecuencia, la fuerza y la dirección del viento pueden estimarse por otros medios, por ejemplo, la experiencia personal o el humo, descontando debidamente el rumbo y la velocidad del buque (véase el Marine Observer's Handbook - cuadro 23).
- Debe tenerse en cuenta el retardo entre el momento de levantarse el viento y el de empezar a crecer el mar.
- Al estimar la fuerza del viento por el aspecto del mar, hay que tomar en consideración los efectos del alcance del viento, el mar de fondo, la lluvia fuerte y la marea.



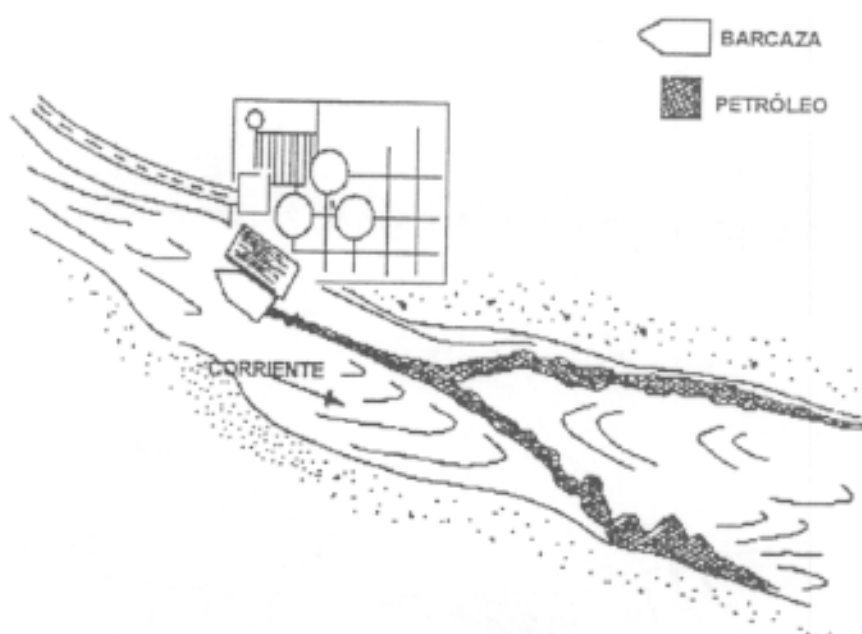
TIPO DE HIDROCARBURO	PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS
(1) HIDROCARBUROS LIVIANOS Y VOLÁTILES	- Se propagan rápidamente. - Alta relación de evaporación y solubilidad. - Tienden a formar emulsiones inestables. - Resultan muy tóxicos a la vida en los primeros momentos del derrame. - Pueden penetrar en el sustrato. - Pueden ser extraídos de la superficie por simple agitación y chorros de agua de baja presión.	- Toxicidad aguda, referida al contenido y concentración de fracciones aromáticas. - Las fracciones aromáticas son muy tóxicas debido a la presencia principalmente de compuestos nalténicos y a una menor cantidad de compuestos bencénicos. - Los compuestos de alto peso molecular son invariablemente menos tóxicos, pero pueden resultar crónicamente tóxicos ya que son potencialmente cancerígenos. - La toxicidad aguda de las fracciones aromáticas varían individualmente entre las especies debido a la relación de captación y el rango de liberación de estos compuestos. - Las plantas acuáticas pueden resultar crónicamente afectadas debido a la penetración y a la persistencia de los compuestos aromáticos en los sedimentos.
(2) HIDROCARBUROS MEDIANOS O PESADOS	- Toxicidad variable dependiendo de las fracciones livianas. - En climas tropicales, la rápida evaporación forma menos tóxicos residuos por envejecimiento. - Las fracciones livianas pueden contaminar las aguas intermareas. - Tienden a formar emulsiones estables ante la presencia de emulsiones físicas de alta energía. - Variable penetración en el sustrato en base a la granulometría del mismo. - Alta probabilidad de hundirse después de haber envejecido e incorporado sedimentos. - En la generalidad de los casos, resulta retirable del agua cuando recién ocurre el derrame. - Generación de pelotas de asfalto y residuos alquitranados.	Agua y crónica toxicidad en organismos varios. Esto probablemente resulta de: - Cobertura mecánica o física, el hidrocarburo ahoga o cubre completamente los organismos, causándole la muerte. - La toxicidad química resulta de la exposición de los organismos a las fracciones aromáticas muy tóxicas del hidrocarburo. - La combinación de la cobertura mecánica y física y la toxicidad química. El ahogo mecánico y físico causa toxicidad aguda en muchos organismos marinos y toxicidad crónica en muchas plantas marinas.
(3) ASFALTOS, BUNKER C, FUEL OIL, Nº6, FUEL OIL, RESIDUAL.	- Forman terrores alquitranados a temperatura ambiente. - No se propaga. - Relativamente no tóxico para el sustrato. - Blando y fluye cuando se lo expone al sol. - No puede ser recuperado de la superficie del agua con la mayoría de los equipos de limpieza. - Fácil de renovar manualmente de las playas.	- Toxicidad aguda y crónica ocurre más por efectos físicos de ahogo que por toxicidad química debido a la pequeña proporción de fracciones aromáticas residuales pesadas. - La toxicidad es más común en plantas marinas y en organismos sedentarios que en organismos con movilidad. - La toxicidad aguda y crónica también son el resultado de stress térmico debido a la elevación de temperatura en los hábitculos empotrados.

EJEMPLO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MANCHA EN UN RÍO EN PUNTO CERCANO A LA DESEMBOCADURA AL MAR

La contención de derrames en el río son a menudo muy dificultosas de realizarse por su profundidad y las corrientes pueden ser muy rápidas, requiriendo que la mayoría de las acciones sean realizadas desde botes.

Los bancos pueden ser abruptos y cubiertos con residuos. La alta velocidad y turbulencia puede hacer que el petróleo se hunda temporariamente bajo la superficie.

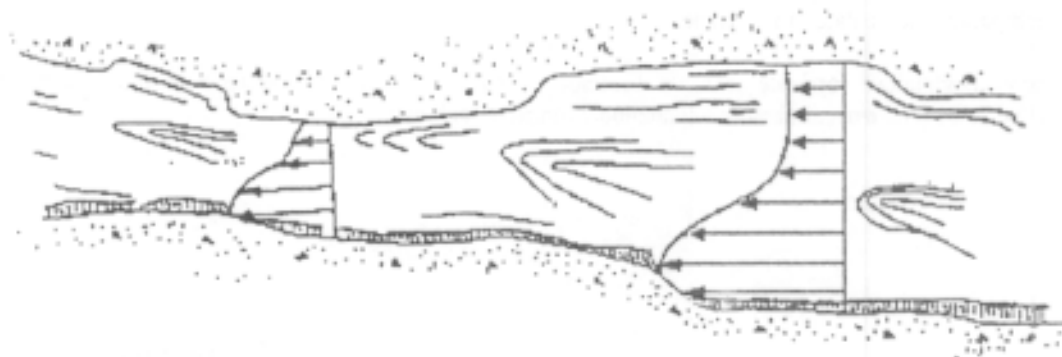
La mancha moviéndose corriente abajo en dirección del viento puede eventualmente moverse hacia un lado del canal donde el petróleo puede usualmente ser contenido y retirado del banco.



Movimiento de una mancha de petróleo que es llevada corriente abajo.

La velocidad en los ríos nunca es uniforme. Como resultado de esto, la mancha se recuesta sobre el lado externo de la curva.

La máxima velocidad superficial estará normalmente cerca del centro del canal en los tramos rectos y se mueve hacia el lado externo en una curva en los tramos curvos.



LA VELOCIDAD DE LA CORRIENTE NO ES UNIFORME EN LOS RÍOS



LA MANCHA SE RECUESTA SOBRE LA CURVA EXTERNA

EJEMPLO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MANCHA EN UN RÍO EN PUNTO CERCANO A LA DESEMBOCADURA AL MAR

- La mancha se ve afectada por: mareas, viento y el movimiento originado por la corriente del río.
- Para el caso A, no tenemos vientos. La marea está en bajante y el río tiene su corriente en descarga al océano. Aquí se combinan los efectos de marea en bajante y río, originando una muy alta velocidad de la corriente hacia el océano. La mancha se vuelve hacia el océano posiblemente por el centro del canal.
- En la figura B se muestra el mismo caso con la presencia de vientos del cuadrante norte. La mancha se recuesta sobre la costa sur, desplazándose hacia el océano.
- En la figura C se muestra un caso donde hay marea alta, río reducido en su circulación y vientos del cuadrante sur. La mancha se recuesta sobre la costa norte.

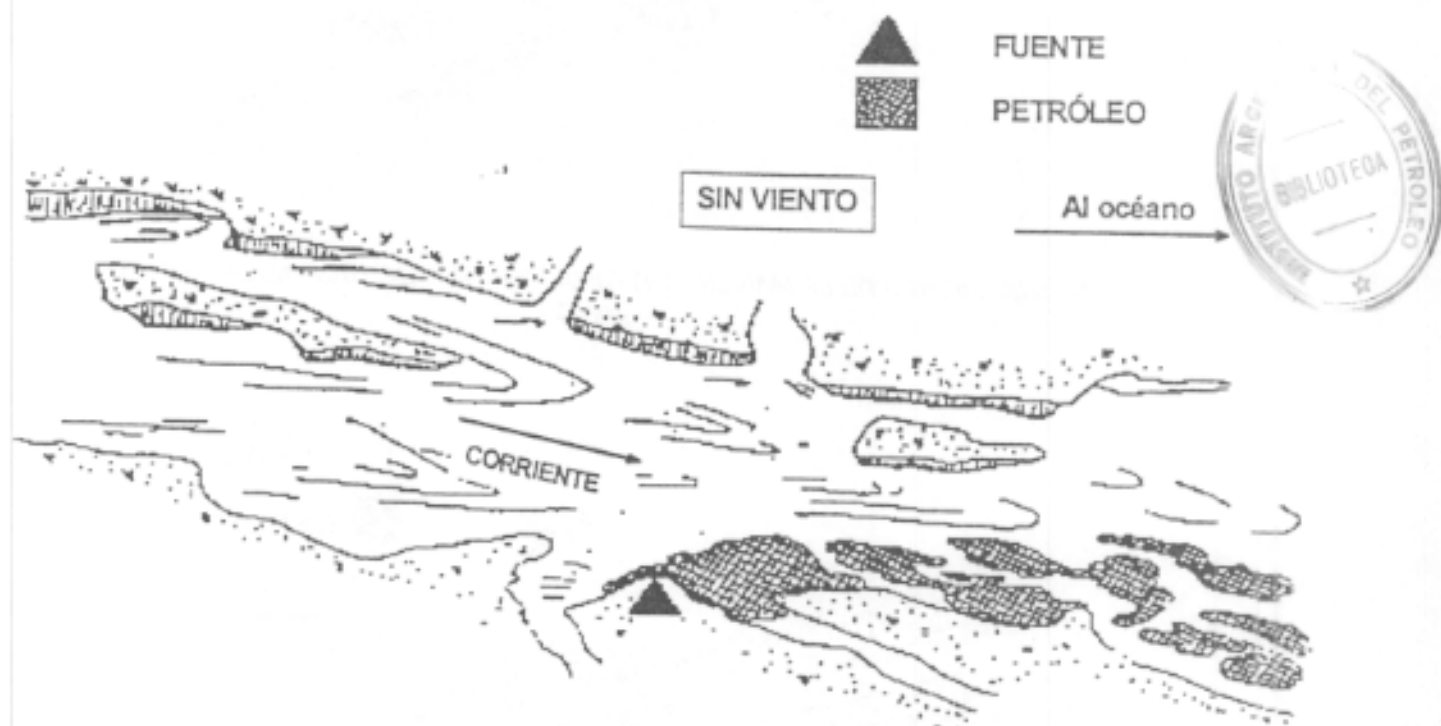


FIGURA A - MOVIMIENTO DE LA MANCHA ORIGINADO POR MAREA BAJA Y AUSENCIA DE VIENTO

FIGURA B - MOVIMIENTO DE LA MANCHA ORIGINADO POR MAREA BAJA Y VIENTO CUADRANTE NORTE

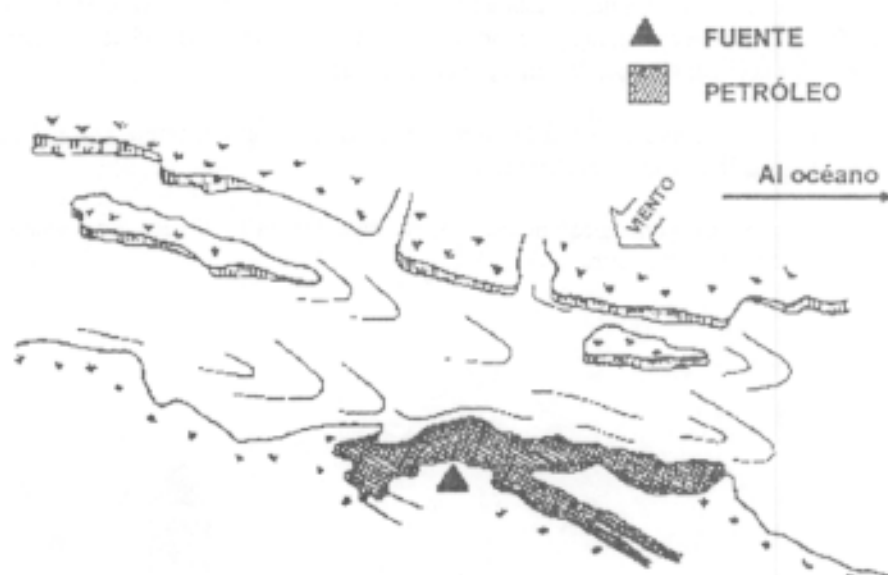
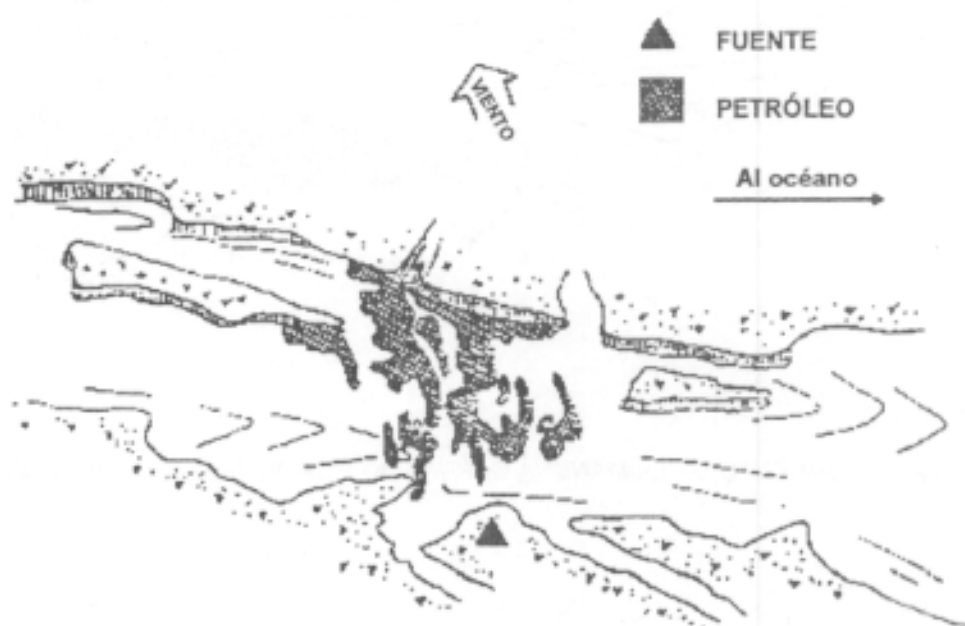


FIGURA C - MOVIMIENTO DE LA MANCHA ORIGINADO POR BAJO CAUDAL DEL RÍO, ALTA MAREA Y VIENTO SUR



SEGUIMIENTO DE UN DERRAME VIGILANCIA AÉREA EN EL MAR

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

Selección de Aeronaves

Helicópteros

Ala fija

Seguridad

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

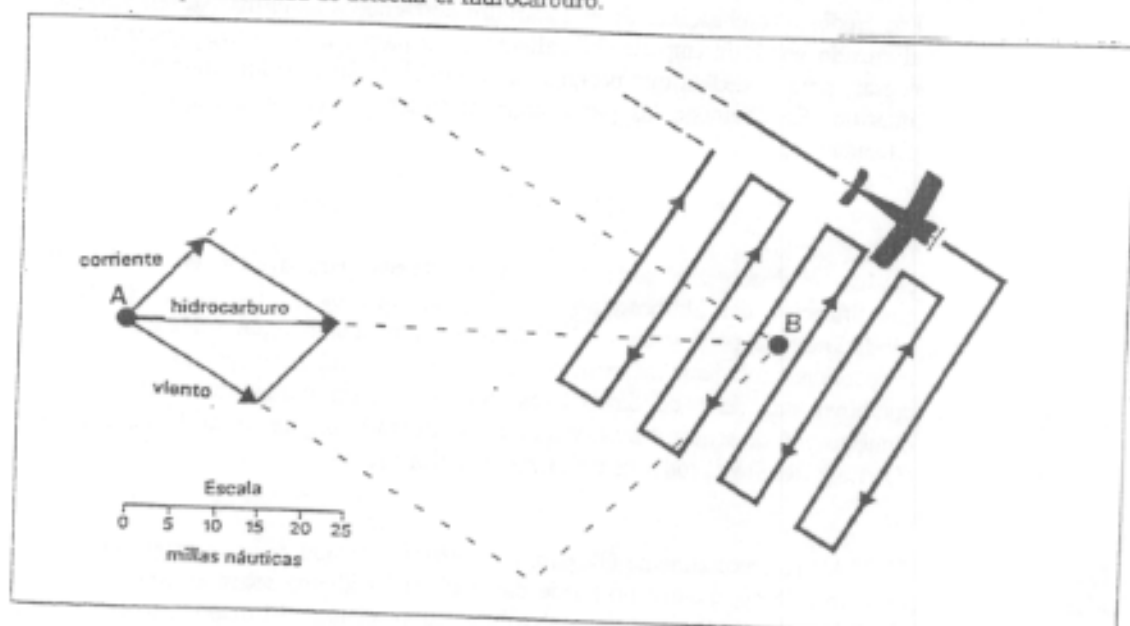
Plan de vuelo

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

Patrón de Búsqueda

"Búsqueda escalonada"

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



Movimiento del hidrocarburo desde A a la posición B tres días después, estimada al combinar el 100% de la velocidad de la corriente y el 3.4% de la velocidad del viento como se muestra. Las flechas desde A representan corriente, viento y movimiento del hidrocarburo para un día, sobre la posición B se muestra un patrón de búsqueda escalonada con el viento de través.

Efecto de la luz del sol

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

Altitud de búsqueda

Navegación.

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

Apariencia del Hidrocarburo en el Mar

Efectos confusos

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

Lavados de tanques

Color

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

DETECCIÓN REMOTA

Tipos de sensor

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

*SLAR
(Slide
Looking
Airborne
Radar)*

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

IRLS
(Infra-Red
Line
Scanners)

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

UVLS
(Ultra-Violet
Line Scanners)

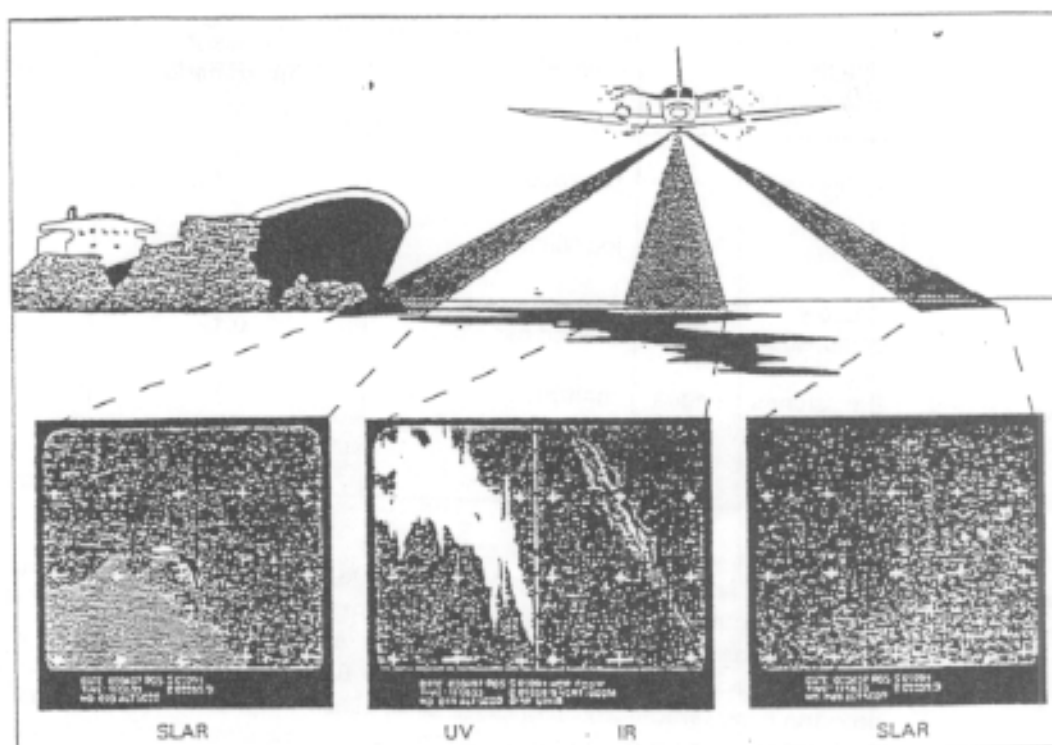
Los sistemas UVLS detectan las diferencias en la luz UV reflejada de la superficie del mar y sólo pueden operar durante el día. Con estos sensores pueden detectarse películas muy finas de hidrocarburo, incluyendo aquellas de origen biológico.

Paquete Sensor

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

**Registro de
imágenes**

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



CUANTIFICACIÓN VISUAL DEL HIDROCARBURO FLOTANTE

Es prácticamente imposible hacer un estimado preciso de la cantidad de hidrocarburo flotante debido a la dificultad en estimar su espesor. Como máximo se puede estimar el orden de magnitud correcto considerando ciertos factores. El hidrocarburo se esparce rápidamente y la mayoría de los hidrocarburos líquidos pronto alcanzan un espesor promedio de 0.1 mm, caracterizado por una apariencia negra o marrón oscura. Igualmente, el color de un brillo indica aproximadamente su espesor (ver tabla).

*Apariencia
versus
espesor*

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

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

Tipo de Hidrocarburo	Apariencia	Espesor Aproximado (mm)	Volumen Aproximado (m ³ /km ²)
Brillos	plateado	0.001	0.1
Brillos	iridiscente	0.0003	0.3
Crudo y combustible	negro/ marrón oscuro	0.1	100
Emulsiones de agua en hidrocarburo ("mousse")	marrón/ anaranjado	>1	>1000

*Área
superficial*

Para estimar la cantidad de hidrocarburo flotante, no sólo es necesario estimar el espesor sino también determinar el porcentaje del área de la superficie del mar cubierta por el hidrocarburo, la emulsión de agua en hidrocarburo y el brillo. De nuevo los estimados precisos se ven complicados por la incidencia de parches en el hidrocarburo flotante. Para evitar opiniones distorsionadas, es necesario mirar verticalmente hacia abajo sobre el hidrocarburo al estimar su distribución.

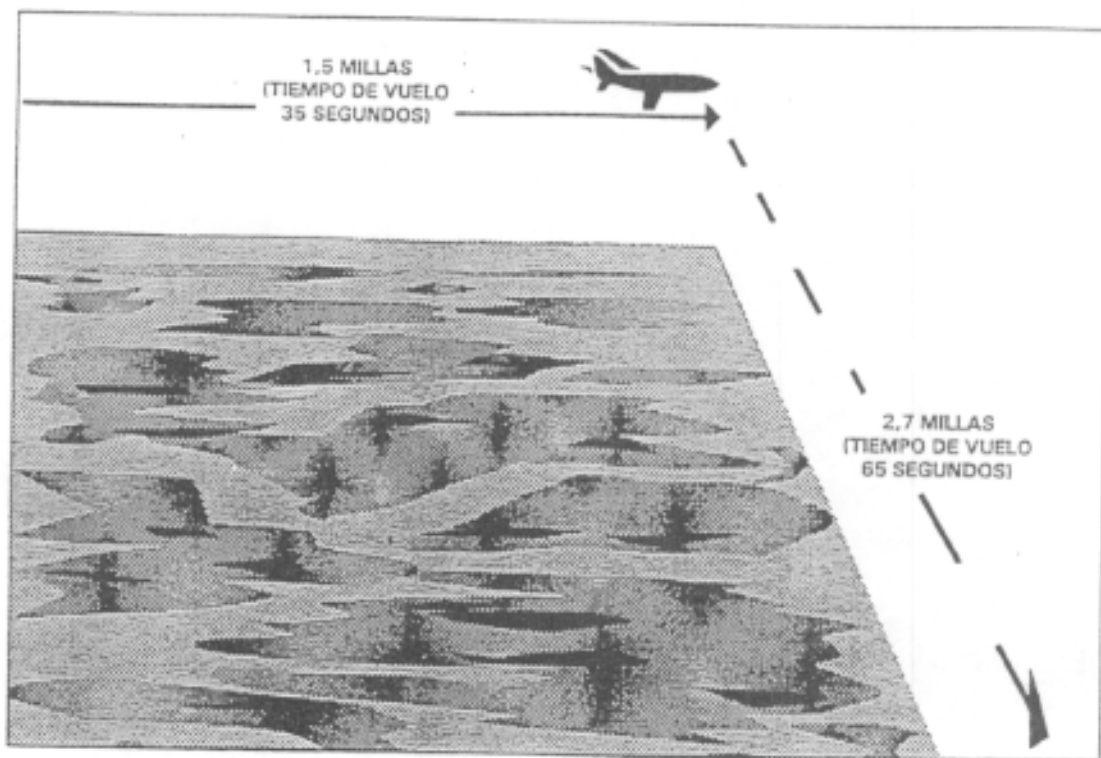
*Porcentaje
de cobertura*

Haciendo un estimado del porcentaje de cobertura de cada forma de hidrocarburo, se puede calcular el área cubierta relativa al total del área de mar afectada, efectuando vuelos cronometrados a una velocidad constante o desde equipos de fijación de posición.

Para ilustrar aún más el proceso de estimación de las cantidades de hidrocarburo, se proporciona el siguiente ejemplo en la figura:

Ejemplo:

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



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

$$\frac{65 \text{ (segundos)} \times 150 \text{ (nudos)}}{3600 \text{ (segundos en una hora)}} = 2.7 \text{ millas náuticas}$$

Igualmente, el ancho del área de mar medida es:

$$\frac{35 \times 150}{3600} = 1.5 \text{ m.n.}$$

Esto da un área total de aproximadamente 4 millas náuticas cuadradas o 14 kilómetros cuadrados. El volumen de "mousse" puede calcularse como el 10% (porcentaje de cobertura) de 14 (kilómetros cuadrados) x 1000 (volumen aproximado en m³ por km² de la tabla). En este caso se estimó que el 50% de la mousse era agua, dando un volumen de hidrocarburo presente de aproximadamente 700 m³. Un cálculo similar para el volumen de brillo resulta en 90% de 14 x 0.1, que es el equivalente a aproximadamente 1.3 m³ de hidrocarburo.

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

