



Guía para la quema in situ de derrames de hidrocarburos en agua, costa y tierra

GUÍA AMBIENTAL DE ARPEL
Guía para la quema in situ de derrames de
hidrocarburos en agua, costa y tierra

Preparada por:

Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL

Del borrador preparado por

Dr. Merv Fingas - Environmental Technology Centre of Environment Canada
(Centro de Tecnología Ambiental del Medio Ambiente de Canadá)

ARPEL, Febrero de 2007



Guía Ambiental de ARPEL N° 40-2007

Guía para la quema in situ de derrames de hidrocarburos en agua, costa y tierra

Febrero de 2007

Esta guía fue concebida originalmente en el contexto del proyecto Planificación de Respuesta a Emergencias del Programa Ambiental de ARPEL, Fase 3. El Programa fue financiado por la Canadian International Development Agency (CIDA) y administrado conjuntamente por la Environmental Services Association of Alberta (ESAA) y la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL). Esta Guía ha sido preparada por el Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL, basado en borradores no editados elaborados por el Dr. Merv Fingas del Environmental Technology Centre of Environment Canada, contratado por SENES Consultants Limited (901 Bank Street, Ottawa, Notario, Canadá K1S 3W5).

ENVIRONMENT CANADA
Environmental Technology Centre
335 River Road,
Ottawa, Ontario K1A 0H3
Tel.: 1(613) 991-5633
Fax: 1(613) 998-1365

En este contexto, se reconoce la contribución del Dr. Merv Fingas.

Se otorga un especial agradecimiento por la edición técnica a Skip Przelomski (CCA) y David Fritz (BP)

Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL:

ANCAP: Ernesto Pesce ♦ **BP:** Alberto Casco (Vice-presidente) ♦ **Chevron:** David Davidson; José Ríos ♦ **Clean Caribbean & Americas Cooperative:** Paul Schuler; Skip Przelomski ♦ **ECOPETROL:** Darío Miranda (Vice-presidente); Jorge Goenaga ♦ **IBP:** Carlos Victal ♦ **Pan American Energy:** Horacio Villagra ♦ **PDVSA:** Pánfilo Masciangioli ♦ **PEMEX:** Héctor Ochoa ♦ **PETROBRAS:** Marcus Lisboa, André Pieroni ♦ **PETROECUADOR:** Gustavo Palacios; Fabián Cruz Cruz ♦ **PETROPERU:** Carlos Alfaro; Magdaleno Saavedra ♦ **PETROTRIN:** Shyam Dyal; Rachael Mungroo-Ramsamoj ♦ **RECOPE:** Ricardo Bell Pantoja; Henry Arias ♦ **RepsolYPF:** Juan Santángelo; Ricardo Ferro ♦ **Wintershall:** Mariano Cancelo

Los Objetivos del Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL son:

- Desarrollar estrategias apropiadas para apoyar los esfuerzos de la industria en asegurar una respuesta costo-efectiva a emergencias tanto a nivel local como a nivel regional.
- Promover el desarrollo de acuerdos cooperativos bilaterales y regionales para la planificación de emergencias a través de la cooperación gobierno/industria.
- Proveer liderazgo para asistir en los esfuerzos de la industria en ser preactivos en la prevención de derrames de hidrocarburos.

Derechos de Autor

Los derechos de autor del presente documento, ya sea en su versión impresa, electrónica (CD o disquete) o de otra índole, pertenecen a la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL). Toda copia de este documento debe incluir este aviso sobre los derechos de autor. Al utilizar este documento en el futuro, el usuario le dará a ARPEL todos los créditos como fuente de información.

Exoneración de responsabilidad

Aunque se ha realizado todo el esfuerzo para asegurar la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni ARPEL, ni ninguna de sus empresas miembro asumirán responsabilidad alguna por cualquier uso que se haga de dicha información. Cualquier referencia a nombres o marcas registradas de fabricantes de equipos y/o procesos no representa un endoso ni por el autor, ni por ARPEL o cualesquier de sus Empresas Miembro.



TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	1
1.1. Visión general de la quema in situ	1
1.2. Cómo y cuándo realizar la quema.....	3
2. Evaluación de la factibilidad de la quema	8
2.1. Proceso de evaluación de la quema	8
2.2. Áreas donde puede prohibirse la quema.....	8
2.3. Análisis del Beneficio Ambiental Neto y escenarios.....	11
2.4. Quema en lugares especiales.....	13
3. Cómo realizar la quema	15
3.1. Quema sin contención	15
3.2. Métodos de contención y desviación de hidrocarburos.....	16
3.3. Dispositivos de encendido.....	23
3.4. Agentes de tratamiento	25
3.5. Buques / aeronaves de apoyo.....	25
3.6. Monitoreo, toma de muestras y análisis	26
3.7. Recuperación final de residuos	27
3.8. Disponibilidad de equipamiento	28
3.9. Lista de verificación de equipos	29
4. Actividades posteriores a la quema	30
4.1. Monitoreo de seguimiento	30
4.2. Estimación de la eficacia de la quema	30
4.3. Tasa de la quema	31
5. Precauciones de salud y seguridad durante la quema	32
5.1. Precauciones de salud y seguridad de los trabajadores	32
5.2. Precauciones de seguridad y salud pública	35
5.3. Establecimiento de zonas de seguridad.....	36
6. Documentos para Guía posterior	37
APÉNDICE A – Escenarios específicos de derrames y estrategias de quema	39
APÉNDICE B – Lista de verificación del equipo para la quema	46
APÉNDICE C – Tácticas empleadas para el tratamiento del hidrocarburo en varias situaciones	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pasos en la quema in situ.....	5
Figura 2: Diagrama de decisiones para la quema in situ	6
Figura 3: Quema en marcha	7
Figura 4: Buque tanque quemándose	15
Figura 5: Diseños de barreras resistentes al fuego.....	17
Figura 6: Nomograma para calcular la quema o el área de la mancha.....	19
Figura 7: Quema de prueba en el mar utilizando una barrera a prueba de fuego para contención	20
Figura 8: Quema de prueba en el mar.....	20
Figura 9: Configuraciones de barreras para quema in situ	21



Figura 10: Una helitorcha en funcionamiento.....	24
Figura 11: Este es un residuo remanente de una quema de 50 toneladas de hidrocarburos en el mar.	28
Figura 12: Limpieza del residuo de una quema de crudo	29
Figura C1: Uso de la barrera remolcada para la quema directa de hidrocarburo.....	48
Figura C2: Uso de la barrera remolcada para juntar y quemar el hidrocarburo	48
Figura C3: Uso de la barrera remolcada para quemar y separar a la fuente del fuego.....	49
Figura C4: Uso de barreras resistentes al fuego para proteger instalaciones turísticas	49
Figura C5: Barrera anclada.....	50
Figura C6: Barrera de desvío.....	50
Figura C7: Quema contra la ribera.....	51
Figura C8: Uso de barrera temporal de acero.....	51
Figura C9: Quema no contenida	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Algunas quemas históricas.....	8
Tabla 2: Distancias seguras para exposición a partículas	36



1. Introducción

1.1. Visión general de la quema in situ

Esta Guía ofrece una orientación sobre la toma de decisiones para la quema in situ de derrames de hidrocarburos, así como asesoramiento práctico en la forma de realizar las quemas. Contiene una compilación de información e incluye los aspectos científicos del proceso de quema y sus efectos, ejemplos de amplias investigaciones realizadas en materia de quemas in situ, e información práctica sobre los procedimientos que deben seguirse y los equipos necesarios para llevar a cabo la quema.

Se reconoce que la quema in situ es una alternativa viable de los métodos mecánicos para la limpieza de derrames de hidrocarburos en agua y en áreas costeras cercanas, humedales y otras situaciones en tierra. Cuando se realiza correctamente y en las condiciones adecuadas, la quema in situ puede reducir rápidamente el volumen de hidrocarburos derramados y eliminar la necesidad de recoger, almacenar, transportar y disponer de los hidrocarburos recuperados. El tiempo de respuesta a un derrame de hidrocarburos puede acortarse, reduciendo así las probabilidades de que el derrame de hidrocarburos se extienda en la superficie del agua, protegiendo de ese modo la biota acuática. La rápida eliminación de hidrocarburos puede asimismo impedir que estos lleguen a las costas, que son difíciles de limpiar y es donde se produce el mayor daño ambiental causado por los derrames de hidrocarburos.

Si bien se ha probado la quema in situ de los derrames de hidrocarburos durante los últimos treinta años, solo últimamente algunos países la han aceptado como una opción de limpieza de los derrames de hidrocarburos. La falta de aceptación e implementación de la quema como opción de limpieza obedece, en gran medida, a los productos de la combustión derivados de la quema de hidrocarburos y a que no se comprenden bien los principios que rigen la combustibilidad de hidrocarburos en agua.

Después de una quema in situ, quedan productos derivados, como dióxido de carbono, agua, partículas de humo e hidrocarburo no quemado, en forma de residuo. Ahora pueden predecirse los niveles de emisiones del fuego, y pueden calcularse las distancias seguras desde el fuego por la dirección del viento. Puede resultar necesario contener el hidrocarburo para realizar la quema in situ, ya que el hidrocarburo debe ser lo suficientemente espeso para arder, un mínimo de 2 a 3 mm. Sin embargo, aun si se requiere la contención, la quema in situ requiere menos equipo y personal que los métodos mecánicos de limpieza de derrames de hidrocarburos.

Los dos conceptos físicos esenciales vinculados con la quema son la cantidad mínima de vapores sobre la mancha de hidrocarburos, que a menudo se simplifica a un espesor mínimo de alrededor de 2 a 3 mm y la tasa fija de quema. La tasa de quema es alrededor de 3,75 mm/min para un crudo más liviano y alrededor de 1mm/min para hidrocarburos más pesados. Se requieren combustible, oxígeno y una fuente de ignición. La vaporización del hidrocarburo suministra el combustible que debe ser suficiente para producir una quema en régimen estacionario, es decir, en la que la cantidad de vaporización es casi la misma que la consumida por el fuego. Una vez que una mancha de crudo liviano está quemándose, la misma se quema a una tasa de alrededor de 3,75 mm por minuto. Esto significa que la profundidad del hidrocarburo se reduce en 3,75 mm por minuto. Esta tasa está limitada fundamentalmente por la cantidad de oxígeno disponible. Como regla general, la tasa de quema para crudo liviano es alrededor de 5.000 L/m² día. Los hidrocarburos más pesados se queman a una tasa de 1.200 L/m² día.



La tasa de la quema del hidrocarburo es una función del área cubierta por el hidrocarburo debido a las características físicas de la quema, es decir, el volumen no afecta la cantidad quemada en un tiempo dado, sino solamente el área quemada. Si no se producen suficientes vapores, el fuego no se iniciará o se extinguirá rápidamente. La cantidad de vapores producidos depende de la cantidad de calor irradiado hacia el hidrocarburo. Si la mancha de hidrocarburo es demasiado delgada, parte de este calor es conducida hacia la capa de agua por debajo de esta. Como la mayoría de los hidrocarburos tienen un factor de aislamiento similar, la mayoría de las manchas deben tener un espesor de 2 a 3 mm para ser encendidas y lograr una quema uniforme. Una vez que la mancha se está quemando, el calor irradiado hacia la mancha y el aislamiento son por lo general insuficientes para permitir la quema de 1 mm de hidrocarburo. Si la cantidad de hidrocarburo que se vaporiza es superior a la que puede quemarse, se produce más hollín como resultado de la combustión incompleta, el viento traslada pequeñas gotas de combustible y pueden ocurrir pequeñas explosiones o bolas de fuego.

Los estudios realizados en los últimos 10 años indican que el tipo de combustible es relativamente poco importante para determinar cómo se enciende un hidrocarburo y qué tan eficazmente se quema. Sin embargo, los hidrocarburos pesados requieren tiempos de calentamiento más largos y una llama más caliente para quemarse que los hidrocarburos livianos. También se ha demostrado que los hidrocarburos pesados se queman más lentamente y con solo un 70% de eficiencia.

No es seguro si el hidrocarburo que se emulsifica totalmente con agua puede encenderse, pero el hidrocarburo que contiene algo de emulsión si puede encenderse y quemarse. La eficiencia de la quema es el volumen inicial de hidrocarburo antes de quemarse, menos el volumen que queda como residuo, dividido por el volumen inicial de hidrocarburo. La eficiencia es en gran medida una función del espesor de la capa de hidrocarburo.

El residuo del hidrocarburo que se está quemando consiste en gran parte en hidrocarburo no quemado al cual se le quitaron algunos productos más livianos o volátiles. Cuando el fuego se detiene, queda el hidrocarburo no quemado, que es demasiado delgado para mantener la combustión. Además del hidrocarburo no quemado, queda el hidrocarburo alterado que ha sido sujeto a un calor intenso. Finalmente, las partículas más pesadas se re-precipitan desde el penacho de humo hacia el fuego y así pasan a ser parte del residuo. Las quemaduras altamente eficientes de algunos tipos de crudo pesado pueden provocar un residuo de hidrocarburo que se hunde en el agua del mar después de enfriarse. Los residuos flotantes pueden recuperarse usando métodos similares a los usados para recuperar hidrocarburos muy pesados. Es posible recuperar pequeñas cantidades de residuos en forma manual, utilizando palas y absorbentes.

Pueden ser necesarias barreras de contención resistentes al fuego para concentrar el hidrocarburo en capas cuyo espesor permita que se quemen bien y en forma eficiente. Los tipos de barreras disponibles actualmente incluyen: barreras enfriadas por agua, barreras de acero inoxidable, barreras resistentes térmicamente y barreras cerámicas. La mayoría de las barreras resistentes al fuego, en especial las de acero inoxidable, requieren una manipulación especial debido a su tamaño y a su peso.

Las barreras resistentes al fuego, por lo general, son remolcadas en forma de U por dos botes o buques pequeños. El hidrocarburo es recolectado en la punta y quemado, y la barrera es remolcada de modo tal que el hidrocarburo continúe ingresando en la misma.



La velocidad de remolque debe mantenerse por debajo de los 0,4 m/s (0,75 nudos) para evitar la pérdida de hidrocarburo. Una barrera de 200 m brindará un área de quema máxima de unos 1500 m². Esta área de quema removería el hidrocarburo a una tasa máxima de 300 m³/h. La tasa para un crudo liviano típico sería la mitad de esto, y para un crudo más pesado podría llegar a 1/4.

Como es difícil mantener la configuración en U con dos buques remolcando, a menudo se extiende una trailla o una brida cruzada en el extremo abierto de la U para ayudar a mantener la forma. Se describen los conceptos de las barreras con otras formas y de desviación. También se analizan las posibles técnicas para utilizar los materiales disponibles y las barreras no convencionales.

Se describen los tipos de dispositivos de encendido disponibles para iniciar fuegos in-situ. La helitorcha utiliza combustible en gel para encender derrames desde un helicóptero. Se brindan los procedimientos detallados para abastecer de combustible y desplegar estos dispositivos. Con el correr de los años se han construido varios dispositivos de encendido de uso manual, algunos de los cuales pueden hacerse de materiales de fácil disponibilidad. Por ejemplo, se han encendido manchas con telas empapadas en combustible o absorbentes, lo que indica que el encendido por lo general no es una tarea difícil.

Todas las operaciones de quema deben realizarse teniendo en cuenta la seguridad. Deben tomarse precauciones para una buena comunicación y medidas de respaldo apropiadas. Las quemas deben controlarse por aeronave siempre que sea posible, a fin de brindar una alerta temprana sobre concentraciones de hidrocarburo pesado y otra información vital, como movimiento del penacho de humo y problemas con el remolque de barreras y otros equipos. Un método de respaldo para controlar las quemas es utilizar un buque más grande que ofrezca una visualización mejor de las operaciones que los buques más pequeños. Los buques de remolque deben equiparse con mangueras o monitores para trasladar hacia atrás o quemar el combustible que se acerque demasiado al buque. Los equipos de quema deben estar entrenados en métodos de escape, control de fuegos no deseados y extinción de incendios.

En este manual se analizan en forma exhaustiva las emisiones provenientes de la quema. Estas emisiones incluyen la precipitación de materia en partículas desde el penacho de humo, los gases en combustión, los hidrocarburos no quemados, los compuestos orgánicos producidos durante el proceso de quema y los residuos dejados en el lugar del quemado. Aunque las partículas de hollín están compuestas principalmente de partículas de carbono, también contienen diversos productos químicos absorbidos y adsorbidos.

1.2. Cómo y cuándo realizar la quema

La quema de hidrocarburos en el mar comprende varios pasos básicos que se resumen en la Figura 1. Cuando ocurre un derrame de hidrocarburos, la situación es examinada y analizada para determinar las medidas posibles. Se analiza el tipo de hidrocarburo, el espesor de la mancha y su estado en el momento en que puede aplicarse la quema. La "regla general principal" de la quema in-situ es que los hidrocarburos se encienden si el espesor de la mancha es por lo menos de 2 a 3 mm. Aunque pueden quemarse manchas de hidrocarburos más delgadas, casi siempre se quemarán cuando su espesor es superior a 2-3 mm.

Las preguntas a formular antes de decidir utilizar la quema in-situ en un derrame en particular se describen en la Figura 2.



Si es posible realizar la quema y la organización de respuesta está preparada para la quema, comenzará la planificación de la misma. Se formula un plan utilizando escenarios establecidos previamente, listas de verificación y procedimientos de seguridad. En la mayoría de los casos se requerirá contención, ya sea porque la mancha ya es demasiado delgada para encenderse o será demasiado delgada en el correr de unas pocas horas.

A continuación se transporta el personal y los equipos al sitio del derrame. En la mayoría de los casos se despliega una barrera resistente al fuego en la dirección del viento del derrame y comienza el remolque de la barrera. Cuando el hidrocarburo recolectado en la barrera es lo suficientemente espeso, es encendido utilizando una helitorcha o un dispositivo de encendido de uso manual. La Figura 3 muestra un primer plano del proceso de quema. El remolque de la barrera se reanuda y continúa hasta que se extingue el fuego o hasta que debe detenerse por motivos operativos. La quema y la marcha del remolque son controladas por personal en una aeronave o en un buque más grande desde donde es posible tener una visión general de la mancha y de las condiciones. El equipo que realiza el control puede también dirigir los remolques de la barrera hacia las concentraciones de la mancha contra el viento. Durante la quema, el control generalmente incluye la estimación del área de quema de hidrocarburo a intervalos específicos, de modo que pueda estimarse la cantidad total quemada. La cantidad de residuos se estima de modo similar. Podría controlarse la materia en partículas en la dirección del viento a los efectos de registrar posibles niveles de exposición.

En teoría, se ha propuesto que una quema en el mar con barrera remolcada puede detenerse liberando un extremo del remolque de la barrera o acelerando el remolque de modo que el hidrocarburo se sumerja debajo del agua. Existen dudas en cuanto a si estos dos métodos extinguirán una mancha totalmente encendida. Si la quema se detiene porque no hay suficiente hidrocarburo en la barrera, el remolque puede reanudarse yendo en la dirección del viento y luego girando en dirección contraria al viento antes de re-encenderla. Después de finalizada la operación de quema, por el día o por ser la única quema, el residuo de la quema debe ser quitado de la barrera. Como el residuo de la quema es muy viscoso, puede necesitarse un desnatador para hidrocarburos pesados, si hay gran cantidad de material. Es posible eliminar una pequeña cantidad de residuos en forma manual usando palas o absorbentes.

Históricamente, se han realizado muchas quemas en tierra, mientras que unas pocas se han realizado en el mar. La Tabla 1 resume estas quemas y algunas lecciones aprendidas. Más lecciones recogidas de estas quemas se ofrecerán a lo largo de esta Guía.



Figura 1: Pasos en la quema in situ

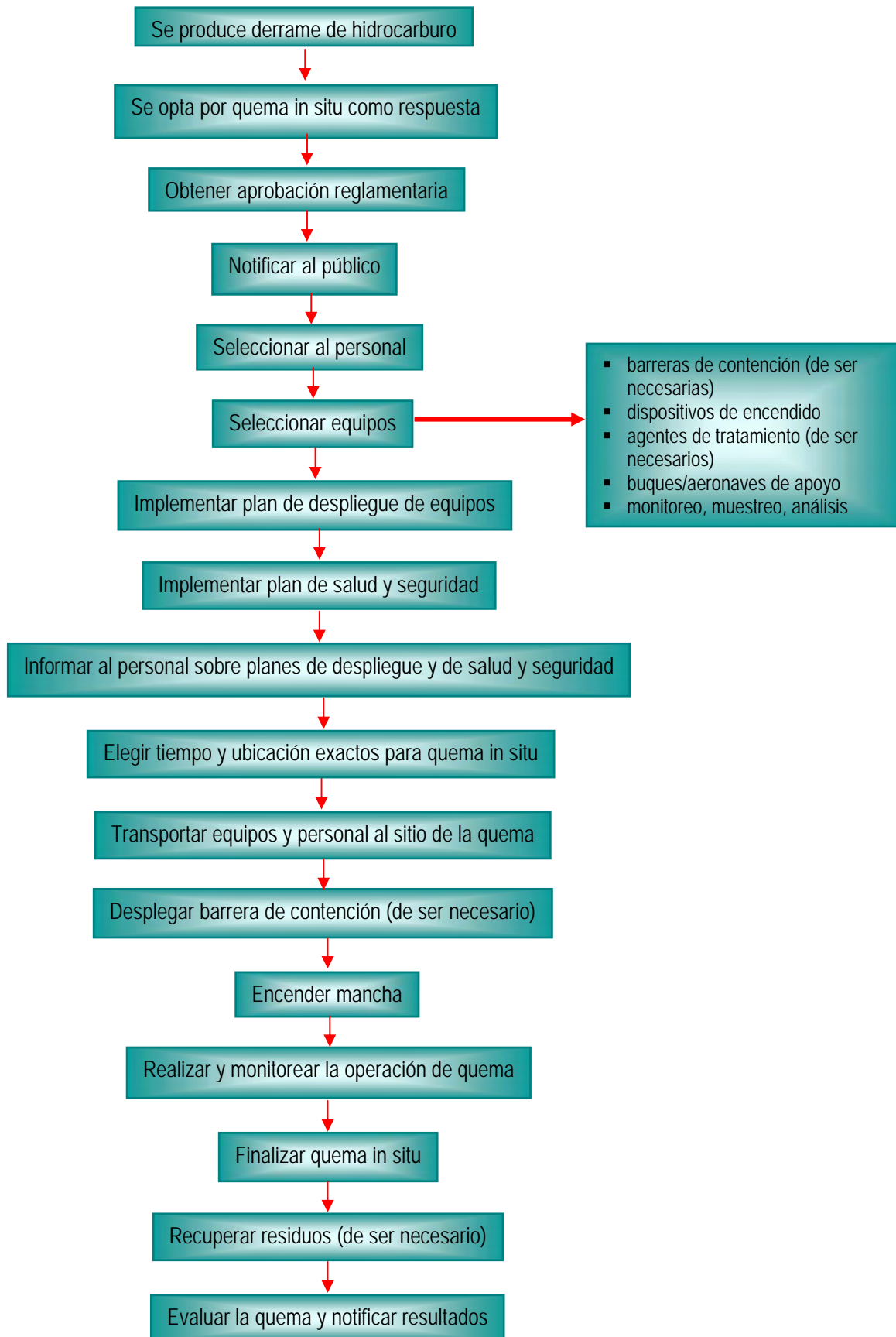




Figura 2: Diagrama de decisiones para la quema in situ

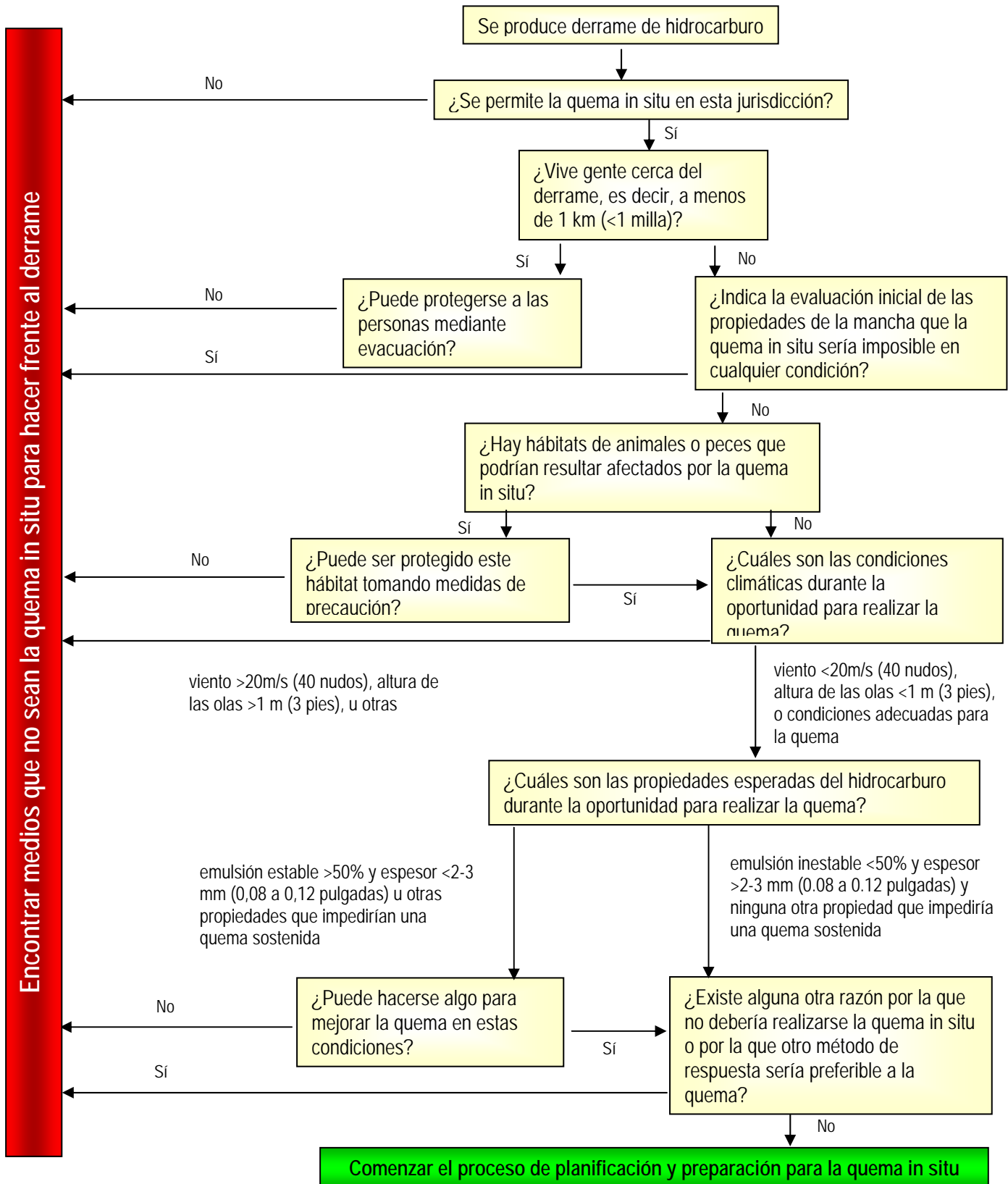




Figura 3: Quema en marcha





2. Evaluación de la factibilidad de la quema

2.1. Proceso de evaluación de la quema

Cuando ocurre un derrame de hidrocarburo, debe obtenerse información sobre su ubicación, las condiciones climáticas y otras condiciones pertinentes en el sitio. La planificación y preparación para la quema deben haberse realizado de antemano. La lista de verificación contenida en la Figura 1 y el árbol de decisiones de la Figura 2 se utilizan para decidir si es factible la quema.

Deben tomarse los siguientes pasos:

- Examinar los planes y procedimientos ya establecidos.
- Consultar con los organismos normativos en la jurisdicción.
- Evaluar la ubicación y el impacto del humo en los seres humanos y el medio ambiente.
- Decidir si el hidrocarburo puede quemarse, teniendo en cuenta el tipo de hidrocarburo y el espesor que se lograría.
- Evaluar la seguridad de cualquier quema propuesta.
- Evaluar las condiciones climáticas y las oportunidades de la quema.
- Proceder si se cumplen todas las condiciones.

2.2. Áreas donde puede prohibirse la quema

La quema puede prohibirse dentro de una distancia especificada de un área habitada, por ejemplo, dentro de 1 km, y dentro de una distancia especificada de la ribera, de instalaciones de carga, producción o exploración de petróleo, o de reservas naturales, colonias de aves o parques estatales, provinciales o nacionales. La quema también puede prohibirse en un parque marino o área de reserva natural, y en áreas designadas como objetivos militares o que hubieran sido utilizadas para desechar municiones.

Tabla 1: Algunas quemas históricas

Año	País o ubicación	Descripción	Toneladas quemadas	Hechos	Lecciones
1958	Canadá	Río Mackenzie, NWT	120	Primer registro de uso de quema in-situ en río utilizando barreras de troncos	Quema in situ posible con uso de contención
1967	Gran Bretaña	Torrey Canyon	800	Carga de buque tanque difícil de encender con dispositivos militares	Puede haber limitaciones en la quema
1969	Holanda	Serie de experimentos	10	Prueba con encendedor KONTAX, muchos derrames quemados	Es posible la quema en el mar
1970	Canadá	Arrow	50	Éxito limitado con la quema en áreas aisladas	Puede ser necesario el aislamiento para la quema



Tabla 1: Algunas quemas históricas (Cont.)

Año	País o ubicación	Descripción	Toneladas quemadas	Hechos	Lecciones
1970	Suecia	Othello / Katelysia	100	Hidrocarburo quemado entre hielo y en piletas	Es posible quemar hidrocarburo contenido por el hielo
1970	Canadá	Deception Bay	100	Hidrocarburo quemado entre hielo y en piletas	Es posible quemar hidrocarburo contenido por el hielo
1975	Canadá	Experimento en Balaena Bay	40	Múltiples manchas quemadas de hidrocarburo debajo del hielo	Demostró la facilidad de la quema de hidrocarburo en hielo
1976	Estados Unidos	Argo Merchant	0	Se intentó quemar manchas delgadas en el mar	No se logró quemar manchas delgadas en mar abierto
1976/82	Canadá	Derrames Nipisi	~500	Dos grandes derrames en 1976 y 1982 fueron quemados parcialmente	Residuo reduce potencial de revegetación
1978/82	Canadá	Serie de experimentos	<5	Se estudiaron muchos parámetros de quema	Se detectó que la limitación de la quema es el espesor
1978	Estados Unidos	West Hackberry	<1000	Derrame quemado en forma accidental	La quema fue efectiva para la remoción
1979	Atlántico Medio	Atlantic Express / Aegean Captain	>10.000	Hidrocarburo no contenido quemado en el mar tras accidente	Las manchas no contenidas se quemarán en el mar directamente después del derrame
1979	Canadá	Imperial St. Clair	<500	Hidrocarburo quemado en condiciones de hielo	Es posible quemar hidrocarburos entre el hielo
1983	Canadá	Edgar Jordain	200	Buque que contenía hidrocarburos e hidrocarburo circundante quemados	Eficacia práctica de la quema entre el hielo



Tabla 1: Algunas quemas históricas (Cont.)

Año	País o ubicación	Descripción	Toneladas quemadas	Hechos	Lecciones
1984-5	Estados Unidos	Experimento en el Mar de Beaufort	5	Se prueba quema con varias capas de hielo	Se prueba quema con varias capas de hielo
1989	Estados Unidos	Exxon Valdez	30	Quema de prueba realizada utilizando barrera a prueba de fuegos	Una quema demostró practicidad y facilidad
1990	Canadá	Columbia Británica	<150	Derrame de batería de tanques en pantano	El anegamiento del pantano ayudó a proteger la vida vegetal
1991	Estados Unidos	Primera etapa de experimentos Mobile	50	Varias quemas de prueba en batea recientemente construida	Varios hallazgos físicos y primeros resultados sobre emisiones
1992	Estados Unidos	Chitipin Creek	200	Derrame de oleoducto quemado utilizando nafta para encendido	Quema exitosa, pero residuo difícil de limpiar
1993	Canadá	Quema costa afuera en Terranova	100	Quema a gran escala costa afuera exitosa	Cientos de mediciones, se demostró practicidad
1994	Rusia	Derrames de oleoducto de Kolva	>10.000	Quema a gran escala durante largo período de tiempo, principalmente en tierra	El residuo es problemático, se necesita más control para lograr eficiencia
1994	Noruega	Serie de quemas en Spitzbergen	50	Quemas a gran escala de crudo y emulsiones	Gran área de encendido produce quema de emulsiones
1994	Noruega	Serie de quemas en Spitzbergen	100	Ensayo de quema sin contención	Se logró la mayor parte de la quema sin contención
1996	Gran Bretaña	Prueba de quema	15	Primera prueba de quema con contención en Gran Bretaña	Se demostró la practicidad de la técnica
1997	Estados Unidos	Derrame en Luisiana	100	Derrame de oleoducto	Condensado quemado bien y en forma limpia



2.3. Análisis del Beneficio Ambiental Neto y escenarios

Todas las decisiones relacionadas con la respuesta ante derrames son soluciones transaccionales. El Análisis del Beneficio Ambiental Neto (ABAN) es una herramienta para ayudar a los encargados de la toma de decisiones a seleccionar la o las opciones o estrategia de respuesta a un derrame de hidrocarburos que tendrá como resultado el menor impacto negativo en el medio ambiente. El ABAN se describe como un “proceso” para obtener un consenso entre los grupos de interés que considera y evalúa las ventajas y desventajas de las diferentes opciones de respuesta en comparación con las ventajas y desventajas de la limpieza natural (ausencia de respuesta) para llegar a una decisión en cuanto a la respuesta ante un derrame que provoque los menores impactos ambientales y socioeconómicos posibles. Una excelente referencia sobre el ABAN es el Volumen 10 de la Serie de Informes de IPIECA - “Elijiendo opciones de respuesta a derrames para minimizar el daño: *Análisis de Beneficio Ambiental Neto*”, que puede descargarse del sitio web de IPIECA (www.ipieca.org).

Las decisiones posteriores al derrame pueden tomarse mejor en forma oportuna si se basan en análisis, trabajos científicos, consultas y convenios realizados por los grupos de interés correspondientes antes de que ocurra un derrame de hidrocarburos. Por este motivo, el ABAN debe realizarse como parte de la planificación de contingencias ante derrames de hidrocarburos. Las contramedidas de respuesta que se evalúan por lo general en el proceso ABAN son las siguientes:

- Medidas mecánicas (contención y recuperación con barreras y desnatadores)
- Recuperación manual (rastrillos y palas)
- Contramedidas químicas (dispersantes)
- Quema in situ
- Ninguna respuesta (limpieza natural)

Existen diversos pasos a tomar para implementar un ABAN eficaz. Estos incluyen:

- Obtener información detallada sobre el ambiente local. El término “ambiente” incluye el entorno natural – como manglares, arrecifes de coral, áreas de anidamiento de aves, varios tipos de playas, etc. – y el entorno hecho por el hombre – como reservorios de agua, muelles, instalaciones turísticas, etc. De hecho, si no se ha hecho aún, esta es una gran oportunidad para realizar un mapa de sensibilidad exhaustivo que indique TODOS los sitios ambientales sensible (tanto naturales como hechos por el hombre). **NOTA:** Recordar que la sensibilidad puede cambiar según la estación. Por ejemplo, las aves migratorias no tienen obviamente un alto grado de prioridad alta cuando no están presentes, aunque si pueden tenerla sus áreas de anidamiento.
- Identificar los productos que podrían posiblemente derramarse amenazando estos sitios. En esta evaluación se incluiría la expansión prevista, el espesor y el movimiento del hidrocarburo, así como la deposición, incluso el desgaste y la composición química.
- Una vez recopilada la información arriba mencionada, debe asignarse la prioridad a cada sitio en relación con su sensibilidad, y se le debe calificar según su capacidad de recuperación. Por ejemplo, los manglares pueden tener una alta calificación en cuanto a sensibilidad y un índice de recuperación “lento”, mientras que una playa arenosa turística puede ser relativamente menos sensible y presentar un índice de recuperación alto. La clave es trabajar en estrecha relación con todos los grupos de interés, en particular las autoridades gubernamentales.



- Considerar todas las estrategias de respuesta que podrían utilizarse para responder a un derrame de los diversos productos identificados.
- Una vez más, trabajando con los grupos de interés, desarrollar predicciones en cuanto a cómo afectará cada una de las estrategias de respuesta identificadas a cada una de las áreas sensibles identificadas. Por ejemplo, en el caso de los manglares, podría predecirse que estos se verían afectados en forma significativa si no se tomara ninguna acción o se realizara la recuperación a mano, mientras que no resultarían demasiado afectados si el hidrocarburo fuera quemado o dispersado antes de interactuar con los manglares.
- Una vez completado todo este trabajo, se realiza una evaluación de cada una de las estrategias de respuestas y sus efectos previstos sobre cada uno de los sitios sensibles en comparación con las ventajas y desventajas en relación con el ambiente.
- Finalmente, utilizando toda la información obtenida es posible identificar el método de respuesta óptimo.

Tal como se ve, es difícil realizar este proceso en el momento de ocurrencia del derrame. Debe ser realizado como parte del proceso de planificación para contingencias con los aportes de todos los grupos de interés, incluso los organismos gubernamentales correspondientes. Trabajando juntas, todas las partes comprenderán mucho mejor lo que está en juego en caso de que ocurra un derrame y cómo responder mejor ante el mismo.

Como un derrame nunca es igual que otro, al elaborar técnicas de respuesta ante derrames resulta útil considerar diversos escenarios posibles. En el Apéndice A se describen los siguientes escenarios específicos de quema de derrames y las estrategias sugeridas para tratarlos: quema en el mar, quema en bahía protegida, quema en un río, quema en marisma y quema en zona intermareal.

Las estrategias enumeradas en el Apéndice A pueden implementarse mejor utilizando tácticas específicas. Estas tácticas se enumeran en el Apéndice C y cada una de ellas es ilustrada por separado en las Figuras C1 a C9. Cada una de estas tácticas presenta ventajas y limitaciones específicas.

La Figura C1 muestra la bien conocida táctica consistente en utilizar una barrera a prueba de fuegos remolcada y quemar el hidrocarburo directamente en la barrera. Como sucede con todas las barreras, esta técnica tiene una limitación relativa, ya que la corriente debe ser de 0,4 m/s (0,7 nudos) antes de que se pierda el hidrocarburo por debajo o por encima de la barrera. Esto puede superarse en el mar abierto, realizando el remolque a velocidad relativa, a pesar de la corriente de la superficie. Esto significa que, si la corriente real excede los 0,4 m/s (0,7 nudos), el remolque de la barrera puede estar deslizándose en la dirección de la corriente. Otra limitación de este método es que el fuego podría propagarse hacia la fuente del hidrocarburo o poner en peligro a los botes de remolque y su tripulación.

La Figura C2 muestra la recolección del hidrocarburo en forma separada, el remolque de la barrera lejos del fuego y la quema del hidrocarburo. Este enfoque impide que el fuego se extienda a la fuente del hidrocarburo. Otra ventaja es que el hidrocarburo puede recogerse utilizando una barrera convencional y después transfiriéndolo a una barrera resistente al fuego para su quema real. Dado que la barrera resistente al fuego es más cara y más difícil de desplegar que una barrera convencional, esta opción tiene algunos beneficios prácticos y económicos.



Las Figuras C3 y C4 muestran el uso de la barrera remolcada para quemar y separar la fuente del fuego del propio fuego, y el uso de una barrera resistente al fuego para la protección de las instalaciones turísticas. La Figura C5 muestra el uso de una barrera anclada para la quema de hidrocarburos. Esta táctica no conlleva ningún riesgo en cuanto a los botes de remolque y su tripulación. Sin embargo, es posible que la barrera no mantenga un alineamiento correcto con el viento y la corriente, y también deben tenerse en cuenta la velocidad relativa de la corriente de la superficie y la barrera. La Figura C6 muestra el uso de una barrera de desvío anclada para dirigir al hidrocarburo lejos de las instalaciones turísticas o hacia áreas de quema. La Figura C7 muestra la quema de hidrocarburo contra la ribera. Esto solo puede hacerse si no hay material combustible, como árboles y construcciones, en la ribera. Además, puede quedar residuo de hidrocarburo altamente adhesivo en la ribera, lo cual dificultaría la remoción.

El hidrocarburo puede ser contenido en aguas poco profundas utilizando una barrera de acero temporaria, como se indica en la Figura C8. La barrera se construye de hojas de acero corrugado y varas de metal. Como una parte del acero corrugado está en el agua, el calor es disipado y el metal en capas debería permanecer intacto el tiempo suficiente como para que se quemara el hidrocarburo. Es importante destacar que no se han realizado demasiadas pruebas de este método, por lo que deben implementarse medidas de respaldo en caso de falla.

Finalmente, la Figura C9 muestra la quema de hidrocarburo no contenido. Si bien este método es simple y económico, la capa de hidrocarburo debe ser lo suficientemente espesa como para encenderse y quemarse, lo cual es poco común para la mayor parte de los derrames no contenidos de crudo.

2.4. Quema en lugares especiales

Hay poca experiencia en la quema en diversos lugares especiales. Esta sección contiene información resumida sobre el uso de la quema en lugares diferentes al mar abierto, utilizando una barrera resistente al fuego.

Se han realizado varias quemas en pantanos en todo el mundo, incluso quemas recientes y bien documentadas realizadas en Luisiana y Texas. Estas quemas fueron exitosas y brindaron información importante sobre la protección de la vegetación de los pantanos y la mejor época del año para realizar la quema. Las raíces de la vegetación de los pantanos, que contiene la parte de propagación de las plantas, son sensibles al calor. Si la quema se realiza en una época seca del año, como por ejemplo, a fines del verano, estas raíces se morirán. El anegamiento es una técnica útil para quitar el hidrocarburo de un pantano protegiendo las raíces de las plantas.

Esto puede lograrse colocando una berma entre las zanjas de drenaje o bombeando el agua hacia las áreas altas del pantano. Es necesario tener cuidado de utilizar agua para el anegamiento de salinidad similar a la del pantano, y restaurar el drenaje natural del pantano después del anegamiento.

Se han realizado varios estudios sobre la profundidad del agua más apropiada para minimizar los daños. Estos estudios han mostrado que los daños a la *Spartina* y otras plantas del pantano son mínimos cuando la profundidad del agua es de 10 cm sobre las raíces y la superficie del suelo. Los daños a las plantas pueden medirse cuando la profundidad del agua es de 2 cm, y son más graves aún cuando el agua tiene una profundidad de 2 cm por debajo de la superficie del suelo.



Sin embargo, a menudo los pantanos no pueden anegarse, por lo que la quema podría realizarse cuando el pantano está mojado, por ejemplo, en la primavera. Si un pantano no puede quemarse en un plazo de un mes después de producido el derrame, por lo general la quema no tiene ningún beneficio, ya que el hidrocarburo ya habrá penetrado y dañado seriamente la mayor parte de la vegetación. Cuando se realizan quemas en pantanos, hay que tener cuidado de no dañar los arbustos y los árboles que crecen en las áreas traseras y más altas del pantano. Es necesario que haya un rompefuegos disponible para impedir que el fuego se extienda fuera del pantano y asegurar que el viento no conduzca al fuego hacia áreas forestadas cercanas.

La quema puede realizarse cerca de la costa si no hay personas en el área y no hay peligro de propagación del fuego a las plantas de la costa. Como estos dos factores no siempre pueden garantizarse, no suelen realizarse quemas cerca de la costa. La excepción es el Ártico, donde estas condiciones suelen existir y se practica con frecuencia la quema cerca de la costa. Dichas quemas han sido muy exitosas, en particular si el hidrocarburo es contenido por la ribera. Si además hay viento de la costa, el hidrocarburo se concentra contra la ribera.

Cuando el hidrocarburo queda en las piletas mareales que se forman durante la marea baja, el encendido se realiza desde arriba utilizando una helitorcha u otro dispositivo de encendido desplegable en el aire, y la quema puede ser la única solución de limpieza viable. Acceder al hidrocarburo derramado desde la costa o desde el agua entre las mareas puede ser peligroso para el personal de respuesta, por lo que no se recomienda realizar dicho procedimiento. Sin embargo, la oportunidad para la quema es muy estrecha, dadas las fluctuaciones extremas entre las mareas que entran y salen. También resulta difícil predecir la ubicación de las piletas de hidrocarburos, y es posible que no haya suficiente tiempo como para realizar una supervisión aérea antes de las operaciones de quema. Este tipo de operación de quema in situ resultaría útil para un derrame de hidrocarburos en un área de extensas superficies inter-mareales.



3. Cómo realizar la quema

3.1. Quema sin contención

La quema controlada de manchas no contenidas a veces es posible si la mancha es lo suficientemente espesa y se tienen en cuenta todos los otros factores de seguridad. Como lleva tiempo llevar las barreras de contención a un sitio, si la mancha de hidrocarburo es lo suficientemente espesa, puede ser mejor encender y quemar la mayor parte posible de la mancha como primera respuesta, y después utilizar las barreras de contención para espesar lo que queda de la mancha para una segunda quema. El hidrocarburo no contenido puede encenderse con una helitorcha en el lugar donde la mancha es más espesa. Esa técnica se ilustra en la Figura C9.

Al quemar una mancha no contenida, el personal debe asegurarse de que no haya un vínculo directo entre el hidrocarburo a quemar y la fuente del hidrocarburo, es decir, el buque tanque o la plataforma, para impedir que el fuego se extienda hacia dicha fuente. La opción más segura y más rápida es mover la fuente lejos de la mancha. En el caso de un derrame de un buque tanque, esto puede hacerse utilizando un remolcador. Cuando el derrame proviene de una plataforma u otra fuente fija, la parte de la mancha a quemar debe moverse lejos de la fuente, y la mancha de hidrocarburo que queda lejos de la fuente debe aislarse utilizando barreras de contención.

Varios derrames de hidrocarburos se han prendido fuego en forma accidental estando contenidos y se han quemado bien. Si bien no se sabe qué condiciones son las mejores para quemar hidrocarburos no contenidos, el hidrocarburo emulsionado puede detener o retardar la expansión del hidrocarburo no contenido mientras se quema. En una quema grande, grandes volúmenes de aire son atraídos hacia el fuego, lo que se denomina "tormenta de fuego". Esto puede brindar una fuerza suficiente como para impedir la propagación del hidrocarburo. El hidrocarburo de buques tanque se ha quemado en el mar porque la capa es espesa cerca de la fuente del derrame. Ese tipo de quema se muestra en la Figura 4.

Figura 4: Buque tanque quemándose





En áreas remotas, a veces pueden utilizarse barreras naturales, como riberas, bancos de arena costa afuera o hielo para contener el hidrocarburo para poder quemarlo. Las riberas deben consistir en arrecifes de coral, rocas, grava o dunas de arena, a fin de resistir la quema, y debe haber una distancia suficiente entre el hidrocarburo quemado y cualquier material combustible, como estructuras de madera, bosques o césped. En áreas pobladas, las condiciones climáticas deben ser apropiadas para que el penacho de humo se dirija costa afuera. También pueden utilizarse zonas de convergencia para contener el hidrocarburo. Debe consultarse a oceanógrafos locales para determinar la ubicación de estas zonas. Las autoridades locales (es decir, la Guardia Costera o una organización similar) y los pescadores también están familiarizados con las corrientes de su área.

3.2. Métodos de contención y desviación de hidrocarburos

La mancha de hidrocarburos debe tener un espesor de por lo menos 2 a 3 mm para ser encendida y quemarse. En esta sección se analizan varios métodos para aumentar el espesor de una mancha hasta este nivel o mantener un espesor en o por encima de este nivel.

La principal inquietud en cuanto a las barreras de contención para la quema in situ es la capacidad de los componentes de la barrera de soportar el calor durante períodos de tiempo prolongados. Hay pocas barreras resistentes al fuego disponibles comercialmente porque el mercado es pequeño y el costo de producción es alto. Las barreras resistentes al fuego cuestan bastante más que las barreras convencionales. Estas barreras han sido probadas a menudo para determinar su resistencia al fuego y su capacidad de contención.

Los diferentes tipos de barreras resistentes al fuego son las barreras enfriadas por agua, las barreras de acero inoxidable, las barreras resistentes térmicamente y las barreras cerámicas. Las barreras resistentes al fuego, en especial las de acero inoxidable, requieren una manipulación especial debido a su tamaño y a su peso. El aspecto y el manejo de las barreras resistentes térmicamente es similar al de las barreras convencionales, pero las primeras consisten en varias capas de materiales resistentes al fuego. La figura 5 muestra los diversos tipos de barreras resistentes al fuego.

Las barreras convencionales por lo general no pueden utilizarse para contener el hidrocarburo que se está quemando, ya que los materiales que las componen se queman o se derriten, comprometiendo la capacidad de la barrera de contener el hidrocarburo. Sin embargo, suele ser mucho más rápido llevar una barrera convencional al sitio de un derrame, ya que son mucho menos caras, y en los depósitos de respuesta a derrames hay muy pocas barreras resistentes al fuego.

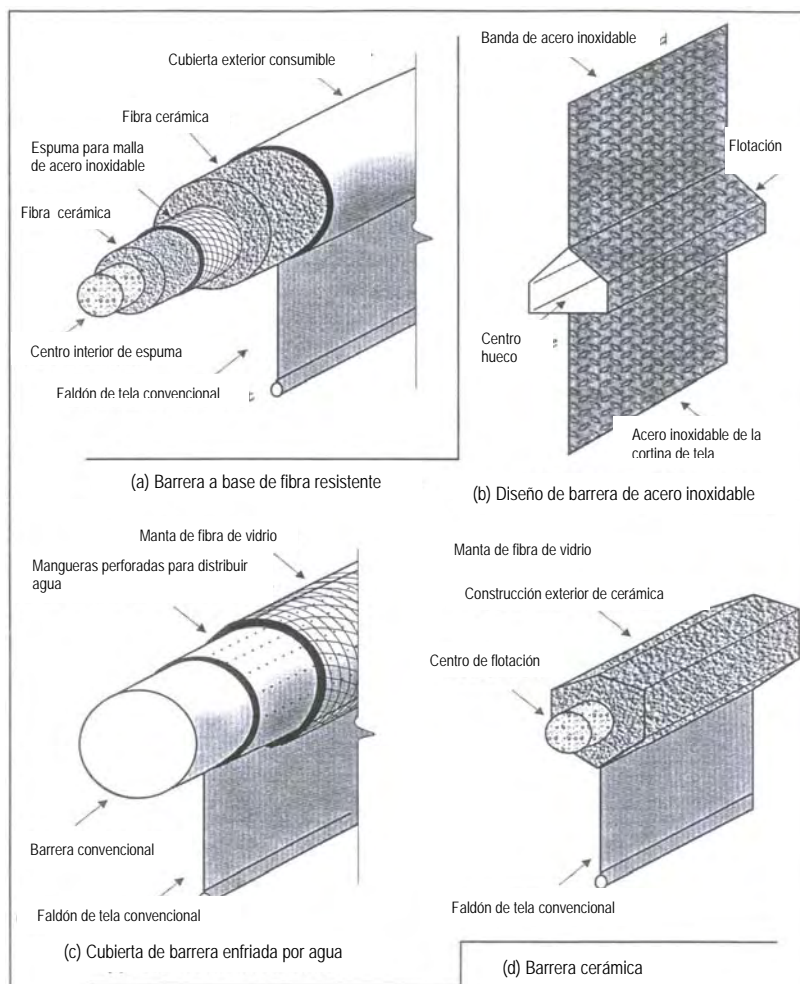
Pueden utilizarse barreras convencionales para acorralar una mancha y contenerla hasta obtener una barrera resistente al fuego. Estas barreras también pueden utilizarse para contener y espesar una mancha hasta que llega a un espesor adecuado para la quema, y después quemarla sacrificando la barrera. Sin embargo, la eficiencia general de la quema por este método es cuestionable, ya que la barrera no permanecerá intacta por mucho tiempo una vez que se está quemando el hidrocarburo. Cuando la barrera falla, el derrame puede expandirse y perder espesor hasta que no pueda mantenerse la quema.



A veces pueden utilizarse troncos u otro material flotante como barreras temporarias. En los ríos angostos, pueden construirse represas en la capa superior de agua para contener o desviar el hidrocarburo para la quema.

El tamaño de barrera que se requiere para una quema in situ depende de la cantidad de hidrocarburo a quemar. Por lo general, el hidrocarburo en la barrera no debe llenar más de un tercio del área de la catenaria. Si la barrera es demasiado larga, será difícil controlarla, y la presión sobre la barrera puede ser demasiado grande. Si la barrera es demasiado pequeña, es posible que la catenaria no sea lo suficientemente grande como para contener el hidrocarburo quemado.

Figura 5: Diseños de barreras resistentes al fuego
(Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)



Por lo general, el largo de las barreras es de 150 a 300 m, y la mayoría de las barreras comerciales vienen en medidas estándar de 15 o 30 m. La Figura 6 muestra la relación entre el largo de la barrera y el área del hidrocarburo que puede contenerse. La altura general de la barrera debe ser igual a la máxima altura prevista de la ola (olas cortas, no grandes) desde el pico hasta el canal. La Figura 7 muestra una quema con remolque.



Un factor importante para contener el hidrocarburo es la dirección y la velocidad de remolque de la barrera. La quema debe producirse lo suficientemente lejos de los buques de remolque como para no poner en peligro a los buques ni al personal a bordo de ellos. Sin embargo, a menos que la línea de remolque sea muy corta (solo unos pocos metros de largo), el calor del fuego no debería ser un tema de inquietud. Además, como la barrera se remolca contra el viento, el humo de la quema no debe alcanzar los buques de remolque. La Figura 8 muestra una quema desde una barrera de contención que no se orientó directamente hacia el viento.

Por lo general, las líneas de remolque desde los botes de remolque deben tener por lo menos 75 m de largo. La barrera siempre debe remolcarse hacia el viento, de modo tal que el humo quede atrás. Como la velocidad del remolque se mide en relación con la corriente, es posible que deba remolcarse la barrera muy lentamente, o incluso en la dirección del viento, para mantener una velocidad lo suficientemente lenta en relación con la corriente al remolcar hacia el viento. Sin embargo, si la barrera es remolcada con demasiada lentitud, la quema puede empezar a moverse hacia el extremo de la misma.

En general, la barrera debe remolcarse a una velocidad inferior a 0,4 m/s (0,7 nudos) en relación con la corriente, a fin de impedir que el hidrocarburo se derrame por sobre la barrera o quede atrapado debajo. Es posible que la velocidad de remolque deba aumentarse en forma periódica si la quema comienza a abarcar más de dos tercios de la catenaria de la barrera. Si el hidrocarburo contenido queda atrapado en la columna de agua por debajo de la barrera o se salpica por sobre la misma, retornará a la superficie o se concentrará directamente debajo del eje de la barrera. El hidrocarburo podría reencenderse quemándolo dentro de la barrera o por el hidrocarburo que salpica por sobre esta.

Otro factor importante para asegurar la contención correcta del hidrocarburo para la quema es la configuración de la barrera. Las barreras pueden remolcarse de diversas formas, dependiendo de los equipos disponibles y de las condiciones climáticas y el estado del mar. La figura 9 muestra las diversas configuraciones de las barreras convencionales para derrames de hidrocarburos.

La configuración estándar es una barrera resistente al fuego conectada con líneas de remolque a dos buques por cada extremo, para remolcar la barrera en una catenaria o en forma de U, como se indica en la Figura 9 (a). Nota: Si se agrega una barrera de contención simple de tamaño similar como barrera principal en cada extremo de la barrera resistente al fuego, es posible aumentar la velocidad de encuentro con el hidrocarburo al realizar el remolque en una configuración en U. A menudo se ata una correa o una brida cruzada en cada lado de la barrera varios metros por detrás de los buques de remolque para asegurar que la barrera mantenga la forma en U correcta, como se muestra en la Figura 9 (b). Esta correa o brida cruzada resulta útil para mantener la apertura correcta en el remolque de la barrera, y para impedir la formación accidental de la configuración en J. La correa también puede atarse a los buques, como se muestra en la Figura 9(d). La ventaja de este método es que los operadores de los botes pueden soltar la correa muy rápidamente en caso de emergencia.

Al utilizar la configuración estándar en U, puede ser difícil asegurar que los dos buques de remolque mantengan la misma velocidad. Para superar este problema y aumentar el control de la configuración de la barrera, pueden utilizarse tres buques, tal como se muestra en la Figura 9(c).



Un buque remolca la barrera tirando del centro utilizando líneas de remolque en cada extremo de la U, mientras que los otros dos buques tiran hacia fuera desde los extremos de la barrera para mantener la forma en U.

Figura 6: Nomograma para calcular la quema o el área de la mancha
(Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

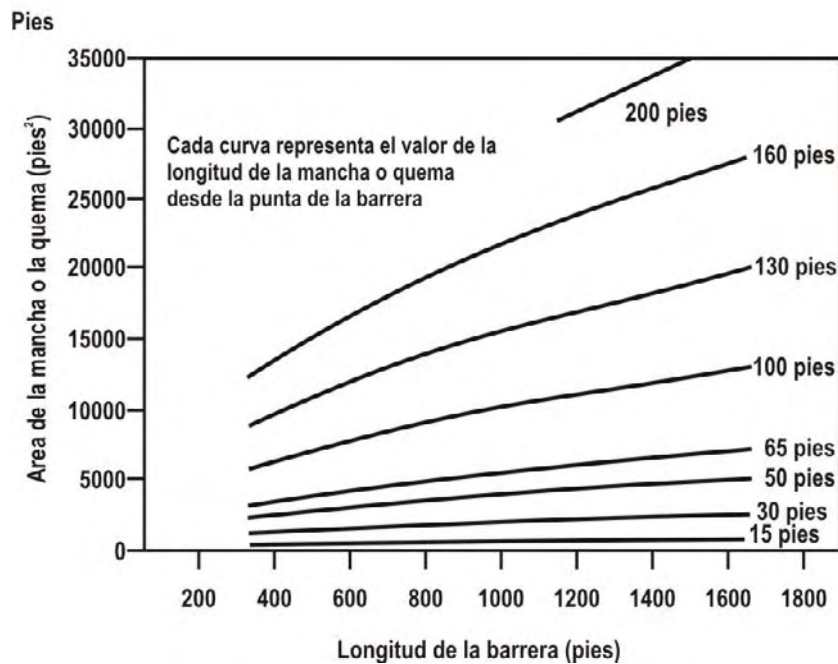
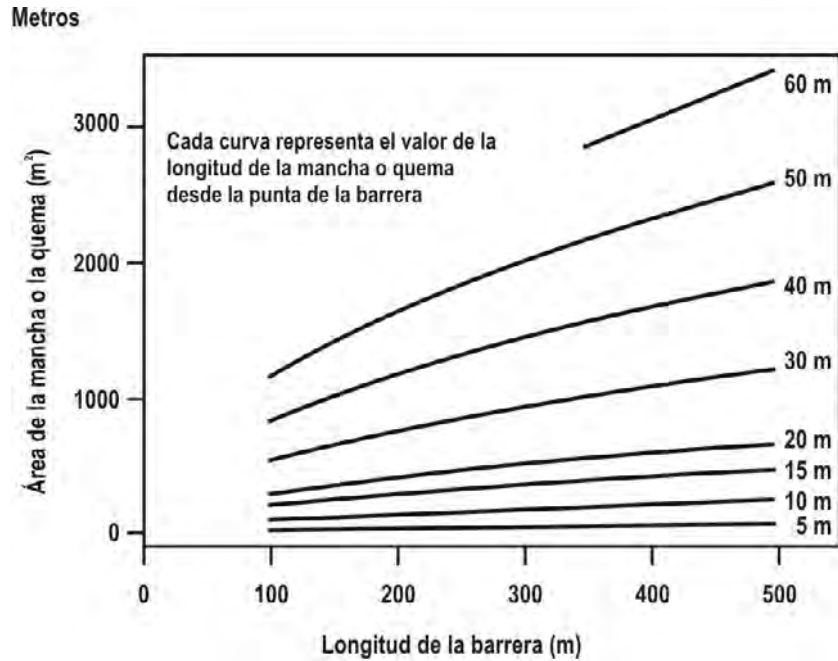




Figura 7: Quema de prueba en el mar utilizando una barrera a prueba de fuego para contención
En el momento en que se sacó esta foto sólo se está quemando el hidrocarburo en la parte posterior de la mancha, ya que la parte anterior es demasiado delgada.

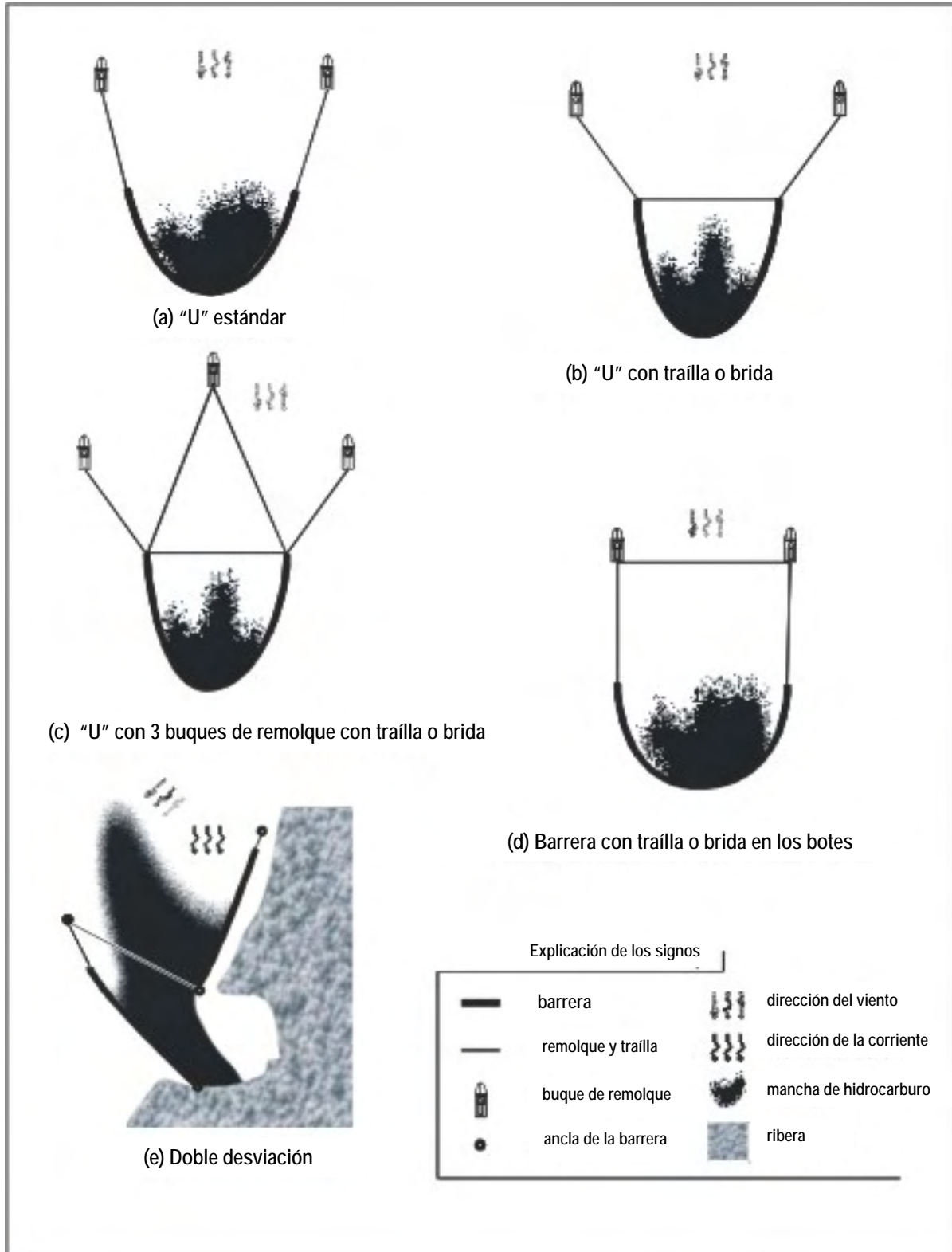


Figura 8: Quema de prueba en el mar
Nótese que la barrera se remolcó en forma incorrecta en la dirección del viento y hay una pérdida debajo de la misma.





Figura 9: Configuraciones de barreras para quema in situ
(Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)





Si el hidrocarburo está cerca del agua, puede usarse una barrera o barreras para desviarlo a un área calma, como una bahía, donde pueda quemarse. La Figura 9(e) ofrece un ejemplo de este método utilizando dos barreras. Las barreras de desviación deben posicionarse en un ángulo en relación con la corriente que sea lo suficientemente amplio como para desviar el hidrocarburo pero no demasiado como para que la corriente impida el uso correcto de la barrera. La barrera debe mantenerse en su lugar mediante anclas, buques de remolque o líneas atadas a la costa.

Cuando el derrame tiene lugar cerca de la costa, pueden utilizarse anclas para impedir el movimiento de las barreras. Sin embargo, es importante utilizar el ancla apropiada, en particular en las corrientes altas, a fin de asegurar que la barrera se mantenga en su lugar durante toda la quema.

Estas configuraciones también se ilustran gráficamente en las Figuras C1 a C9 en el Apéndice C.

A continuación se describe un procedimiento típico para desplegar las barreras en aguas abiertas desde un buque utilizando una configuración en U:

- El buque desde el cual se despliega la barrera está ubicado lo suficientemente lejos del derrame en la dirección del viento como para que haya tiempo suficiente para desplegar la barrera antes de llegar al hidrocarburo.
- El buque de despliegue se alinea de modo tal que su proa quede contra el viento.
- Antes de desplegar desde la cubierta la primera parte de la barrera, se ata una línea de remolque para el buque de remolque en el extremo.
- La barrera se despliega desde su popa de modo tal que el viento haga que la barrera se arrastre por detrás del buque.
- Cuando se despliega la última parte, el extremo final de la barrera es atado con una línea de remolque al buque de despliegue, que ahora pasa a ser uno de los buques de remolque.
- La línea de remolque en el otro extremo de la barrera se ata al segundo buque de remolque.
- El segundo buque de remolque se dirige en la dirección contraria al viento hasta que se forma la configuración en U.

Si se usa una correa o brida cruzada a lo largo de la apertura de la U [ver Figuras 9 (b), (c) y (d)], esta línea debe atarse al extremo de la barrera o línea de remolque más cercana al buque de despliegue antes de desplegar la última parte. Una vez formada la U, un tercer buque deberá llevar esta línea hasta el otro extremo de la barrera o línea de remolque y conectarla. Si se usa, como ilustra la Figura 9(c), un tercer buque remolcador para dar estabilidad, también deben atarse las líneas de remolque de este tercer buque a medida que se despliega la barrera y luego atarse al tercer buque, el cual se sitúa entre y por delante de los otros dos buques remolcadores.

El método para desplegar barreras de desviación en un río es muy diferente al de desplegar barreras de contención en configuración en U en mar abierto. La barrera debe posicionarse en un ángulo en relación con la corriente que sea lo suficientemente amplio como para desviar el hidrocarburo, pero no demasiado como para que la corriente impida el uso correcto de la barrera. Por tanto, la barrera debe mantenerse en su lugar mediante líneas a la costa o buques de remolque o anclando la barrera en el lecho del río. A menos que se pueda fijar la barrera a ambas riberas, generalmente es más seguro usar anclas.



Se puede colocar una barrera de apoyo 200 a 300 m detrás de la quema para contener el hidrocarburo que haya quedado atrapado o se haya salpicado sobre la barrera resistente al fuego durante la quema. Se puede usar una barrera convencional que no es resistente al fuego, ya que cualquier hidrocarburo encendido que se haya apartado se extinguiría por sí solo o desde un buque de extinción, antes de que llegue a esta barrera.

También se ha determinado que el hidrocarburo que escapa de la barrera resistente al fuego se acumula normalmente detrás de la barrera debido a los remolinos que se forman en esta área. Generalmente, este hidrocarburo queda en esta área durante cierto tiempo, por lo que puede re-encenderse y permanecer encendido. Si este hidrocarburo escapa, se extiende y se afina demasiado para soportar la quema y puede ser recogido con seguridad en la barrera de respaldo.

3.3. Dispositivos de encendido

Se han utilizado varios dispositivos o métodos de encendido, tanto comerciales como no comerciales, para encender manchas de hidrocarburo, aunque los métodos de encendido de hidrocarburo en agua no se han documentado debidamente. Muchos de los métodos utilizados son modificaciones de los dispositivos de encendido empleados para otros fines.

En general, un dispositivo de encendido debe cumplir dos criterios básicos para ser eficaz. Debe aplicar suficiente calor para producir suficientes vapores de hidrocarburo para encenderlo y luego mantenerlo encendido, y su uso debe ser seguro. Los temas de seguridad que deben considerarse cuando se hacen funcionar dispositivos de encendido se analizan más adelante.

Los dispositivos comerciales más complejos que se usan hoy para encender manchas de hidrocarburos son las helitorchas. Estas son dispositivos colgados de un helicóptero que lanzan paquetes o glóbulos de combustible gelificado encendido y producen una llama a 800 °C que dura hasta 6 minutos. Este tipo de encendedor fue diseñado para la industria forestal y es usado ampliamente para la gestión de incendios forestales.

Existen dos sistemas de helitorcha apropiados para encender quemas in situ: el Simplex Helitorch fabricado por Simplex Manufacturing de Portland, Oregon, y el Universal Drip Torch que puede obtenerse en Universal Helicopters of Deer Lake, Terranova, o Canadian Helicopters of Prince George, Columbia Británica. El Simplex Helitorch fue usado eficazmente durante el ejercicio de quema in situ NOBE fuera de la costa de Terranova en el año 1993, como ilustra la Figura 10.



Figura 10: Una helitorcha en funcionamiento.

En general, un dispositivo de encendido debe cumplir dos criterios básicos para ser eficaz. Debe aplicar suficiente calor para producir suficientes vapores de hidrocarburo para encenderlo y luego mantenerlo encendido, y su uso debe ser seguro. Los dispositivos comerciales más complejos que se usan hoy para encender manchas de hidrocarburos son las helitorchas. Estas son dispositivos colgados de un helicóptero que lanzan paquetes o glóbulos de combustible gelificado encendido y producen una llama a 800 °C que dura hasta 6 minutos.



Si bien las dos unidades se arman de forma diferente, las mismas funcionan de manera similar. Ambas tienen un barril de combustible de 205 L conectado a un sistema de bombeo de combustible y de encendido. El combustible usado en el sistema de helitorcha es una mezcla de agente de gelificación en polvo con gasolina, o combustible de aviación o una mezcla de diesel/gas. SureFire, un jabón de aluminio es el agente gelificante más comúnmente usado. Alumagel es otro tipo de agente gelificante que fue usado para hacer Napalm con fines militares. Actualmente, solo está disponible a través de excedentes militares. El polvo SureFire se puede obtener más fácilmente y se gelifica más rápidamente que el Alumagel. Actualmente se dispone de una versión mejorada del gel SureFire conocida como SureFire II. SureFire y SureFire II pueden obtenerse de Simplex Manufacturing en Portland, Oregon.

Se han utilizado métodos de encendido simples, como papel empapado en combustible, trapos o absorbentes, para encender hidrocarburo en derrames reales o de prueba. Por ejemplo, se usó combustible gelificado en una bolsa de plástico para encender parte del hidrocarburo en el derrame del *Exxon Valdez*. La bolsa se encendió, fue lanzada hacia la mancha desde un barco y flotó hacia la mancha. Debe observarse que el diesel es preferible a la gasolina para empapar materiales o como base para los combustibles gelificados en dispositivos de encendido manuales, ya que el diesel se quema con más lentitud, siendo más seguro y dando más pre-calentamiento a la mancha.



Se han ideado una variedad de dispositivos de encendido manual para encender manchas de hidrocarburos. La finalidad de estos es ser lanzados hacia la mancha desde un buque o un helicóptero. Con frecuencia, estos dispositivos cuentan con interruptores de encendido tardío de modo de dar tiempo suficiente para lanzar el dispositivo de encendido y, en caso de ser necesario, permitir que el mismo flote dentro de la mancha. Estos dispositivos de encendido usan propelentes sólidos, combustible gelificado, cubos de queroseno gelificado, composiciones químicas reactivas o una combinación de estos, y se queman durante 30 segundos a 10 minutos a temperaturas de 1.000 a 2.500 °C. Se han construido varios dispositivos de encendido manual, algunos de los cuales son dispositivos improvisados que es posible hacer en el lugar. Parte de estos dispositivos debe ser preparada anticipadamente.

Los combustibles pesados pueden encenderse aplicando una base, como diesel, al hidrocarburo pesado y luego encendiéndolos con un dispositivo de encendido manual.

3.4. Agentes de tratamiento

Por lo general, cuando una quema se torna más caliente y por tanto más eficiente, las emisiones de la quema se reducen. Se han realizado trabajos de investigación sobre el uso de aditivos químicos para mejorar la quema. Aunque existen diversos agentes que pueden utilizarse, ninguno de ellos está disponible fácilmente ni ha demostrado ser eficaz. Los agentes incluyen desemulsificantes, ferroceno, promotores de la combustión y absorbentes.

Los desemulsificantes y los inhibidores están formulados para romper las emulsiones de agua en aceite o para impedir que se formen. Sin embargo, no se han utilizado mucho en pruebas de campo y muy rara vez en derrames reales.

3.5. Buques / aeronaves de apoyo

Los buques y aeronaves desempeñan una función importante en las operaciones exitosas de quema in situ. Los buques son necesarios para trasladar a los equipos y el personal al lugar de la quema, para transportar las barreras de remolque y llevar los equipos de supervisión. También pueden necesitarse barcasas y pequeños botes como soporte en operaciones de seguridad del fuego, para el control, la recuperación de residuos y el almacenaje de equipos e hidrocarburo residual. Pueden necesitarse remolcadores si es preciso retirar un buque tanque del área de la quema.

Debe haber suficientes buques disponibles para transportar y desplegar la barrera de contención que se necesita en el sitio de la quema. Los buques deben contar con una cubierta lo suficientemente grande como para transportar la barrera y los equipos y materiales necesarios para manipularla. Deben ser capaces de moverse en forma uniforme a una velocidad lenta [<0.5 m/s (1 nudo)] y contar con impulsores laterales de proa para maniobrar fácilmente y moverse con rapidez hacia atrás de ser necesario. Cuando se usan barreras de contención en aguas abiertas, se necesitan dos buques para transportar, desplegar, recuperar y remolcar cada extremo de la barrera, dependiendo de la configuración de barrera utilizada.

Por razones de seguridad, cualquier buque utilizado en una operación de quema debe ser lo suficientemente grande y estable como para transportar todos los equipos necesarios en todos los estados del mar posibles, incluso tormentas.



Se recomienda un buque con una grúa a bordo o uno o más guinches de remolcador para manipular los equipos en cubierta y recuperar el hidrocarburo del agua. Pueden utilizarse dos buques de remolque más pequeños para remolcar la barrera.

También pueden requerirse aeronaves de ala fija y/o helicópteros para realizar un monitoreo del lugar del derrame, transportar equipos para el monitoreo y realizar procedimientos de encendido y extinción. Por razones de seguridad, se recomienda el uso de helicópteros bimotores para las operaciones de helitorcha. Si debe utilizarse un helicóptero monomotor, este debe estar equipado con flotadores para permitir un amerizaje de emergencia. Esto no es necesario en el caso de helicópteros bimotores. Sin embargo, al utilizar para las operaciones de encendido helicópteros bimotores más potentes, el hidrocarburo debe encenderse desde una altura tal sobre la mancha que permita que la ráfaga descendente desde el helicóptero no extinga la quema.

3.6. Monitoreo, toma de muestras y análisis

El control de las emisiones durante una operación de quema in situ ofrece información continua en cuanto a si la quema se está realizando en forma adecuada y segura. Un programa de control bien planificado durante el cual se registren datos antes, durante y después de la quema también ayudará a responder preguntas que surjan una vez completada la quema. Por lo general se recomienda que, de ser posible, se realice la siguiente toma de muestras y el siguiente control para cualquier operación de quema in situ:

- Control en tiempo real de partículas PM-10 en el humo;
- Control en tiempo real de compuestos orgánicos volátiles (COV) en el humo;
- Toma de muestras de hollín para el análisis de compuestos orgánicos e hidrocarburos aromáticos polinucleados (HAP); y
- Toma de muestras de residuos para el análisis de compuestos orgánicos y HAP.

Si se determina que la quema puede realizarse con seguridad y el impacto ambiental será el mínimo posible, no deben demorarse las operaciones debido a las actividades de control y toma de muestras.

Por lo general, debe realizarse un control de emisiones en tiempo real y en la dirección del viento, en un punto cercano a áreas pobladas. Los estudios de las emisiones de quemas de hidrocarburos in situ indican que la principal inquietud en cuanto a la salud pública son las partículas del penacho de humo, ya que esta es la primera emisión que por lo general excede los niveles recomendados para la salud pública.

Para el control del material formado de partículas, por lo general se acepta que la concentración de pequeñas partículas respirables con un diámetro de 10 μm o menos (PM-10) debe ser inferior a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un periodo de 24 horas. Se ha propuesto un nuevo estándar PM-2.5 de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas. La segunda emisión a tener en cuenta es la de hidrocarburos aromáticos polinucleados o HAP en el material formado de partículas. La tercera emisión a considerar son los compuestos orgánicos volátiles o COV

El control visual no es tan efectivo como el que se realiza mediante instrumentos. Obviamente, los gases y las concentraciones leves de material formado de partículas no pueden verse. Sin embargo, sí puede observarse la trayectoria del penacho de humo y su pasaje sobre la tierra y centros poblados, y es posible observar, determinar el tiempo y registrar su pasaje sobre la tierra, centros poblados y otros puntos de interés.



Esta información es necesaria si en algún momento surge alguna pregunta en cuanto a la exposición a emisiones después de una quema in situ. Las principales áreas de deposición deben relevarse después de la quema para verificar si existen depósitos de hollín. Si se encuentra hollín, deben tomarse muestras para realizar un análisis de ser necesario.

3.7. Recuperación final de residuos

Los residuos de hidrocarburos que quedan después de una quema por lo general consisten en un material pesado similar a la brea, muy viscoso y adhesivo, parecido a un hidrocarburo muy desgastado. Cuanto más eficaz es la quema, más denso y viscoso será el residuo. El residuo de la quema para algunos tipos de hidrocarburos puede hundirse en la columna de agua. Este comportamiento debe determinarse en forma anticipada para el crudo común y los "bunker oils" transportados en el área correspondiente. La Figura 11 muestra un residuo de quema que es denso pero no se hundió.

La decisión de recuperar el residuo en forma mecánica o dejarlo para que se disuelva biológicamente depende del volumen total, de si el residuo es lo suficientemente denso como para hundirse y de hacia dónde se prevé que se traslade si se lo deja en el lugar. Otras consideraciones son la disponibilidad inmediata de equipos y personal que puedan desplegarse en otros esfuerzos de recuperación.

Los residuos se recuperan mejor utilizando un buque de banda baja que ofrezca un fácil acceso a la superficie del agua. Un vehículo marino de tipo *sea truck* o de amerizaje utilizado en la respuesta convencional a derrames de hidrocarburos es ideal para este fin. La cantidad de residuos que pueden recuperarse dependerá del desplazamiento del buque y el tamaño del tanque y otros equipos que pueden transportarse en la cubierta con seguridad. Dependiendo de las condiciones del mar y las dimensiones y el desplazamiento del *sea truck*, el buque podría transportar de 1 a 5 toneladas de residuos.

La recuperación de los residuos de la quema se simplifica si el buque de recuperación puede operarse desde una base en la costa. El buque puede salir desde la costa y el residuo recuperado puede removerse utilizando un buque camión de aspiración en la costa. Si el residuo es demasiado viscoso como para removerlo utilizando dispositivos de aspiración, puede removerse en forma manual. Al conducir una quema en el océano abierto, puede resultar difícil lanzar y recuperar un bote para la recuperación de los residuos. A menos que el lugar de la quema se encuentre a una distancia razonable de la costa, el buque de recuperación debe desplegarse desde uno de los buques más grandes que remolcan la barrera contra el fuego. Este buque debe estar equipado con una grúa de tamaño apropiado para lanzar y recuperar el bote de residuos y contar con suficiente espacio de almacenamiento o en cubierta para el residuo recuperado. La Figura 12 muestra la recuperación manual del residuo de la quema.

La transferencia del residuo recuperado a un buque más grande podría ser difícil, en especial si el buque más grande tiene una banda alta. Por lo tanto, los tanques de residuos deben transportarse en el buque de menor altura. El hidrocarburo residual también puede recolectarse en una barrera de apoyo y recuperarse utilizando absorbentes o desnatadores apropiados para el hidrocarburo pesado. Dependiendo del volumen, el residuo puede recuperarse o transferirse utilizando un sistema de succión de vacío o una bomba sumergible como la Desmi DOP-250, o puede transferirse en forma manual con palas y baldes.



El hidrocarburo residual también puede recolectarse en una barrera de contención de apoyo y recuperarse en forma manual utilizando absorbentes, palas y rastrillos, o en forma mecánica con desnatadores y sistemas de succión apropiados para el hidrocarburo pesado.

3.8. Disponibilidad de equipamiento

Dependiendo de la jurisdicción, puede obtenerse el equipamiento apropiado para una operación de quema in situ por convenio con diversas organizaciones, incluso Marine Spill Response Corporation (MSRC), Clean Harbors Environmental Services, Inc., Clean Caribbean and Americas (antes Clean Caribbean Cooperative), Clean Bay Incorporated, National Response Corporation, Marine Pollution Control y FOSS Environmental & Infrastructure en los Estados Unidos. Algunas de estas organizaciones son capaces de colaborar previo pago de una cuota, o pueden arrendar equipos y operadores (por más información sobre la cooperación de la industria de equipos para la respuesta a derrames, ver *International Oil Industry Spill Response Resources: Tier 3 Centres*, IPIECA/IOPF, 1999).

Figura 11: Este es un residuo remanente de una quema de 50 toneladas de hidrocarburos en el mar.

El residuo es de petróleo crudo de liviano a medio. El residuo es relativamente pesado, lo que queda en evidencia por la pequeña cantidad de agua encima de este. La barrera a prueba de fuego es una tecnología más antigua, con una red cubierta con material resistente al fuego.





Figura 12: Limpieza del residuo de una quema de crudo

El residuo es bastante adhesivo y difícil de limpiar. En este caso, aproximadamente el 0,01% del hidrocarburo quemado quedó como residuo.



3.9. Lista de verificación de equipos

Antes de comenzar cualquier operación de quema in situ es necesario asegurarse de que el equipo necesario está disponible. Para ayudar a determinar el tipo y las especificaciones de los equipos que pueden requerirse para una operación de quema, el Apéndice B contiene una Lista de verificación de equipos para quema.

En los Estados Unidos, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica) ha desarrollado un servicio denominado Spill Tools (Herramientas para derrames) que consiste en herramientas informáticas y elementos de ayuda al aprendizaje diseñados para ayudar a organizaciones gubernamentales y privadas a lograr acceso a la información para elaborar planes para posibles derrames. Específicamente, el calculador de quema in situ les ofrece a los planificadores y encargados de la respuesta a derrames cálculos para estimar el tiempo y la longitud de las barreras que se necesitan para la quema de hidrocarburos, ya sea en una única descarga (batch) o en una descarga continua de hidrocarburo. Este calculador depende del conocimiento del espesor de la mancha o la velocidad de descarga. El calculador permite una computación rápida de diversas condiciones para un escenario de quema que debe brindar algunas soluciones realistas. El modelo puede ayudar a seleccionar y poner a disposición el equipamiento apropiado.

El calculador para quema in situ está disponible en el enlace "Aids for Oil Spill Responders" en <http://response.restoration.noaa.gov/index.html>.



4. Actividades posteriores a la quema

4.1. Monitoreo de seguimiento

Inmediatamente después de la quema debe realizarse un relevamiento del sitio para asegurar que no queden materiales que puedan quemarse en el área. Esto podría incluir manchas espesas de hidrocarburo escapado, partes de la barrera o materia orgánica en combustión. Después de este control inmediato, el residuo debe recuperarse rápidamente antes de que se hunda. Las áreas donde pueden haberse hundido residuos deben documentarse cuidadosamente, ya que esto podría afectar negativamente el entorno bentónico. Debe estudiarse el área y estimarse la cantidad de hidrocarburo no quemado. Este valor y la cantidad de residuo son importantes para estimar el saldo de masa total.

Deben realizarse análisis del material formado por partículas, HAP y COV en los lugares ubicados en la dirección del viento si se toman muestras de estos, y esos resultados deben incluirse en el informe final sobre la quema. En el caso de los COV, debe obtenerse una muestra de referencia un día en que no se esté produciendo la quema, y cuando el viento esté volando en una dirección similar a la del día de la quema.

En este momento debe prepararse un informe de las medidas tomadas durante la quema, a fin de asegurar que otros puedan aprender de la quema y que quede un buen registro si surge alguna pregunta sobre la eficacia u otros temas.

4.2. Estimación de la eficacia de la quema

La eficacia de la quema se mide como el porcentaje de hidrocarburo removido en comparación con la cantidad de residuos que quedan después de la quema. La eficacia de la quema, E , puede calcularse mediante la siguiente ecuación, donde v_{oi} es el volumen inicial de hidrocarburo a quemar y v_{of} es el volumen de hidrocarburo residual que queda después de la quema:

$$E = \frac{v_{oi} - v_{of}}{v_{oi}}$$

En esta ecuación, el volumen inicial de hidrocarburo, v_{oi} , puede estimarse de diversas formas. Si se conoce el origen del derrame, como en el caso de un buque o un depósito costero, el volumen derramado puede estimarse a partir del tamaño del tanque y la cantidad de hidrocarburo que queda en el mismo. En el caso de una perforación costa afuera, la tasa de bombeo puede utilizarse para estimar el volumen inicial. Si el origen del derrame es desconocido o el volumen de hidrocarburo descargado desde la fuente no puede estimarse, puede estimarse el volumen de la mancha ya sea visualmente, utilizando objetos de dimensiones conocidas, por ejemplo, un buque de respuesta o una barrera de contención, o utilizando sobrevuelos regulados, fotografías aéreas o dispositivos de detección remota. Esta área, junto con una estimación del espesor promedio de la mancha, realizados ya sea en forma visual, tomando muestras, o mediante la detección remota, puede utilizarse para estimar el volumen de la mancha.

Cabe destacar que esta ecuación no toma en cuenta el volumen de hidrocarburo perdido a través del hollín producido de la quema, que es una pequeña cantidad difícil de medir, o cualquier residuo que se haya hundido o no pueda recogerse.



Si el residuo sigue a flote, puede recuperarse utilizando desnatadores o absorbentes. El volumen de hidrocarburo residual que permanece después de la quema, v_{of} , puede estimarse midiendo el volumen o el peso recuperado. Si el residuo no puede recuperarse, el volumen de la mancha de residuo puede medirse estimando su área y su espesor, del mismo modo descrito para estimar el volumen inicial de hidrocarburo. También debe tenerse en cuenta el volumen de las manchas de brea en el residuo.

Si una parte o la totalidad del residuo se hunde, lo que ocurre en raras oportunidades, la cantidad de hidrocarburo quemado ($v_{oi} - v_{of}$) puede estimarse utilizando el hecho de que, para la mayoría de los hidrocarburos y condiciones, un hidrocarburo liviano se quema a una tasa de 3 a 4 mm/min, con un promedio de 3,75 mm/min. Los hidrocarburos pesados se queman a una tasa de 1 mm/min. La cantidad quemada puede estimarse utilizando este rango, el área de la mancha encendida y el tiempo total de la quema.

Las investigaciones realizadas han mostrado que la eficacia de la quema depende principalmente del espesor de la mancha. Independientemente del espesor inicial del hidrocarburo, el espesor final estará en el orden de 1 a 2 mm. Así, la eficacia de la quema de una mancha de 20 mm de espesor será muy superior a la de la quema de una mancha de 2 mm. La eficacia de la quema depende también de la probabilidad de contacto con la llama. Este es un parámetro al azar que puede ser controlado mediante una contención adecuada, pero también es afectado por la velocidad y la dirección del viento. La eficacia de la quema puede reducirse si el espesor de la mancha no es uniforme, es decir, si la llama llega a lugares demasiado delgados como para mantener la quema o si la mancha no es continua. La eficiencia de la quema de los hidrocarburos más pesados es por lo general solo 70%, ya que hay fracciones de hidrocarburo que no se vaporizan de la mancha en las temperaturas logradas por las quemadas típicas en piletas.

4.3. Tasa de la quema

Por lo general se acepta que una mancha de crudo se quema a una tasa de reducción del espesor de la mancha de 3 a 4 mm/min, con un promedio de 3,75 mm/min. Esta tasa se traduce en aproximadamente 5000 L/m² por día. Durante las etapas finales de la quema, cuando la mancha se vuelve muy delgada, o en el caso de hidrocarburos pesados como el Bunker C, la tasa desciende a aproximadamente 1 mm/min, con un factor de reducción de 1200 L/m² por día.



5. Precauciones de salud y seguridad durante la quema

5.1. Precauciones de salud y seguridad de los trabajadores

Para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores que participan en la quema in situ, debe establecerse un plan de salud y seguridad exhaustivo que sea bien comprendido por todo el personal involucrado antes del inicio de la operación. Al igual que en el caso de cualquier operación que involucre temas de salud y seguridad, los trabajadores son responsables de su propia seguridad y de la de sus compañeros de trabajo. Para ayudar a elaborar planes de salud y seguridad para la quema in situ, gran parte de la información requerida puede obtenerse de las asociaciones de combate al fuego.

Una vez que comienza la operación de quema, el proceso debe controlarse rigurosamente para que el personal de respuesta pueda determinar si debe reevaluarse la situación de quema, si debe modificarse el plan o si debe controlarse o ponerse fin a la quema. Debe disponerse una vigilancia del área de la quema para brindar información esencial a los operadores del remolque, como el espesor y la frecuencia de las manchas en el camino del remolque de la barrera o el área de contención, la dirección precisa del penacho de humo, el área de la quema del hidrocarburo, y si este está disminuyendo o aumentando.

Deben tenerse en cuenta dos tácticas de supervisión: la vigilancia aérea y la vigilancia desde un buque más grande. La mayor visibilidad desde las aeronaves, en particular helicópteros, asegura la seguridad de la operación de quema. Sin embargo, un buque más grande no solo ofrece una vista mejor de la operación de quema desde la superficie, sino también está equipado con monitores de fuego adicionales para combatir cualquier incendio. Este buque también constituye un medio de rescate si uno de los buques de remolque falla.

Deben anticiparse y evitarse las potenciales dificultades de la operación de quema, como la existencia de manchas espesas en las que pueda perderse el control de la quema. El fuego podría propagarse por delante de los buques de remolque o hacia instalaciones turísticas cercanas. Otras dificultades que deben evitarse son la pérdida de cantidades significativas de hidrocarburo en llamas detrás de la barrera. Estas partes de la mancha en llamas también podrían provocar problemas en la dirección del viento. Esto puede evitarse teniendo una barrera resistente al fuego adicional en la dirección del viento para atrapar partes de manchas en llamas o buques con monitores de fuego para extinguir esos fuegos.

Las llamas se extienden muy rápidamente a través del vapor - tan rápido como 100 m/s o 200 nudos. Si se está quemando un hidrocarburo altamente volátil, como crudo muy liviano, gasolina o mezclas de estos en otros hidrocarburos, podría ocurrir una propagación de la llama producida por el vapor, lo que podría provocar serios daños. Esto se denomina retorno de la llama. Esto solo puede evitarse evaluando cuidadosamente las propiedades y características del hidrocarburo a quemar. Si se queman mezclas muy livianas, es necesario asegurarse de que no haya personas en el área. Estas circunstancias son raras porque por lo general la fracción volátil del hidrocarburo ha sido removida por los encargados de la respuesta que llegan a la mancha de hidrocarburo. En cualquier caso, todo el personal de la quema debe estar familiarizado con los peligros y la diferencia entre la velocidad de las llamas que se extienden en una pileta y a través de una nube de vapor.



No debe intentarse realizar la quema de una mancha si pudiera producirse el retroceso de la llama hasta la fuente del derrame, como un buque tanque, o hacia áreas pobladas. Esto por lo general puede impedirse removiendo o aislando la fuente de la parte de la mancha a quemar, o separando secciones manejables de la mancha con barreras de contención y quemando estas secciones dentro de la barrera lejos de la fuente principal de la mancha.

En el caso de derrames producidos por buques tanque, la fuente puede retirarse utilizando remolcadores que pueden traerse al sitio más rápidamente que las barreras de contención. Cuando esto no es posible, pueden utilizarse barreras de contención para aislar la parte principal de la mancha de la fuente del derrame. También deben tomarse precauciones para impedir que el fuego se extienda hacia material combustible cercano, como césped, árboles, muelles, edificaciones y buques.

Tal vez la mejor manera de impedir quemas no deseadas o no controlables sea separar con la barrera una sección manejable de hidrocarburo y llevarla lejos de la mancha principal o de otro material combustible antes de encenderla. Este hidrocarburo puede recogerse utilizando barreras convencionales y luego transferirse a barreras resistentes al fuego en un área donde resulte seguro realizar la quema. Si el hidrocarburo está cerca de la costa, pueden usarse barreras de desviación para desviarlo a un área calma, como una bahía, donde pueda quemarse en condiciones de seguridad. También pueden utilizarse barreras de exclusión para mantener el hidrocarburo lejos de áreas donde su presencia resulte inconveniente.

Pueden aplicarse diversas técnicas para impedir la ocurrencia de incendios secundarios, la extensión del fuego a otras áreas, y el retorno de la llama hacia los trabajadores. Si se utiliza una barrera, debe ser remolcada en forma adecuada. Es importante tener en cuenta que la barrera falla cuando es remolcada a una velocidad superior a 0,4 m/s (0,8 nudos), y que siempre debe remolcarse hacia el viento. En la mayoría de las manchas de hidrocarburo, las llamas no se extenderán por toda la mancha a una velocidad superior a 0,2 m/s (0,4 nudos). Así, en una situación típica en la que la barrera se remolca en forma uniforme por lo menos a la velocidad de propagación de la llama, las llamas no alcanzarán a los buques de remolque de la barrera, aun con vientos bajos. Sin embargo, es necesario tener cuidado, porque los vientos pueden cambiar rápidamente. Las quemas no deben realizarse si los botes de remolque se encuentran en un área que contiene hidrocarburos pesados o pueden pasar por ella.

Los operadores del remolque de barrera deben saber cómo controlar el área de la quema aumentando o disminuyendo la velocidad del remolque. En velocidades de remolque excesivas, el hidrocarburo se perderá a través del eje de la barrera por falla de la barrera, quedará atrapado bajo esta o se perderá por sobre la misma. Con una velocidad de remolque demasiado lenta, el hidrocarburo, y por consiguiente el fuego, se extenderá lentamente hacia la apertura de la barrera, en dirección a los buques de remolque. El movimiento del hidrocarburo hacia delante y hacia atrás en la barrera depende de la cantidad de hidrocarburo. Si se encuentra más hidrocarburo del que puede quemarse en el área de la barrera, deberán tomarse medidas para impedir que el fuego se propague hacia los buques de remolque. Si se puede tomar medidas en condiciones de seguridad, es posible que deba extinguirse el fuego o finalizar el remolque de la barrera.

Una vez que el hidrocarburo se está quemando, la extinción del fuego no siempre es fácil. Se han propuesto varios métodos de control del remolque para extinguir el fuego dentro de una barrera resistente al fuego remolcada. El primer método es la liberación de un extremo del remolque de la barrera, permitiendo que el hidrocarburo se extienda hasta que la capa demasiado delgada como para quemarla.



En segundo lugar, si la velocidad de remolque aumenta a velocidades superiores a las velocidades de contención (0,4 m/s o 0,8 nudos), el hidrocarburo se sumerge bajo la barrera y a menudo el fuego se extingue. Dado que estos métodos no han sido objeto de suficientes pruebas en un escenario de quema con barrera remolcada, aún surgen preguntas en cuanto a su eficacia real. Otro método sugerido es disminuir la velocidad del remolque, reduciendo de ese modo la velocidad del encuentro.

Se recomienda tener disponible equipos de extinción de incendios durante la quema. Debe colocarse un buque con equipos de extinción de incendios al costado de la barrera que contiene la quema. Durante las operaciones de quema en el mar, quienes deben estar cerca de la quema, como los operadores del remolcador, deben estar protegidos asegurándose de que haya disponibles monitores de incendios con capacidad suficiente. Estos monitores pueden dejarse encendidos para que estén disponibles de ser necesario. También debe haber disponibles monitores de incendio adicionales y personal experimentado en el buque de vigilancia para colaborar en caso de propagación del fuego. El fuego también puede extinguirse utilizando una espuma contra incendios hecha para fuegos de combustibles líquidos, y, si la hay disponible, por una aeronave con capacidad de bombeo de agua. Por motivos de seguridad, debe haber por lo menos dos de estos métodos de extinción de incendios disponibles en el lugar de la quema. Cuando la quema se realiza cerca de la costa, pueden colocarse camiones de incendios y el personal correspondiente en puntos estratégicos en tierra para combatir fuegos secundarios no deseados.

Cuando se están moviendo y recuperando barreras, el personal debe evitar los cables de baja tensión, como las líneas de remolque de las barreras o los cables del guinche. El personal también debe evitar pararse en la lazada de un cabo o cable sobre cubierta, que podría apretarle una pierna o un pie y arrastrar a la persona fuera de la borda.

Las operaciones con grúa a bordo de los buques son particularmente peligrosas, ya que el balanceo del buque puede hacer que la carga se incline como un péndulo en el cable de la grúa. A todo lo que levante la grúa se le deben atar dos cuerdas para controlar la carga. Solo el operador de la grúa, el encargado de las señales y las dos personas que sostienen las cuerdas de control de la carga deben participar en la operación. Todo el personal restante debe permanecer alejado de la carga mientras se está realizando la operación. El encargado de las señales está a cargo de la operación. Todo el personal debe mantener contacto visual durante el trabajo. Las señales de manos deben revisarse y ser comprendidas antes de iniciar la operación.

La comunicación entre el puente del buque y el supervisor de cubierta debe ser clara. Las señales de manos deben ser comprendidas por todos los participantes. Se recomienda que un líder del equipo de respuesta a derrames debidamente entrenado supervise toda la operación desde un punto seguro para detectar cualquier situación de inseguridad que pueda surgir.

La recuperación de la barrera una vez terminada la quema es un trabajo difícil y extremadamente complicado, ya que la barrera por lo general está llena de agua y cubierta con un residuo similar a la brea. Los trabajadores deben vestir equipos de lluvia con guantes de neopreno, botas de goma y lentes. Los puños deben estar sellados con cinta plástica. También se requieren materiales de descontaminación apropiados para el personal de limpieza una vez finalizado el trabajo. Debe haber materiales absorbentes, trapos, toallas de papel y de tela, limpiadores cítricos, jabón y agua tibia, crema de manos, bolsas de residuos y contenedores disponibles a bordo del buque. Todos los materiales de limpieza utilizados deben recolectarse después de la quema para la eliminación apropiada.



Los siguientes son algunos temas generales de seguridad relacionados con los dispositivos de encendido.

Los operadores deben comprender cabalmente las instrucciones operativas y de seguridad para el dispositivo específico que se está utilizando. Esto incluye comprender los procedimientos operativos seguros, los requisitos de capacitación, los requisitos de eliminación de dispositivos de encendido usados, y los requisitos de recuperación y manejo de dispositivos de encendido que fallan. El dispositivo debe ser protegido de una activación accidental.

- Los dispositivos de encendido manuales deben contar con un mecanismo de retardo que posponga el encendido del dispositivo durante al menos 10 segundos desde el momento de la activación. Este tiempo de retardo permite activar y tirar el dispositivo y que este flote dentro de la mancha. Para los sistemas de helitorcha, deben seguirse las precauciones de seguridad específicas para helicópteros, así como las precauciones específicas para sistemas de helitorcha.
- Los dispositivos desplegados desde helicópteros no deberían requerir el uso de llamas abiertas o chispas dentro de la aeronave.

Las tripulaciones de los buques que participan en las operaciones de remolque están en peligro de quedar expuestas al fuego o las llamas si el fuego se traslada hacia arriba de la barrera. Esto podría ocurrir si se encuentran manchas espesas de hidrocarburo y la llama se extiende a lo largo de estas. La velocidad de la llama es de aproximadamente 0,02 a 0,16 m/s (0,04 a 0,3 nudos). Las llamas no se propagarían hacia los buques de remolque si la barrera se está moviendo a una velocidad de al menos 0,4 m/s (0,8 nudos) en la dirección del viento. Sin embargo, dado que los vientos cambian rápidamente, esto no debe tomarse como garantía de seguridad. En los casos de vientos altamente variables hay que tener cuidado de asegurar que no haya concentraciones espesas de hidrocarburo cuando la velocidad de remolque de la barrera es baja.

5.2. Precauciones de seguridad y salud pública

El público no debe exponerse a emisiones que superen los niveles recomendados para la salud humana. El problema más importante sería la exposición a partículas de más de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante un plazo de 24 horas. Esto puede determinarse usando las fórmulas que se ofrecen en la literatura (ver Sección 6 por mayor información) para calcular las distancias mínimas seguras de la quema y controlando los niveles de partículas.

Es importante notar que pueden producirse inversiones atmosféricas que aumentarán las concentraciones a nivel del suelo a niveles altos y que el penacho de humo podría descender a nivel del suelo a mayores elevaciones tierra adentro. El control debe realizarse para asegurarse de que esto no suceda. Si existen posibilidades de que esto ocurra, la quema no debe comenzarse. Si ya se comenzó una quema y el penacho descende a nivel del suelo, debe evaluarse inmediatamente la situación para determinar si se debe detener la quema, evacuar a las personas y/o si el penacho podría descender nuevamente. Cualquier persona que pueda resultar afectada por la quema, aun si solo fuera remotamente, debe ser informada de modo de que pueda tener conocimiento de la actividad y la posible necesidad de evacuar el área mediante aviso con poca antelación.

Si la quema se produce cerca de tierra, debe disponerse de suficiente personal en tierra que tenga buenas comunicaciones con el buque de comando de la quema.



El personal estacionado en tierra controlará el penacho de humo y se mantendrá en contacto con las autoridades de meteorología para recibir información de cualquier cambio potencial que podría hacer que el penacho afectara directamente a las personas en tierra.

Si la quema se realiza contra la costa o muy cerca de la costa, deben tomarse mayores precauciones para asegurar que el fuego no se propague desde el hidrocarburo a otro material combustible. El fuego debe ser controlado desde la costa por personal que tenga la capacidad de apagar potenciales incendios. Como precaución extra, podrían mojarse los árboles y otros materiales combustibles que se encuentren cerca de la costa.

5.3. Establecimiento de zonas de seguridad

Una parte importante del programa de seguridad para una operación de quema in situ es establecer zonas mínimas de seguridad. Esto se ha logrado de varias formas, incluso el uso de valores que son mayores que las distancias peligrosas medidas y el uso del modelado del penacho de humo.

El modelado de la dispersión del humo se ha usado con frecuencia en la última década para establecer zonas seguras y obtener permisos para grandes fuentes industriales. Se han desarrollado modelos especializados que también pueden aplicarse a la quema in situ. Aunque la finalidad de los modelos no se reemplaza el control, constituyen una importante herramienta para evaluar el impacto del humo, tanto antes como después de la quema.

Los cálculos efectuados usando datos históricos pueden servir de guía para establecer distancias seguras. La Tabla 2 ofrece distancias seguras calculadas mediante estos métodos.

Tabla 2: Distancias seguras para exposición a partículas

<i>Distancias seguras en kilómetros</i>		
Área de quema (m ²)	Petróleo crudo	Diesel
50	0.02	0.03
100	0.03	0.06
150	0.04	0.1
250	0.08	0.3
400	0.25	2.1
500	0.5	7
750	3.1	>50
1000	19	>100



6. Documentos para Guía posterior

- ADIOS 2, Automated Data Inquiry for Oil Spills, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, 2004. [ADIOS 2](#)
 - ASTM International (American Society for Testing and Materials), "Standard Guide for Determining Net Environmental Benefit of Dispersant Use", Designation F 2532-06, ASTM, West Conshohocken, PA, 2006.
 - ASTM (American Society for Testing and Materials), "Standard Guide for In Situ Burning of Oil Spills on Water: Environmental and Operational Considerations", Designation F 1788-97, ASTM, Filadelfia, PA, pp. 1007-1012, 2002.
 - ASTM (American Society for Testing and Materials), "ASTM Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills - Ignition Devices", 5th draft, ASTM, Filadelfia, PA, junio de 1999.
 - ASTM (American Society for Testing and Materials) "Standard Guide for In Situ Burning of Oil Spills on Water: Fire-Resistant Containment Boom", Revision #8, ASTM, Filadelfia, PA, junio de 1999.
 - Baker, J.M., "Ecological effectiveness of oil spill countermeasures: how clean is clean?", *Pure Applied Chemistry*, Vol. 71, No. 1, pp135-151, Gran Bretaña, 1999.
 - Buist, I.A., S.L. Ross, B.K. Trudel, E. Taylor, T.G. Campbell, P.A. Westphal, M.R. Meyers, G.S. Ronza, A.A. Allen, y A.B. Nordvik, "The Science, Technology and Effects of Controlled Burning of Oil Spills at Sea", MSRC Technical Report Number 94-013, 1994.
 - Fingas, M.F., *The Basics of Oil Spill Cleanup*, Second Edition, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2000.
 - Fingas, M.F. and M. Punt, "In-Situ Burning: A Cleanup Technique for Oil Spills on Water", Environment Canada Special Publication, Ottawa, Ontario, 214 p., 2000.
 - Fingas, M.F. and L. Ka'aihue, "Weather Windows for Oil Spill Countermeasures", in *Proceedings of the Twenty-seventh Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 881-955, 2004.
 - IPIECA, *IPIECA Report Series Volume Ten - Choosing Spill Response Options to Minimize Damage: Net Environmental Benefit Analysis*, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, Londres, 2000.
 - IPIECA/ITOPF, *International Oil Industry Spill Response Resources: Tier 3 Centres*, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association & International Tanker Owners Pollution Federation, Londres, Reino Unido, A Joint IPIECA/ITOPF Briefing Paper, 1999
 - Lin, Q., I.A. Mendelsohn, K. Carney, N.P. Bryner, y W.D. Walton, "In-Situ Burning of Oil in Coastal Marshes: I. Vegetation Recovery and Soil Temperature as a Function of Water Depth, Oil Type and Marsh Type", *Marine Pollution Bulletin*, En prensa, 2004.
-



- Lin, Q., I.A. Mendelssohn, K. Carney, N.P. Bryner, y W.D. Walton, "In-Situ Burning of Oil in Coastal Marshes: II. Oil Spill Cleanup Efficiency as a Function of Oil Type, Marsh Type and Water Depth", *Marine Pollution Bulletin*, En prensa, 2004b.
- Zengel, S.A., J. Michel, and J.A. Dahlin, "Environmental Effects of In Situ Burning of Oil Spills in Inland and Upland Habitats", *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 8, No. 4, pp. 373-377, 2003.



APÉNDICE A – Escenarios específicos de derrames y estrategias de quema

Escenario 1 Quema en el mar	Estrategia
<p>Ubicación: En el mar</p> <p>Posición: Costa afuera</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Una gran mancha de hidrocarburo bien lejos de la fuente sin ningún rastro que lleve a la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: El espesor del hidrocarburo en el centro es mayor que 3 mm y no está emulsionado</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas</p>	<p>General Verificar el viento y la dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Como primera respuesta, la mayor parte posible de la mancha puede ser quemada sin usar contención. Esto requerirá de un helicóptero con helitorcha. Para quemar todas las partes posibles de la mancha, pueden ser necesarios varios puntos.</p> <p>Según el tamaño de la mancha y la distancia a tierra firme, se le podrá solicitar a un barco ubicado cerca de la mancha que reabastezca de combustible al helicóptero y la helitorcha.</p> <p>Una vez que la mancha no se pueda quemar más, se puede utilizar contención para espesar el hidrocarburo restante y tratar de quemarlo nuevamente.</p> <p>Configuración de la Contención Para la segunda etapa de la quema, de ser posible, se deberá utilizar una barrera resistente al fuego remolcada por dos buques en la configuración en U. Si no se dispone de una barrera resistente al fuego, se puede utilizar una barrera convencional a sabiendas de que se sacrificará la barrera y que la capacidad de contención va a ser cada vez más limitada a medida que la quema avance.</p> <p>Según la cantidad de hidrocarburo que se vaya a quemar, las partes de la mancha que se puedan manejar (aproximadamente 1/3 del área en U de la barrera) deben ser separadas de la mancha principal utilizando la barrera y deben ser transportadas lejos de la mancha que se vaya a quemar.</p> <p>Se debe llegar a la mancha en la dirección del viento y la barrera debe ser remolcada de forma contraria al viento durante la quema.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas.</p> <p>Una embarcación de apoyo debe estar cerca para rescatar a los helicópteros.</p> <p>Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua.</p> <p>Durante la operación de contención, los buques de remolque deben tener rociadores de agua listos para protegerse de las llamas.</p> <p>Respuesta a accidentes Durante la operación de contención, los buques de remolque desconectan las líneas de remolque de las barreras y navegan contra el viento lejos del hidrocarburo que se está quemando o deben apresurarse para atrapar el hidrocarburo, y así reducir el espesor de la mancha y extinguir la quema.</p> <p>Se notifica todo peligro flotante a los buques que se encuentren en el área</p> <p>Aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema.</p>



Escenario 2 Quema en el mar	Estrategia
<p>Ubicación: En el mar</p> <p>Posición: Costa afuera</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Una gran mancha de hidrocarburo con rastro que lleva al buque tanque del cual se derramó</p> <p>Condición del hidrocarburo: El espesor del hidrocarburo en el centro mayor que 3 mm y no está emulsionado</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas</p>	<p>General Como primera respuesta, enviar remolcadores al sitio para alejar el buque tanque de la parte principal de la mancha. Rodear el buque tanque con una barrera de contención para prevenir más filtración desde el área y separar completamente el buque de la mancha principal. Se pueden utilizar chorros de agua para separar cualquier conexión entre el buque tanque y la parte principal de la mancha. Verificar el viento y la dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>La mayor parte posible de la mancha puede ser quemada sin usar contención. Se debe utilizar una helitorcha para el encendido. Para quemar todas las partes posibles de la mancha, pueden ser necesarios varios puntos. Según el tamaño de la mancha y la distancia a tierra firme, se le podrá solicitar a un barco ubicado cerca de la mancha que reabastezca de combustible al helicóptero y la helitorcha. Una vez que la mancha no se pueda quemar más, se puede utilizar contención para espesar el hidrocarburo restante y tratar de quemar la mancha nuevamente.</p> <p>Configuración de la Contención Para la segunda etapa de la quema, de ser posible, se deberá utilizar una barrera resistente al fuego remolcada por dos buques en la configuración en U. Si no se dispone de una barrera resistente al fuego, se puede utilizar una barrera convencional a sabiendas de que la barrera será sacrificada y que la capacidad de contención va a ser cada vez más limitada a medida que la quema avance. Según la cantidad de hidrocarburo que se vaya a quemar, las partes de la mancha que se puedan manejar (aproximadamente un tercio del área en U) deben ser separadas de la mancha principal utilizando la barrera y deben ser transportadas lejos de la mancha que se vaya a quemar.</p> <p>Se debe llegar a la mancha en la dirección del viento y durante la quema la barrera debe ser remolcada de forma contraria al viento.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas. Se pueden situar buques con rociadores de agua alrededor del buque tanque para prevenir que cualquier llama lo alcance. Una embarcación de apoyo debe estar ubicada cerca para rescatar a los helicópteros. Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua. Durante la operación de contención, los buques de remolque deben estar equipados con rociadores de agua para proteger a los buques de las llamas.</p> <p>Respuesta a accidentes Durante la operación de contención, los buques de remolque deben desconectar las líneas de remolque de las barreras y navegar contra el viento desde el hidrocarburo que se está quemando o deben apresurarse para atrapar el hidrocarburo, y así reducir el espesor de la mancha y extinguir la quema.</p> <p>Se notifica todo peligro flotante a los buques que se encuentren en el área</p> <p>Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema.</p>



Escenario 3 Quema en el mar	Estrategia
<p>Ubicación: En el mar</p> <p>Posición: Costa afuera</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Bastante lejos de la fuente sin rastro que lleve a la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: El hidrocarburo en la mancha tiene menos de 2 mm de espesor y algunas partes de la mancha están emulsionadas.</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Vientos de aproximadamente 15 m/s (30 nudos) y olas ocasionalmente mayores a 1 m.</p>	<p>General Se debe aplicar un agente desemulsificante a las partes de la mancha que tienen emulsiones estables.</p> <p>Verificar el viento y la dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Usando una barrera de contención de una altura total de al menos 1 m, pequeñas porciones de la mancha pueden separarse de la mancha principal y quemarse.</p> <p>Controlar la altura de las olas y tratar de quemar en los momentos en que las olas no lleguen a 1 m o, si es posible, remolcar la parte contenida hacia un área donde las olas no lleguen a tener 1 m de altura.</p> <p>Lo ideal sería utilizar un helicóptero con una helitorcha para quemar el hidrocarburo contenido.</p> <p>Según el tamaño de la mancha y la distancia a tierra firme, se le podrá solicitar a un barco ubicado cerca de la mancha que reabastezca de combustible al helicóptero y la helitorcha.</p> <p>Configuración de la Contención Debido a que se realizarán varias quemas, se deberá utilizar la barrera resistente al fuego en la configuración en U remolcada por dos buques.</p> <p>Las partes de la mancha que se puedan manejar (aproximadamente un tercio del área en U) deben ser separadas de la mancha principal utilizando la barrera y deben ser transportadas lejos de la mancha que se vaya a quemar.</p> <p>Se debe llegar a la mancha desde el lado de la dirección del viento y la barrera debe ser remolcada de forma contraria al viento durante la quema.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas.</p> <p>Una embarcación de apoyo debe estar cerca para rescatar a los helicópteros. Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua.</p> <p>Los buques de remolque deben tener rociadores de agua listos para proteger a los buques de las llamas.</p> <p>Respuesta a accidentes Durante la operación de contención, los buques de remolque desconectan las líneas de remolque de las barreras y navegan contra el viento lejos del hidrocarburo que se está quemando o deben apresurarse para atrapar el hidrocarburo, y así reducir el espesor de la mancha y extinguir la quema.</p> <p>Se notifica todo peligro flotante a los buques que se encuentren en el área</p> <p>Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema.</p>



Escenario 4 Quema en una bahía protegida.	Estrategia
<p>Ubicación: Bahía protegida</p> <p>Posición: Cerca de la costa y de una pequeña área poblada</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Bastante lejos de la fuente sin rastro que lleve a la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: Mancha con menos de 2 mm de espesor</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas</p>	<p>General</p> <p>Si la costa de la bahía es demasiado sensible como para permitir la quema, el hidrocarburo debe ser llevado fuera de la bahía usando barreras de contención y debe ser quemado lejos de la costa. Se puede utilizar una helitorcha para encender la quema.</p> <p>Si los materiales combustibles están lo suficientemente lejos de la costa o la costa puede ser protegida, el hidrocarburo puede ser quemado dentro de la bahía usando la costa y/o las barreras de contención para concentrar y contener el hidrocarburo que se va a quemar. Se puede utilizar una helitorcha para el encendido, pero si hay dudas en cuanto a la precisión, se deberán utilizar dispositivos de encendido manuales, que se lanzan desde una embarcación y se dejan flotar dentro de la mancha.</p> <p>Verificar el viento y dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Configuración de la Contención</p> <p>Si el hidrocarburo se va a quemar fuera de la bahía, se deben utilizar las barreras en una configuración en U para llevar el hidrocarburo fuera de la bahía y lejos de la costa para su quema. De ser posible, la quema se debe realizar dentro de una barrera resistente al fuego y la mancha debe ser encendida con una helitorcha. La barrera se debe remolcar contra el viento durante la quema.</p> <p>Si la quema se realiza dentro de la bahía, la barrera debe ser utilizada para desviar el hidrocarburo hacia una parte calma de la bahía con el fin de concentrarlo para la quema. La mancha puede ser encendida tanto con una helitorcha como con un encendedor lanzado desde un buque hacia la mancha.</p> <p>Protección</p> <p>Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas.</p> <p>Una embarcación de apoyo debe estar cerca para rescatar a los helicópteros si se utiliza una helitorcha.</p> <p>Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua.</p> <p>Para la quema fuera de la costa, los buques de remolque deben estar equipados con rociadores de agua para proteger a los buques de las llamas.</p> <p>Dentro de la bahía, de ser posible, la quema debe realizarse con marea baja y la costa debe ser empapada con agua antes y durante la quema. Se deben ubicar rociadores de agua en la costa para llevar las llamas lejos de la ribera.</p> <p>De ser posible, se deberían ubicar coches de bomberos en la ribera por si las llamas alcanzan materiales combustibles en la costa.</p> <p>Respuesta a accidentes</p> <p>Para la quema fuera de la costa, los buques de remolque desconectan las líneas de remolque de las barreras y navegan contra el viento fuera del hidrocarburo que se está quemando o deben apresurarse para atrapar el hidrocarburo, y así reducir el espesor de la mancha y extinguir la quema.</p> <p>Se notifica todo peligro flotante a los buques que se encuentren en el área. Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema y camiones de bomberos están disponibles en la costa.</p>



Escenario 5 Quema en río	Estrategia
<p>Ubicación: Río</p> <p>Posición: Cerca de la costa, lejos de instalaciones turísticas y áreas pobladas.</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Distante, no hay rastro hacia la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: Mancha con menos de 2 mm de espesor</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas, corriente mayor a 0.5 m/s (nudos)</p>	<p>General Antes de que se realice la quema, el hidrocarburo debe ser desviado hacia una parte calma del río (área con corriente lenta, una punta o bahía) donde la ribera esté libre de materiales combustibles o pueda ser protegida de las llamas. Tanto la ribera como las barreras de contención deben ser utilizadas para concentrar y contener el hidrocarburo que va a ser quemado.</p> <p>Se puede utilizar una helitorcha para el encendido, pero si hay dudas en cuanto a la precisión, se deberán utilizar dispositivos de encendido manuales, que se lanzan desde una embarcación y se dejan flotar dentro de la mancha.</p> <p>Verificar el viento y la dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Configuración de la Contención La barrera debe ser utilizada para desviar el hidrocarburo hacia una parte calma del río con el fin de concentrarlo para la quema.</p> <p>Si se requiere de la barrera de contención durante la quema, se debe utilizar, de ser posible, una barrera resistente al fuego.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas. Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o bombas de agua. Se debe empapar la ribera con agua antes y durante de la quema. Se deben ubicar rociadores de agua en la costa para llevar las llamas lejos de la ribera. De ser posible, debe haber coches de bomberos disponibles en la ribera por si las llamas alcanzan materiales combustibles en la costa.</p> <p>Respuesta a accidentes Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua deben sobrevolar la quema y camiones de bomberos deben estar disponibles en la costa.</p>



Escenario 6 Quema en marismas	Estrategia
<p>Ubicación: Marismas</p> <p>Posición: Cerca de la costa, lejos de instalaciones turísticas y áreas pobladas.</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Distante, no hay rastro hacia la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: Más de 3 mm de espesor y emulsificación que se ha mantenido estable durante varios días</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas, vientos de aproximadamente 20 m/s (40 nudos)</p>	<p>General Se debe aplicar un agente desemulsificante a las partes de la mancha que tienen emulsiones estables.</p> <p>Verificar el viento y la dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Se debe utilizar una helitorcha para encender el hidrocarburo en el área afectada.</p> <p>Según el tamaño de la mancha y la distancia a tierra firme, se podrá ubicar un barco cerca de la mancha que reabastezca de combustible al helicóptero y la helitorcha.</p> <p>Configuración de la Contención No se debería necesitar barreras de contención ya que las piletas deben actuar como contención natural.</p> <p>Se pueden utilizar rociadores de agua para llevar el hidrocarburo hacia un lado de la pileta durante la quema, para mantener el espesor en un nivel que se pueda quemar.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas.</p> <p>Una embarcación de apoyo debe estar cerca para rescatar a los helicópteros.</p> <p>Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua.</p> <p>Respuesta a accidentes Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema.</p>



Escenario 7 Quema en la zona intermareal	Estrategia
<p>Ubicación: Zona intermareal</p> <p>Posición: Cerca de la costa</p> <p>Proximidad del hidrocarburo a la fuente: Bastante lejos de la fuente sin rastro que lleve a la fuente</p> <p>Condición del hidrocarburo: El hidrocarburo en la mancha no llega a los 2 mm de espesor</p> <p>Condiciones del tiempo y del mar: Condiciones calmas</p>	<p>General De ser posible, instalar una barrera temporal de metal o una barrera resistente al fuego en aguas poco profundas y comenzar la quema. Si la costa es demasiado sensible como para permitir la quema o si la barrera de contención está demasiado cerca de áreas pobladas o sensibles, el hidrocarburo debe ser llevado lejos del área usando barreras de contención y debe ser quemado lejos de la costa. Se puede utilizar una helitorcha para encender la quema. Si los materiales combustibles están lo suficientemente lejos de la costa o la costa puede ser protegida, el hidrocarburo puede ser quemado contra la costa usando la ribera y/o las barreras de contención para concentrar y contener el hidrocarburo que se va a quemar. Se puede utilizar una helitorcha para el encendido, pero si hay dudas en cuanto a la precisión, se deberán utilizar dispositivos de encendido manuales, que se lanzan desde una embarcación y se dejan flotar dentro de la mancha. Verificar el viento y dirección de la corriente para asegurar que la quema de la mancha no afectará a personas, bienes o áreas ambientalmente sensibles.</p> <p>Configuración de la Contención Si el hidrocarburo se va a quemar fuera del área, se deben utilizar las barreras en una configuración en U para llevar el hidrocarburo fuera de la costa para su quema. De ser posible, la quema se debe realizar dentro de una barrera resistente al fuego y la mancha debe ser encendida con una helitorcha. La barrera se debe remolcar contra el viento durante la quema. Si la quema se realiza dentro del área, la barrera debe ser utilizada para desviar el hidrocarburo hacia una parte calma del área para concentrarlo para la quema. La mancha puede ser encendida tanto con una helitorcha como con un encendedor lanzado desde un buque hacia la mancha.</p> <p>Protección Debe haber aeronaves sobrevolando el lugar para asegurar que la quema está bajo control y que las áreas sensibles no están siendo afectadas. Una embarcación de apoyo debe estar cerca para rescatar a los helicópteros si se utiliza una helitorcha. Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o capacidad para lanzar agua. Para la quema fuera de la costa, los buques de remolque deben estar equipados con rociadores de agua para proteger a los buques de las llamas. De ser posible, la quema debe realizarse con marea baja y la costa debe ser empapada con agua antes y durante la quema. Se deben ubicar rociadores de agua en la costa para llevar las llamas lejos de la ribera. De ser posible, se deberían ubicar coches de bomberos en la ribera por si las llamas alcanzan materiales combustibles en la costa.</p> <p>Respuesta a accidentes Para la quema fuera de la costa, los buques de remolque desconectan las líneas de remolque de las barreras y navegan contra el viento fuera del hidrocarburo que se está quemando o deben apresurarse para atrapar el hidrocarburo, y así reducir el espesor de la mancha y extinguir la quema. Se notifica todo peligro flotante a los buques que se encuentren en el área Aeronaves con espuma para apagar fuego y/o capacidad para lanzar agua sobrevuelan la quema y camiones de bomberos están disponibles en la costa.</p>



APÉNDICE B – Lista de verificación del equipo para la quema

Buques y Aeronaves

- Buques de remolque
- Buques de comando
- Aeronaves de vigilancia
- Helicóptero para encendido

Equipo de Seguridad

- Bombas contra incendios para cada bote de remolque
- Mangueras
- Pulverizadores contra incendio
- Extintores
- Botiquines de primeros auxilios
- Mantas ignífugas para los botes de remolque
- Radios extras

Equipo de contención

- Extensión completa de la barrera resistente al fuego
- Tramos adicionales de barreras
- Paravanes de remolque
- Cables de remolque
- Bridas
- Grilletes para sujetar
- Anclas, si son necesarias
- Equipo para una barrera de apoyo si se necesita

Equipo de encendido

- Dispositivos de encendido manuales
- Helitorchas y accesorios

Equipo para la limpieza de residuos

- Absorbentes
- Palas o achicadores
- Bidones u otros contenedores para la recuperación
- Desnatador de hidrocarburos pesados, si es necesario
- Bombas y mangueras para el desnatador

Suministros en General

- Plan de quema
- Plan de seguridad
- Radios
- Listas de contactos

Equipo de Monitoreo

- Monitores portátiles
- Bomba y filtros de muestreo de HAP
- Cartucho Summa
- Cuaderno de registro, bolígrafos

Equipo de Protección Personal

- Respiradores
- Botas, guantes
- Ropa especial
- Cinta de ductos para sellado
- Antiparras

Equipo de Helitorcha

- Unidad de Helitorcha
- Arnés para conexión al helicóptero
- Combustible gelificado
- Mezcla combustible
- Extintores de fuego
- Casco
- Guantes
- Antiparras
- Ropa de protección
- Botas de seguridad
- Respiradores
- Garrafa de propano

Equipo Personal de Limpieza

- Sorbentes, trapos de limpieza, toallas
- Detergente cítrico
- Bolsas de residuo
- Jabón, agua tibia
- Ropa extra



APÉNDICE C – Tácticas empleadas para el tratamiento del hidrocarburo en varias situaciones

<i>Figura Número</i>	<i>Táctica</i>	<i>Aplicación</i>
C1	Barrera remolcada – quema en remolque	Fuente que se quema Separación de la fuente y el hidrocarburo Fuente separada
C2	Barrera remolcada – recogida y quemada	Fuente que no se quema Hidrocarburo cerca de áreas habitadas o sensibles
C3	Barrera utilizada para quemar y separar la fuente	Fuentes que no se queman
C4	Barrera usada para proteger instalaciones turísticas	Fuentes que permiten la quema o no
C5	Barrera anclada	Río, estuarios, o aguas poco profundas Hidrocarburo sobre la superficie o explosión
C6	Barrera de desvío	Hidrocarburo desviado de las instalaciones turísticas Hidrocarburo desviado hacia el área de la quema
C7	Quema contra la ribera	Ribera lejana sin peligros
C8	Barrera temporal de acero	Hidrocarburo puede ser contenido en aguas poco profundas
C9	Quema no contenida	Hidrocarburo suficientemente espeso para ser quemado

Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000



Figura C1: Uso de la barrera remolcada para la quema directa de hidrocarburo

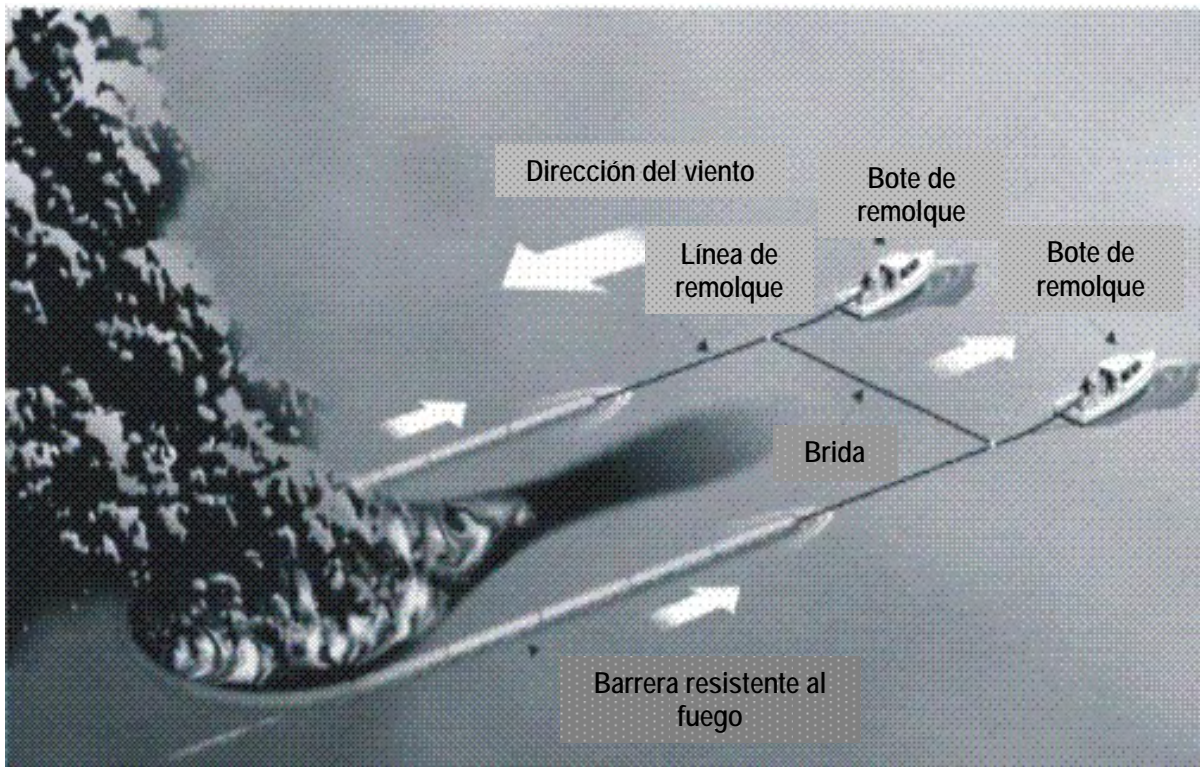


Figura C2: Uso de la barrera remolcada para juntar y quemar el hidrocarburo





Figura C3: Uso de la barrera remolcada para quemar y separar a la fuente del fuego



Figura C4: Uso de barreras resistentes al fuego para proteger instalaciones turísticas

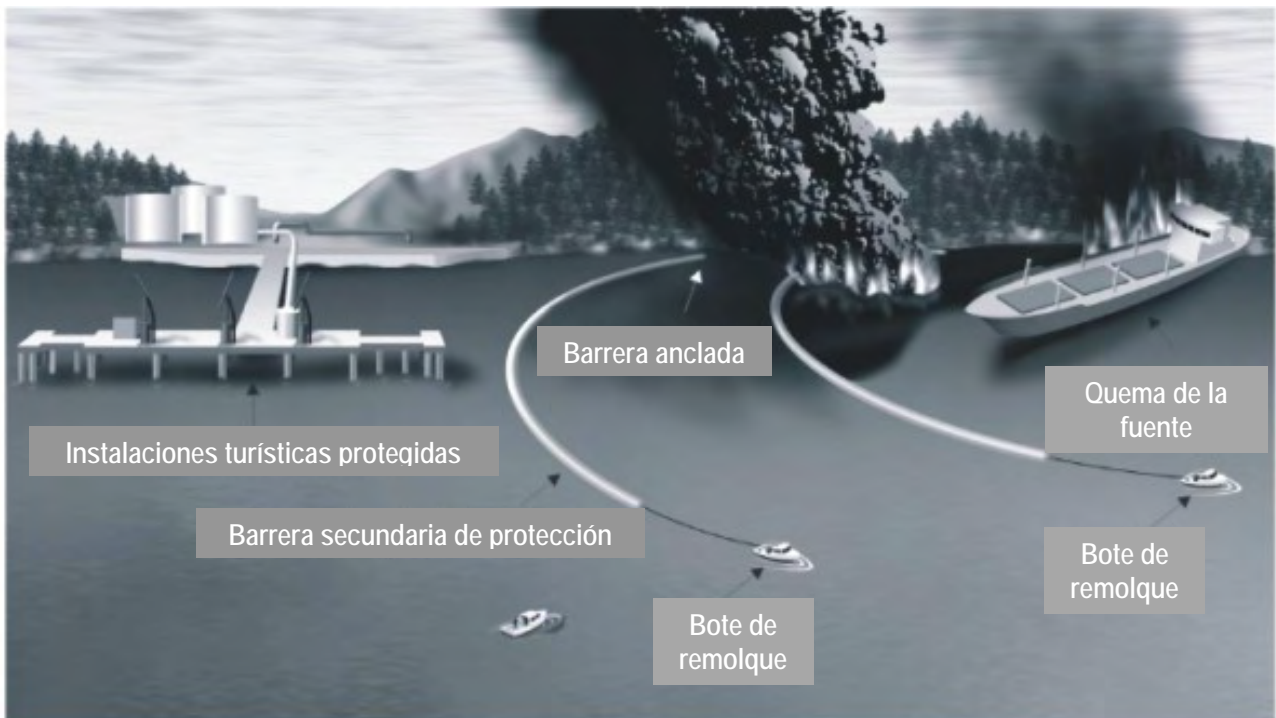




Figura C5: Barrera anclada

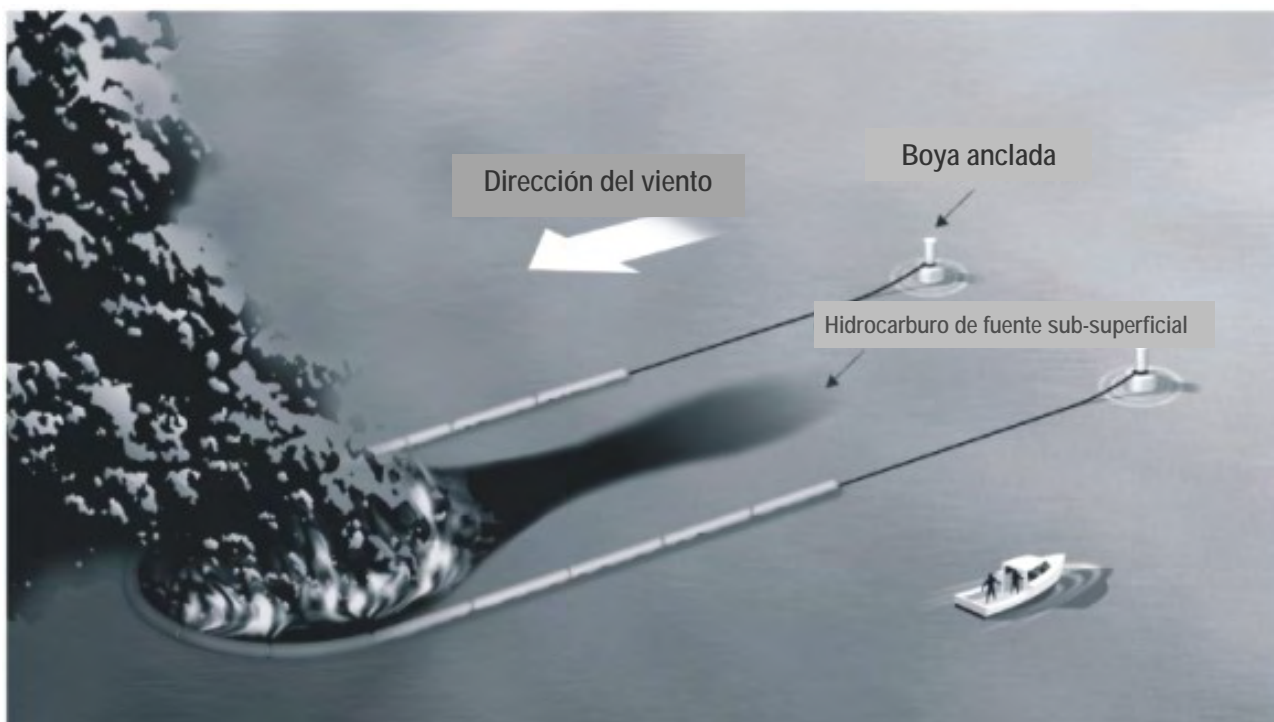


Figura C6: Barrera de desvío

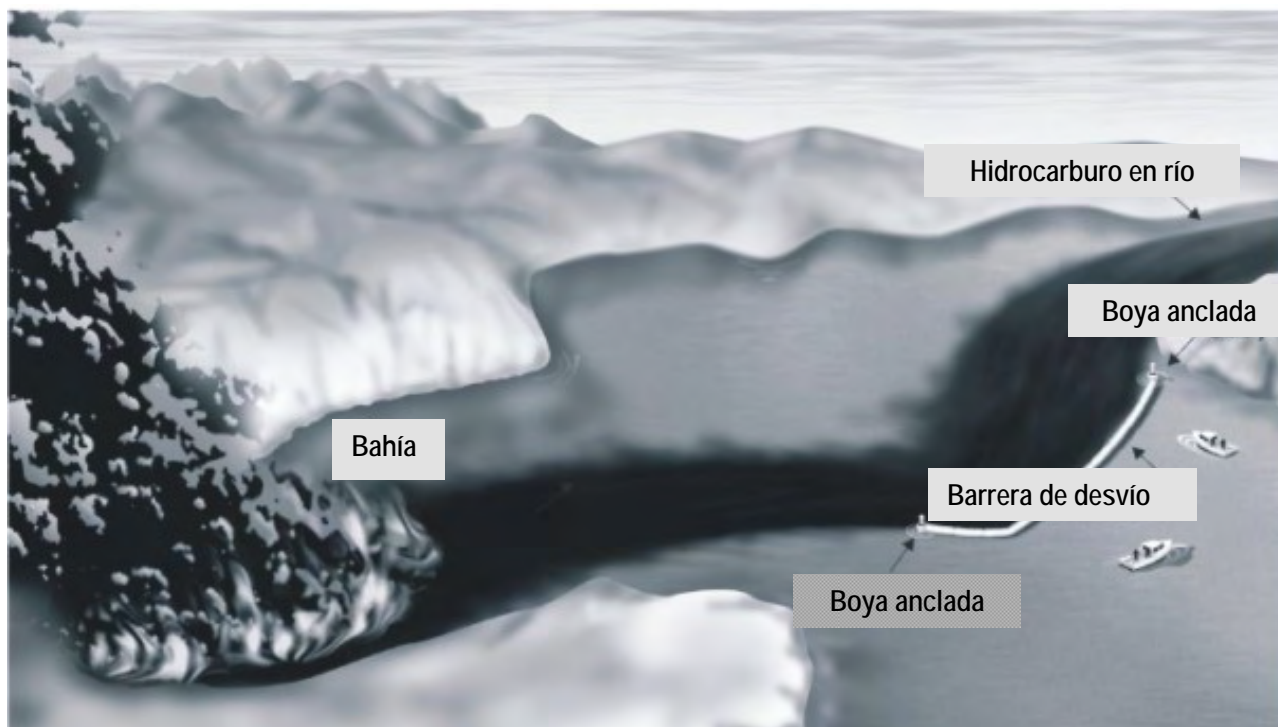




Figura C7: Quema contra la ribera

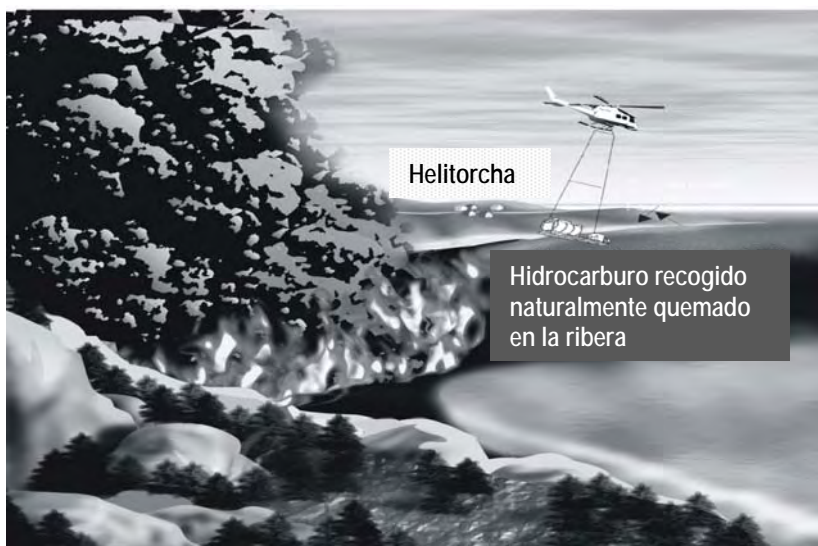


Figura C8: Uso de barrera temporal de acero



Figura C9: Quema no contenida



ARPEL

Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe

Establecida en 1965, ARPEL es una asociación de 30 empresas públicas y privadas e instituciones de petróleo y gas natural con operaciones en América Latina y el Caribe, que representan más del 90% de las operaciones de upstream y downstream de la Región. Desde el año 1976, ARPEL posee status consultivo formal de ECOSOC de Naciones Unidas.

ARPEL trabaja junto con sus miembros –a través de sus varios Comités y Grupos de Trabajo- sobre asuntos que contribuyen al desarrollo sostenible en la Región:

- *Asuntos económicos:* integración energética regional, ductos y terminales, downstream y combustibles
- *Asuntos ambientales:* cambio climático, emisiones atmosféricas, planes de contingencia ante derrames de hidrocarburos y mejores prácticas de gestión de ambiente, salud ocupacional y seguridad industrial.
- *Asuntos sociales:* responsabilidad social corporativa y relaciones con pueblos indígenas.

ARPEL desarrolla una actitud proactiva en asuntos de interés para la industria y produce documentos que representan la visión de sus miembros. También promueve la interacción entre sus miembros y construye alianzas con gobiernos y establece acuerdos con organizaciones internacionales con el fin de presentar y desarrollar una perspectiva regional. Para lograr sus objetivos, ARPEL organiza talleres y simposios regionales para compartir información y mejores prácticas y desarrollar documentos técnicos para crear capacidad e intercambio de información sobre temas de interés para sus miembros. Para apoyar su gestión, ARPEL dispone de un Portal interactivo para sus miembros en el que se encuentran disponibles todos los documentos desarrollados por sus Comités y Grupos de Trabajo Técnicos y que facilita la interacción virtual de la comunidad ARPEL y con aquellos grupos de interés que se relacionan con ella.



Javier de Viana 2345
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: +598 (2) 410 6993 - Fax: +598 (2) 410 9207
E-mail: arpel@arpel.org.uy
Sitio web: <http://www.arpel.org>

