



Quema in situ: Una técnica de limpieza para derrames de hidrocarburos

Informe Ambiental de ARPEL
Quema in situ:
Una técnica de limpieza para derrames de
hidrocarburos

Autor:
Merv Fingas, Ph.D. – Environmental Technology Centre (ETC)

ARPEL, Mayo de 2007



Informe Ambiental de ARPEL N° 28-2007

*Quema in situ: Una técnica de limpieza para derrames de hidrocarburos
Mayo de 2007*

Financiamiento

Este documento ha sido preparado exclusivamente para el Proyecto Ambiental Fase 3 de ARPEL. El Proyecto ha sido 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).

Environmental Services Association of Alberta

#1710, 10303 Jasper Avenue
Edmonton, Alberta T5J 3N6
Tel: (1-780) 429-6363
Fax: (1-780) 429-4249
E-mail: info@esaa.org
<http://www.esaa.org>

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

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

Derechos de Autor

Los derechos de autor de este documento o producto, ya sea en forma impresa o almacenado electrónicamente en disco compacto o disquete, o de cualquier otra forma (el "Trabajo Protegido"), corresponden a Environmental Services Association of Alberta (ESAA). La Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural de América Latina y el Caribe (ARPEL) recibió una licencia para copiar, distribuir y reproducir el Trabajo Protegido con propósitos de recuperación de costos pero no comerciales. Cualquier copia que se haga del Trabajo Protegido debe incluir esta notificación de derechos de autor.

Autores

El presente Informe fue preparado por solicitud de ARPEL y su Comité de Ambiente, Salud y Seguridad Industrial, por:

Environmental Technology Centre (ETC)

335 River Road, Ottawa, ON K1A 0H3, CANADA
Tel.: 1 (613) 991-5633
Fax: 1 (613) 998-1365

Los Consultores recibieron asistencia en la redacción y revisión detallada del Informe por el Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias de ARPEL. Se otorga un especial agradecimiento a los siguientes profesionales por su contribución y edición técnica de este documento: David Fritz (BP) and Skip Przelomski (CCA).

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, ni ESAA, ni ninguna de sus empresas miembro, ni CIDA, ni los consultores asumirán responsabilidad alguna por cualquier uso que se haga de dicha información.



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-Ramsamooj ♦ **RECOPE:** Ricardo Bell Pantoja; Henry Arias ♦ **RepsolYPF:** Juan Santángelo; Ricardo Ferro ♦ **Wintershall:** Mariano Cancelo ♦ **ARPEL:** Miguel Moyano (Gerente de Proyectos del Grupo de Trabajo de Planificación de Respuesta a Emergencias)

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.



TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	1
Resumen Ejecutivo.....	2
1. Introducción.....	6
1.1. Propósito	6
1.2. Alcance	6
1.3. Organización.....	6
2. Visión general de la quema in situ	8
2.1. La ciencia de la quema.....	8
2.2. Resumen de las investigaciones y pruebas de quema in situ	13
2.3. Cómo se conducen las quemas	15
2.4. Ventajas y desventajas.....	19
2.5. Comparación de la quema con otras medidas de respuesta.....	20
3. Evaluación de la factibilidad de la quema	22
3.1. Decidir si se quema	22
3.2. Áreas donde la quema puede estar prohibida	22
3.3. Aprobaciones reglamentarias.....	22
3.4. Preocupaciones por el medio ambiente y la salud	24
3.4.1. Seguridad del personal de respuesta	24
3.4.2. Salud pública.....	24
3.4.3. Calidad del aire	25
3.4.4. Cálculo de concentraciones de emisiones en dirección al viento.....	28
3.4.5. Calidad del agua	31
3.4.6. Efectos en la tierra	32
3.4.7. Efectos en las aves y otras especies.....	32
3.4.8. Preocupaciones en materia de infraestructura	33
3.5. Propiedades y condiciones del hidrocarburo	33
3.5.1. Espesor de la mancha	33
3.5.2. Meteorización del hidrocarburo /contenido volátil.....	33
3.5.3. Emulsificación del hidrocarburo	34
3.6. Condiciones climáticas y ambientales.....	35
3.7. Quema en lugares especiales.....	36
3.7.1. Pantanos.....	36
3.7.2. Cerca de la costa	37
3.7.3. Zona intermareal.....	37
4. Equipos – Selección, despliegue y operación	39
4.1. Quema sin contención.....	39
4.2. Métodos de contención y desviación de hidrocarburos.....	40
4.2.1. Barreras resistentes al fuego	40
4.2.2. Barreras convencionales.....	45
4.2.3. Configuraciones y remolque de barreras.....	45
4.2.4. Configuraciones no probadas de la contención	49
4.2.5. Despliegue de la barrera.....	51
4.2.6. Barreras de apoyo.....	59
4.2.7. Alternativas a las barreras	59



4.3.	Dispositivos de encendido	60
4.3.1.	<i>Helitorchas</i>	63
4.3.2.	<i>Dispositivos no comerciales de encendido</i>	69
4.4.	Agentes de tratamiento	75
4.5.	Buques / aeronaves de apoyo.....	77
4.6.	Monitoreo, toma de muestras y análisis.....	79
4.6.1.	<i>Monitoreo en tiempo real</i>	79
4.6.2.	<i>Monitoreo visual</i>	80
4.6.3.	<i>Obtención y análisis de muestras</i>	81
4.6.4.	<i>Análisis de datos</i>	81
4.7.	Recuperación final de residuos	82
4.8.	Disponibilidad de equipamiento	83
4.9.	Lista de verificación de equipos	83
5.	Análisis del Beneficio Ambiental Neto y posibles situaciones de derrame.....	84
6.	Actividades posteriores a la quema.....	99
6.1.	Monitoreo de seguimiento.....	99
6.2.	Estimación de la eficacia de la quema	99
6.3.	Tasa de la quema	100
7.	Precauciones de salud y seguridad durante la quema	101
7.1.	Precauciones de salud y seguridad de los trabajadores	101
7.1.1.	<i>Impedir el encendido y los fuegos secundarios no deseados</i>	101
7.1.2.	<i>Manejo de barreras</i>	104
7.1.3.	<i>Seguridad de la operación de encendido</i>	104
7.1.3.1.	<i>Seguridad de la helitorcha</i>	105
7.1.4.	<i>Exposición del personal a las operaciones de quema</i>	107
7.1.5.	<i>Requisitos de salud y seguridad</i>	109
7.1.6.	<i>Capacitación para el quemado in situ</i>	109
7.1.7.	<i>Seguridad de las embarcaciones</i>	109
7.1.8.	<i>Seguridad de las aeronaves</i>	110
7.2.	Precauciones de seguridad y salud pública	110
7.3.	Establecimiento de zonas de seguridad	111
8.	Referencias	113
8.1.	Algunas referencias específicas a la quema en tierra	118
9.	Glosario	120

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	– Resumen de estudios usados para medir las emisiones de la quema in situ	26
Tabla 2	– Parámetros de ecuaciones de predicción	29
Tabla 3	– Cálculo de niveles de preocupación para grupos de emisiones.....	29
Tabla 4	– Cálculos de distancias seguras.....	31
Tabla 5	– Propiedades típicas para los estados de agua en hidrocarburos.....	35
Tabla 7	– Tiempos de gelificación de algunos hidrocarburos (utilizando Sure Fire)	68
Tabla 8	– Escenarios específicos de derrames y estrategias de quema.....	87
Tabla 9	– Tácticas para enfrentar diversas situaciones relacionadas con los hidrocarburos.....	94
Tabla 10	– Distancias de zona de peligro calculadas utilizando el modelo ALOFT (distancias en km).....	112
Tabla 11	– Distancias seguras calculadas de datos históricos de emisiones	112



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pasos en la quema in situ.....	16
Figura 2 - Diagrama de decisiones para la quema in situ.....	18
Figura 3 - Diseños de barreras resistentes al fuego.....	42
Figura 4 - Nomograma para calcular la quema o el área de la mancha.....	46
Figura 5 - Configuraciones de barreras para quema in situ.....	48
Figura 6 - Configuraciones no probadas de contención / desvío para la quema in situ.....	50
Figura 7 - Esquema de despliegue de barrera en río.....	54
Figura 8 - Procedimientos de despliegue de barrera en río.....	55
Figura 9 - Nuevos conceptos para la quema de hidrocarburo en agua.....	61
Figura 10 - Barrera de burbujas.....	62
Figura 11 - Simplex Helitorch.....	64
Figura 12 - Universal Drip Torch.....	65
Figura 13 - Componentes de la helitorcha.....	65
Figura 14 - Ubicación de las áreas de mezcla de combustible y carga de la helitorcha.....	66
Figura 15 - Disposición de las áreas de mezcla de combustible y carga de la helitorcha.....	67
Figura 16 - Equipo de operación de la helitorcha.....	68
Figura 17 - Montaje de la configuración de helitorcha en helicóptero.....	71
Figura 18 - DREVIgniter.....	73
Figura 19 - Dome Igniter.....	74
Figura 20 - Dispositivo de encendido manual.....	75
Figura 21 - Uso de la barrera remolcada para la quema directa de hidrocarburo.....	95
Figura 22 - Uso de la barrera remolcada para juntar y quemar el hidrocarburo.....	95
Figura 23 - Uso de la barrera remolcada para quemar y separar a la fuente del fuego.....	96
Figura 24 - Uso de barreras resistentes al fuego para proteger instalaciones turísticas.....	96
Figura 25 - Barrera anclada.....	97
Figura 26 - Barrera de desvío.....	97
Figura 27 - Uso de barrera temporal de acero.....	98
Figura 28 - Quema no contenida.....	98
Figura 29 - Procedimientos de puesta a tierra y enlace para mezclar el combustible de la helitorcha.....	108

LISTA DE APÉNDICES

APÉNDICE A - Hoja de evaluación de la quema in situ.....	126
APÉNDICE B - Equipos para quema in situ.....	131
APÉNDICE C - Tareas del equipo de operación de la helitorcha.....	133
APÉNDICE D - Cuadros de mezcla de combustibles gelificados para la helitorcha.....	137
APÉNDICE E - Lista de verificación de los equipos necesarios en la quema in situ.....	139



Resumen

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. La quema in situ puede acortar el tiempo de respuesta a un derrame de hidrocarburos, 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.

Lo que queda después de una quema in situ son productos derivados quemados, como dióxido de carbono, agua, partículas de humo e hidrocarburo no quemado, en forma de residuos. Se dispone ahora de información suficiente para predecir los niveles de emisión del fuego y calcular 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 necesita la contención, la quema in situ requiere menos equipo y personal que los métodos mecánicos de limpieza de derrames de hidrocarburos.

El presente documento ofrece una orientación sobre de la toma de decisiones para la quema in situ de derrames de hidrocarburos. Contiene una compilación de información acerca de la quema in situ de derrames de hidrocarburos 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.



Resumen Ejecutivo

Si bien se ha probado la quema in situ de los derrames de hidrocarburos durante los últimos treinta años, sólo 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. El presente informe proporciona información básica en estos dos importantes temas, así como asesoramiento práctico sobre cómo llevar a cabo las quemas.

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 uniforme 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 por día. La velocidad de quema para el crudo típico es de aproximadamente la mitad, y la velocidad de quema para los hidrocarburos más pesados es alrededor de 1.200 L/m² por 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 quemas 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 monitorearse 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 monitorear 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 informe se analizan en forma exhaustiva las emisiones de la quema. Estas emisiones incluyen aquellas que provienen desde el penacho de humo, 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. El siguiente es un breve resumen de cada tipo de emisión.

Material particulado / hollín – Todas las quemas, especialmente las de combustible diesel, producen abundante material particulado. El material particulado a nivel del suelo cercano al fuego y debajo del penacho constituye una preocupación por la salud. Las concentraciones de particulados en emisiones que provienen de la quema de diesel son aproximadamente cuatro veces más que aquellas que provienen de la quema de una cantidad similar de crudo a la misma distancia del fuego. El material particulado se distribuye exponencialmente desde el fuego, en la dirección del viento. Las concentraciones al nivel del suelo [1 m] pueden aún estar por encima de los niveles de preocupación por la salud ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) hasta a 500 m en la dirección del viento de un pequeño fuego de crudo (área de la quema $<500 \text{ m}^2$).

Las partículas más pequeñas o respirables constituyen la mayor preocupación. La fracción PM-10, o partículas menores a $10 \mu\text{m}$, por lo general son aproximadamente el 0.7 del total de la concentración de partículas (TSP) de todas las partículas medidas. La fracción PM-2.5 no se mide fácilmente, ni se entienden por ahora todas las facetas de la partícula.

Hidrocarburos poliaromáticos (HPA) – Los hidrocarburos contienen cantidades significativas de hidrocarburos poliaromáticos que en gran parte se destruyen en la combustión. Las concentraciones de HPA en el humo, tanto en el penacho como en la precipitación de las partículas a nivel del suelo, son mucho menores en el hidrocarburo de partida. Esto incluye la concentración de HPA de anillos múltiples que a menudo se crean durante otros procesos de combustión tales como en incineradores de baja temperatura y motores diesel. Hay un pequeño aumento en la concentración de HPA de anillos múltiples en el residuo de la quema. Cuando se considera el saldo de masa de la quema, sin embargo, la mayoría de los HPA de cinco o seis anillos se destruyen por el fuego. Cuando se quema combustible diesel, las emisiones muestran un aumento en la concentración de HPA de anillos múltiples en el penacho de humo y residuo, pero aún se encuentra una destrucción neta de los HPA.

COV – Los incendios emiten muchos compuestos orgánicos volátiles, pero en cantidades menores que cuando el hidrocarburo no se está quemando. Mientras que los COV no son, en general, una preocupación, estos pueden aumentar casi a niveles que constituyen una inquietud en materia de salud cuando se encuentran muy cerca del fuego [$<100 \text{ m}$].

Compuestos Orgánicos – No se generan compuestos exóticos o altamente tóxicos como resultado del proceso de combustión. Las macromoléculas orgánicas se encuentran en concentraciones menores en el humo y en la dirección del viento que en el hidrocarburo en sí mismo. No se crean dioxinas y dibenzofuranos durante la quema de hidrocarburos.

Carbonilos – Los carbonilos, tales como aldehídos y cetonas, se crean durante la quema de hidrocarburos, pero no exceden los niveles de preocupación por la salud aun cuando se encuentran muy cerca del fuego.



Gases – Los gases de combustión, tales como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono y el dióxido de azufre, se producen durante los incendios de hidrocarburos pero están significativamente por debajo de cualquier nivel de preocupación por la salud.

En conjunto, ahora se comprenden a las emisiones hasta el punto de que los niveles de emisiones y distancias seguras se pueden calcular para varios tipos y tamaños de fuegos. Se brindan ecuaciones para predecir las concentraciones de emisiones para los diversos grupos y para más de 150 compuestos específicos, así como tablas de resultados. Un incendio de crudo estándar no excedería los niveles de preocupación por la salud por emisiones que se encuentran más allá de aproximadamente 500 m del fuego.

En algunas circunstancias, deben monitorearse las concentraciones de partículas de las quemas in situ de hidrocarburos. Se describen los procedimientos y la instrumentación para hacer esto. Las medidas en el sitio no son lo suficientemente precisas para regular el uso de la quema, pero sirven para documentar qué concentraciones se alcanzaron en un lugar dado. Actualmente, los instrumentos de lectura directa no proporcionan buenas lecturas porque la información requiere corrección para los valores de referencia y otras manipulaciones tales como los promedios. También se puede medir la concentración de los COV para brindar documentación. Se describe una técnica de toma de muestras para los COV.



1. Introducción

1.1. Propósito

El presente informe describe los pasos operativos que participan en el uso de la quema in situ para la limpieza de un derrame de hidrocarburo, concentrándose en escenarios de derrames en mar abierto y cercanos a la costa. También se dirige, pero en forma tangencial, la aplicación de la quema in situ para derrames en humedales, o en otras situaciones en tierra. Se proporciona información para ayudar a quienes responden a derrames de hidrocarburos para determinar si la quema in situ es un método de limpieza factible para un derrame determinado. En tanto pocas quemadas in situ se han llevado a cabo durante derrames reales, la experiencia en esta área se ha restringido a un pequeño grupo de investigadores y encargados de la respuesta. Este informe reúne esta experiencia en una publicación que será accesible a todos los que están interesados en esta técnica de limpieza de derrames de hidrocarburo.

1.2. Alcance

Este informe se refiere a la quema in situ de derrames de hidrocarburo en mar abierto, bañados, áreas cercanas a la costa y en zonas intermareales.

1.3. Organización

En la Sección 2 se ofrece una visión general de la quema in situ, que incluye los aspectos científicos de la quema de hidrocarburo y un resumen de investigaciones y pruebas pasadas. Se indican los pasos seguidos en una quema típica y se compara la técnica con otras técnicas de limpieza de derrames.

En la Sección 3 se ofrece información para ayudar a quienes responden a derrames de hidrocarburos en el agua determinar si la quema in situ es un método de limpieza factible para un derrame determinado. Se indican las aprobaciones reglamentarias, así como los problemas en materia ambiental y de salud que se asocian con la quema de hidrocarburos, incluyendo la seguridad del personal de respuesta y el público en general, los tipos de emisiones al aire que se producen por una quema de hidrocarburos in situ y cómo se calculan estas emisiones y una distancia segura desde el fuego por la dirección del viento, y efectos en la calidad del agua. También se analiza el efecto de la quema in situ tanto de las propiedades y condiciones del hidrocarburo y el tiempo y las condiciones ambientales. Se analiza asimismo la quema de derrames de hidrocarburos en lugares ambientalmente sensibles, tales como bañados o áreas cercanas a la costa.

En la Sección 4 se describen los tipos de equipamiento que se requieren para una quema in situ. Esto incluye barreras de contención, dispositivos de encendido, agentes de tratamiento, buques y aeronaves de apoyo, equipo de monitoreo, toma de muestras y análisis, y equipo para la recuperación de residuos. En esta sección se incluyen cómo se despliega este equipo y los procedimientos operativos para el equipo.



En la Sección 5 se brinda información acerca de cómo desarrollar un Análisis del Beneficio Ambiental Neto y acerca de derrames de hidrocarburos específicos que se pueden tratar mediante una quema in situ y se indican algunas estrategias para técnicas de quema reales.

En la Sección 6 se analizan las medidas que se deben tomar después de la quema, incluyendo un monitoreo de seguimiento y la estimación de la eficacia de la quema, tasa de la quema y la cantidad de hidrocarburo quemado.

En la Sección 7 se analizan las precauciones de salud y seguridad que debe tomar el personal que opera el equipo durante una quema in situ. Esto incluye formas de prevenir incendios no deseados y fuegos secundarios, cuándo reevaluar o terminar la quema, una revisión de problemas potenciales durante la quema, formas de controlar o extinguir el fuego, manejo seguro de las barreras, operación segura de los sistemas de encendido, particularmente helitorchas, exposición del personal en las operaciones de quema, equipo de protección personal, capacitación para el personal de respuesta, seguridad de buques y aeronaves, y precauciones de salud pública y seguridad.

En la Sección 9 se incluye un glosario de términos técnicos relacionados con la quema in situ.

Para complementar los temas analizados en el texto, se brinda información más detallada en los Apéndices.



2. Visión general de la quema in situ

2.1. La ciencia de la quema

Los conceptos fundamentales de la quema in situ son similares a los de cualquier fuego, a saber, se requieren combustible, oxígeno y una fuente de ignición (Evans *et al.*, 1991). La vaporización del hidrocarburo suministra el combustible. La vaporización del hidrocarburo debe ser suficiente para producir una quema uniforme, es decir, en la que la cantidad de vaporización es casi la misma que la consumida por el fuego. La regla general para fuegos in situ es que la mancha debe por lo menos tener de 2 a 3 mm de espesor para que se encienda. De hecho, lo que se necesita para comenzar la quema de una capa de hidrocarburo es abundancia suficiente de vapores. Una vez que una mancha de hidrocarburo se está quemando, se quema a una tasa de aproximadamente 3.75 mm por minuto. Un hidrocarburo más pesado puede quemarse a tasas tan bajas como 1 mm/min (Fingas *et al.*, 2004). Esta tasa está limitada por la cantidad de oxígeno disponible y el calor irradiado hacia el hidrocarburo. 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.

- Los hidrocarburos en el agua deben tener un mínimo de vapores por encima de una capa de hidrocarburo para quemarse. La regla general es que los hidrocarburos livianos deben tener entre 2 y 3 mm de espesor para que se enciendan y mantengan la quema, debido a la pérdida de calor hacia el agua.
- La tasa de quema para el hidrocarburo crudo es, por lo general, de 3,75 mm/min, lo que produce una regla general de alrededor de 5000L/m² por día. La tasa de quema para hidrocarburos pesados puede ser tan baja como 1 mm/min, lo que produce una tasa diaria de alrededor de 1300 L/m² por día.
- El hidrocarburo completamente emulsionado con agua puede no encenderse, pero se pueden encender emulsiones menos estables si se enciende un área suficiente.

La quema "uniforme" supone que se cumplen las condiciones mencionadas anteriormente (Thompson *et al.*, 1979). 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 de vuelta hacia el hidrocarburo. Se ha estimado que este es aproximadamente de 2 a 3 % del calor del fuego (Buist *et al.*, 1994). Si la mancha de hidrocarburo es demasiado delgada, parte de este calor es conducido hacia la capa de agua que está por debajo de esta. Como la mayoría de los hidrocarburos tienen el mismo factor de aislamiento, la mayoría de las manchas deben tener un espesor de 2 a 3 mm, como se mencionó anteriormente, 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 suficientes 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 o, por lo general, ocurren pequeñas explosiones o bolas de fuego.



El último fenómeno se observa a menudo cuando se están quemando crudos livianos o combustible diesel. Se ha demostrado que el combustible diesel se quema de manera diferente de otros combustibles, con una tendencia a atomizar más que a vaporizar. Esto resulta en una formación de hollín obviamente más pesada (Fingas *et al.*, 1996a).

La cantidad de hidrocarburo que se puede remover en un tiempo dado depende del área cubierta por el hidrocarburo. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las piletas de hidrocarburo se queman a una tasa de aproximadamente 3,75 mm por minuto. Esto significa que la profundidad del hidrocarburo se reduce en 3,75 mm por minuto. Como regla general, la tasa de la quema del hidrocarburo es de aproximadamente 5.000 L/m² por día. Varias pruebas han demostrado que esto no varía significativamente con el tipo y meteorización del hidrocarburo (Evans *et al.*, 1990). Puede ser que el hidrocarburo emulsionado se queme de forma más lenta, ya que su contenido de agua reduce la velocidad en la que se extiende y aumenta la necesidad de calor.

Históricamente, se pensaba que la tasa de la quema dependía del tamaño de la escala. Las primeras investigaciones propusieron una relación cíclica entre la tasa de la quema y el diámetro del estanque (Buist *et al.*, 1994). Esta teoría se basó en propuestas sobre características de la llama en la región del flujo laminar (0 a 10 cm), hacia la zona de transición (10 a 100 cm), a través del régimen de flujo turbulento (>100 cm) Dado que la mayoría de las pruebas y quemas reales tienen más de 100 cm de diámetro, esta teoría puede no ser importante para la quema in situ. Algunos autores informaron de un aumento en la tasa de la quema con la velocidad del viento (Buist *et al.*, 1994). Este trabajo informó un aumento igual a 0.15 veces la velocidad del viento multiplicada por la tasa de la quema en reposo. Esto se traduce en un aumento de aproximadamente dos veces la tasa de la quema por un aumento de diez veces la velocidad del viento.

Estudios realizados en los últimos diez años indican que el tipo de hidrocarburo no es demasiado importante para determinar cómo se enciende y se quema un hidrocarburo. Sin embargo, los hidrocarburos pesados requieren tiempos de calentamiento más largos y una llama más caliente para quemarse que los hidrocarburos livianos. Los hidrocarburos más pesados se queman más lento que los hidrocarburos livianos (Fingas *et al.*, 2004a). Estudios anteriores parecían indicar que los hidrocarburos más pesados y los hidrocarburos con contenido acuoso requerían mayor espesor para encenderse. Sin embargo, pruebas recientes han mostrado que esto no es correcto (Buist *et al.*, 1994).

La eficacia de la quema es el volumen inicial de hidrocarburo antes de quemarse, menos el volumen que queda como residuo, dividido por el volumen inicial del hidrocarburo. La cantidad de hollín que se produce, por lo general no se tiene en cuenta al calcular la eficacia de la quema. La eficacia es en gran medida una función del espesor de la capa de hidrocarburo. Por ejemplo, una mancha de 2 mm que se quema y se reduce a 1 mm produce una eficacia máxima del 50%. Una piletta de hidrocarburo de 20 mm de espesor se quema hasta aproximadamente 1 mm, produciendo una eficacia de aproximadamente un 95 %. Investigaciones actuales muestran que otros factores tales como el tipo de hidrocarburo y el bajo contenido de agua afectan sólo marginalmente la eficacia.



La mayoría de los hidrocarburos, si no todos, se quemarán en agua si las manchas son lo suficientemente espesas. Excepto por los productos refinados livianos, los diferentes tipos de hidrocarburos no han mostrado diferencias significativas en el comportamiento ante la quema. El hidrocarburo meteorizado requiere de un tiempo más prolongado de encendido y una temperatura de encendido algo superior. (Twardus, 1980). En el momento del derrame de *Torrey Canyon*, no se sabía que el espesor del hidrocarburo sería una limitante. Glassman y Hansel (1968) realizaron estudios poco después de este incidente y concluyeron que las manchas que no se encendieron tenían menos espesor que el mínimo requerido. Maybourn (1971) estudió el espesor de encendido del hidrocarburo y determinó que las manchas que tenían 3 y 6 mm de espesor se quemaban. Twardus (1980) llevó a cabo pruebas preliminares del espesor mínimo para la quema y propuso que todos los combustibles se quemaban en la prueba inicial de 5 mm de espesor se quemaban con el espesor inicial de 5 mm ensayado. El Bunker C necesitó tiempos de calentamiento más largos y que se le agregara crudo.

Más pruebas sobre crudos livianos mostraron que el espesor mínimo para el encendido era de 0,58 a 0,62 mm y que los residuos variaban entre 0,35 y 0,58 mm (Twardus y Bruzustowski, 1981). Esto se comparó con el espesor de hidrocarburo fresco no contenido de 0,5 a 0,6 mm a 0 °C, 0,2 a 0,25 mm a 5 °C, y 0,5 mm a 10°C. Los hidrocarburos viejos mostraron espesores de extensión limitados de 1,90 a 3,0 mm a 0°C, 1,2 a 2 mm a 5°C, y 1,2 a 1,3 mm a 10°C.

Arai *et al.* (1993) estudió velocidades de quema de varios crudos y encontró que las velocidades disminuían a espesores de 18 a 1 mm, pero que la mayoría de los hidrocarburos se podían encender con 1 a 2 mm. Se pensó que el espesor de la quema inicial dependía de variaciones en la conductividad térmica del hidrocarburo de partida. Elam *et al.* (1989) midieron la conductividad térmica de tres hidrocarburos crudos siendo 130 mW/m K en un rango de temperatura de 50 K. Se encontró poca diferencia para el tipo de hidrocarburo o la temperatura. En términos generales, la mayoría de los autores han concluido que la regla general es que el espesor del hidrocarburo mínimo que puede encenderse es de 2 a 3 mm, ya que este espesor siempre va a quemarse.

Se realizaron algunos estudios sobre el espesor final del hidrocarburo que se está quemando en el agua antes de que se extinga. Buist *et al.* (1994) analizaron un gran número de casos en los que se midió el residuo de la quema del hidrocarburo o el espesor del hidrocarburo al final de la quema. Encontraron que el promedio del espesor final era de 1 mm y el espesor del residuo oscilaba entre aproximadamente 0,5 y 2 mm. De este modo, se propuso que se adoptara como regla general que 1 mm es el espesor de la quema final.

Hay incertidumbre acerca de si el hidrocarburo que está completamente emulsionado con agua se puede encender. El hidrocarburo que está algo emulsionado se puede encender y quemar (Smith y Díaz, 1987). Durante la exitosa prueba de quema del hidrocarburo de *Exxon Valdez*, se presentaron algunos parches de emulsión (probablemente menos que 20% por una cobertura de área) Mientras que sí llevó más tiempo encender la quema (>5 minutos), no afectó la eficacia de la quema (Allen, 1990). Se sospecha que el fuego se inicia bajo la emulsión de agua en hidrocarburo y, por lo tanto, el contenido de agua no debería ser un problema si el fuego se puede comenzar. No hay una prueba concluyente en este momento acerca del contenido de agua con el que las emulsiones se pueden encender.



Un estudio sugirió que un crudo más pesado no se quemaría con un 10 % de agua (Smith y Díaz, 1987), otro hidrocarburo se quemó con una cantidad de 50% de agua, y otro se quemó con aproximadamente un 70 % de agua (Twardus, 1980).

Twardus (1980) observó que mezclas que contienen menos de 20% de agua se encendieron fácilmente, pero se necesitó precalentamiento. Las mezclas de hidrocarburo con 30 a 50% de agua necesitaron un dispositivo de encendido potente y períodos de tiempo de precalentamiento aún más largos. Tres mezclas con aproximadamente 70% de agua se quemaron con un período de precalentamiento largo y un dispositivo de encendido potente. Un estudio mostró que las emulsiones pueden quemarse si se enciende un área suficiente (Bech *et al.*, 1992). Otros estudios indicaron que las emulsiones estables no se quemarán, pero que el hidrocarburo que contiene menos de 25% de agua se puede encender. La quema de las emulsiones puede estar relacionada con su clase de estabilidad (Fingas *et al.*, 1998a). Debe observarse que no se midió la estabilidad de la emulsión en ninguno de los estudios previos. Es posible que las emulsiones no sean un problema porque los desemulsionantes químicos podrían ser utilizados para romper la emulsión lo suficiente para permitir que se inicie el fuego.

El residuo de la quema del derrame de hidrocarburo 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, también está presente el hidrocarburo que ha sido expuesto a un calor intenso y se encuentra, por lo tanto, meteorizado. Finalmente, las partículas más pesadas se re-precipitan en el fuego. Las quemas altamente eficaces de algunos tipos de crudo pesado pueden generar un residuo de hidrocarburo que se hunde en el agua del mar.

En todos los fuegos se forma hollín. No se sabe con precisión la cantidad de hollín que se produce porque no hay medios directos para medir el hollín de grandes incendios. Se cree que la cantidad de hollín es de aproximadamente 1 a 3% para fuegos de hidrocarburo crudo y aproximadamente 8% de fuegos para diesel (Fingas *et al.*, 1996b). Existe una consideración complementaria de que el hollín precipita a una velocidad igual a aproximadamente el cuadrado de la distancia desde el fuego. Por lo que un porcentaje constante de hollín para todo un fuego puede no ser importante.

El hollín consiste en aglomeraciones de partículas esféricas. Nelson (1989) midió varias aglomeraciones de hollín y observó que las esferas individuales tenían radios de 5 a 25 nm (1 nm = 1000 μ m). Las partículas de hollín eran agregados de 50 a 250 esferas y la agregación se podía describir como una dimensión fractal de 1,7 a 1,9. Sorensen y Feke (1996) estudiaron las partículas de hollín y observaron que los agregados oscilaban entre 50 nm y 400 μ m con una dimensión fractal de 1,8. Se determinó que el tamaño primario de la partícula era de 5 nm, siendo la agregación típica más pequeña 10 para producir el diámetro típico más pequeño de 50 nm.

El calor total irradiado por una quema dada ha sido medido como 1.1 MW/m² (Evans *et al.*, 1988). Evans calculó que el calor necesario para vaporizar el hidrocarburo era de 6,7 KW/m² y que el calor perdido de la conducción a través de la mancha hacia el agua subyacente era de 2,5 KW/m². La fracción de calor liberado que era irradiado hacia la pileta era de aproximadamente 0,02 en el borde de la pileta y de 0,045 en el centro.



Otros investigadores informaron una fracción de calor re-irradiada entre 0,01 y 0,02 (1 a 2%) (Buist *et al.*, 1994).

McCourt *et al.* (1998) informó sobre el total de calor irradiado por varios fuegos. El hidrocarburo de Alaska North Slope mostró una tasa de pérdida de calor de 176 KW/m², el combustible diesel 230 KW/m², y el propano, 70 KW/m². El calor irradiado por un fuego de propano líquido mejorado por flujo de aire y aumento de presiones fue de 180 KW/m². Se informó, como resultado de estos fuegos, un flujo de calor en las barreras de 140 a 250 KW/m² para hidrocarburos crudos, 120 a 160 KW/m² para combustible diesel, 60 a 100 KW/m² para el propano, y 100 a 160 KW/m² para el propano mejorado

Se han medido las velocidades de extensión de la llama en varios fuegos (Buist *et al.*, 1994). Las velocidades de extensión de la llama no varían mucho con el tipo de combustible, pero varían significativamente con el viento, especialmente, especialmente en lo que se relaciona con la dirección en contra y a favor del viento. Las velocidades de extensión de la llama oscilan entre 0,01 y 0,02 m/s (0,02 a 0,04 nudos) La extensión de la llama en la dirección del viento oscila entre 0,02 y 0,04 m/s (0,04 a 0,08 nudos) y hasta 0,16 m/s (0,3 nudos) en fuertes vientos. Fingas *et al.* (2004a) midieron la extensión de la llama de una variedad de hidrocarburos pesados, incluyendo Orimulsión y Bunker C, con un promedio de 0,05 m/s. Wu *et al.* (1997) midieron las velocidades de la llama como una función de flujos de calor externos y encontraron que estas varían de 0,01 a 0,16 m/s (0,02 a 0,3 nudos), según el flujo de calor.

Los flujos de calor más altos produjeron altas velocidades de extensión de las llamas. Las velocidades de la llama no cambiaron cuando el hidrocarburo era más espeso que 8 mm. Varios autores han medido las alturas de la llama (Buist *et al.*, 1994). Mientras que la información varía significativamente, podría ser una regla general el que la altura de la llama de un pequeño fuego menor a 10 m (33 pies) de diámetro es aproximadamente dos veces la altura del diámetro del fuego. La altura de la llama se aproxima al diámetro de la pileta hasta alrededor de 100 m de diámetro. Por lo que una estimación de la altura de la llama de un fuego en una barrera con un radio de 10 a 20 m, es de aproximadamente 1,5 veces el diámetro o de 15 a 30 m.

Varios autores informaron sobre conclusiones de que hay una etapa de quema vigorosa cerca del final de una quema. Esto sucede debido a un incremento en la transferencia de calor hacia la superficie del agua con disminución del espesor de la mancha. Se transfieren cantidades significativas de calor hacia el agua sobre el final de la quema cuando el espesor de la mancha se acerca a 1 mm (0,04 pulgadas) y este calor hace que finalmente el agua hierva. La ebullición inyecta vapor e hidrocarburo en la llama dando origen a una quema "vigorosa" que produce vapor.

Este fenómeno ocurre solamente en tanques de prueba poco profundos ya que hay poco movimiento de agua bajo la mancha que aleje el calor. Durante la quema NOBE, no se observó una quema vigorosa y las mediciones de la termocupla en el agua, no mostraron aumento de la temperatura del agua (Fingas *et al.*, 1994b). Esto se debe a dos factores, primero, el movimiento de la mancha sobre el agua, y segundo, la vasta cantidad de agua bajo la quema. Por lo que el fenómeno de una fase de quema rápida o vigorosa no es importante en la situación en el mar.



Pilewskie y Valero (1992) midieron el efecto radiactivo de los fuegos de hidrocarburo de Kuwait en un punto aproximadamente a 100 km en dirección al viento de los fuegos. Ellos descubrieron que el penacho de humo absorbió aproximadamente un 78% de la radiación solar y aproximadamente un 8 % fue transmitido a la superficie terrestre. El humo alcanzó una altura máxima de 4,5 km con poca penetración en la estratosfera, lo que indica que no ocurrió una autoelevación. Este es un fenómeno que puede ocurrir si el penacho mantiene o aumenta su fuerza ascensional como resultado de la absorción del calor del sol.

La historia de la ciencia de la quema in situ está llena de teorías y suposiciones interesantes. Hay varias revisiones de teorías de años anteriores (Buist *et al.*, 1994; Evans, 1994). En resumen, mucha de esta información anterior puede no ser importante para la quema per se, simplemente porque estudios más actuales han demostrado que muchos de los factores o posibles parámetros de la quema son menos importantes de lo que una vez se pensó.

2.2. Resumen de las investigaciones y pruebas de quema in situ

La primera referencia en los trabajos publicados sobre la quema de hidrocarburo en agua fue el uso de una barrera de troncos para la quema en el Río Mackenzie en 1958 (McLeod y McLeod, 1972). Esta misma referencia indica que la quema del hidrocarburo derramado sobre tierra había continuado durante muchos años. Fueron muy conocidos los intentos fallidos para encender el hidrocarburo derramado del *Torrey Canyon* en 1968 (Swift *et al.*, 1968). La profusa investigación sobre la quema in situ de derrames de hidrocarburos comenzó a fines de los 70 y fue realizada en América del Norte por el Ministerio del Ambiente de Canadá, la Guardia Costera de los Estados Unidos (USCG, por su sigla en inglés), el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos (USMMS, por su sigla en inglés) y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos (NIST, por su sigla en inglés).

Con el correr de los años, la investigación sobre la quema in situ ha incluido quemas de prueba en laboratorio, tanques y a escala real. Las primeras pruebas a principios de los años 80 fueron realizadas por ABSORB (actualmente Alaska Clean Seas) y el USMMS para evaluar la quema de hidrocarburo en áreas cubiertas por hielo. Esta investigación abarcó las condiciones ambientales y de hidrocarburo, tales como el estado del mar, las velocidades del viento, las temperaturas del aire y del agua, el manto del hielo, tipo de hidrocarburo, espesor de la mancha, y grado de meteorización y emulsificación del hidrocarburo (Tennyson, 1994). También se hicieron varias pruebas en un tanque de prueba de derrame de hidrocarburo en las instalaciones de OHMSETT del USMMS en Nueva Jersey. Desde el principio de los años 90, se llevaron a cabo varias quemas a mesoescala en Destacamento de Prevención de Incendios y Seguridad de la USCG en Mobile, Alabama.

La quema de prueba más grande y extensa lejos de la costa se realizó fuera de la costa de Terranova, Canadá, en agosto de 1993 (Environment Canada, 1997; Fingas *et al.*, 1994a, 1994b, y 1995a). En el experimento fuera de la costa de Terranova (Newfoundland Offshore Burn Experiment - NOBE) participaron 25 organismos de Canadá y Estados Unidos. Se descargaron dos lotes de 50.000 L de hidrocarburo y se quemaron dentro de una barrera resistente al fuego. Durante esta prueba, se evaluaron más de 2000 parámetros usando diversos métodos de toma de muestras y sensoriales.



Los resultados más importantes consistieron en que todos los niveles de emisión y contaminantes medidos a 150 m de la quema estaban por debajo de los niveles de preocupación por la salud y que a 500 m de la quema era difícil detectar estos niveles. En muchos casos, era menor la cantidad de contaminantes detectada en el penacho de humo que la del hidrocarburo original no quemado. Los resultados también demostraron que los niveles de emisión de esta gran quema fueron menores que los encontrados durante las quemas a mesoescala.

Se hicieron pruebas de varios aspectos de la quema en las instalaciones de la USCG en la Bahía de Mobile, Alabama en 1991, 1992, y 1994 (Fingas et al., 1993, 1996a). Se llevaron a cabo más de 35 quemas usando hidrocarburo crudo y combustible diesel. Se midieron tanto parámetros físicos como la información sobre las emisiones.

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) hizo evaluaciones de prueba de barreras de fuego usando combustible diesel en 1997 y 1998, con el patrocinio del Centro de Investigación y Desarrollo de la Guardia Costera de los Estados Unidos y el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos (USMMS) (Walton et al., 1998, 1999). Se evaluaron cinco barreras en 1997 y seis en 1998. Las evaluaciones de prueba se hicieron en un tanque con olas diseñado especialmente para evaluar las barreras de contención resistentes al fuego ubicadas en el local del Destacamento de Prevención de Incendios y Seguridad de la USCG en la Bahía de Mobile, Alabama. El tanque con olas se diseñó para alojar a una sección de barrera de 15 m nominales, que formara un círculo de aproximadamente 5 m de diámetro. El ciclo de pruebas consistía en tres períodos de quema de una hora con dos períodos de una hora de enfriamiento entre los períodos de quema, de acuerdo con el proyecto de norma del Comité F-20 de la American Society of Testing and Materials (ASTM) (ASTM, 1996b). Se enviaron cuatro de las seis barreras evaluadas en 1998 a las instalaciones de OHMSETT para contención de hidrocarburo ya quemado y pruebas de remolque basadas en sugerencias de ASTM. En general, se constató cierta degradación de los materiales en todas las barreras.

S.L. Ross Environmental Research Ltd. realizó más pruebas en 1996 y 1997 con el patrocinio del Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos (USMMS) y de la Guardia Costera de Canadá (McCourt *et al.*, 1998). Estas pruebas evaluaron barreras de fuego que usaron propano en vez de los combustibles que producen humo, tales como diesel o hidrocarburo crudo. Las evaluaciones de las pruebas con propano se realizaron en un tanque con olas ubicado en Canadian Hydraulic Centre, National Research Council de Canadá en Ottawa. El flujo de calor medido en las pruebas de 1997 con propano mejorado con aire se comparó con los que se midieron en los fuegos con combustible diesel.

MAR, Inc. y S.L. Ross Environmental Research Ltd realizaron dos pruebas independientes de barreras de fuego que usaban propano mejorado con aire en otoño de 1998 (McCourt *et al.*, 1998, 1999). Ambas pruebas se realizaron en las instalaciones de OHMSETT en Leonardo, Nueva Jersey. La primera prueba fue patrocinada por el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos (USMMS) y el Supervisor de Salvamento de la Armada de los Estados Unidos (SUPSALV, por su sigla en inglés).. Se probaron y evaluaron tres sistemas de protección para fuego en fase de experimentación. Cada uno consistía en una manta enfriada por agua diseñada para cubrir la barrera de hidrocarburo existente para proteger su exposición a un fuego de hidrocarburo in situ.



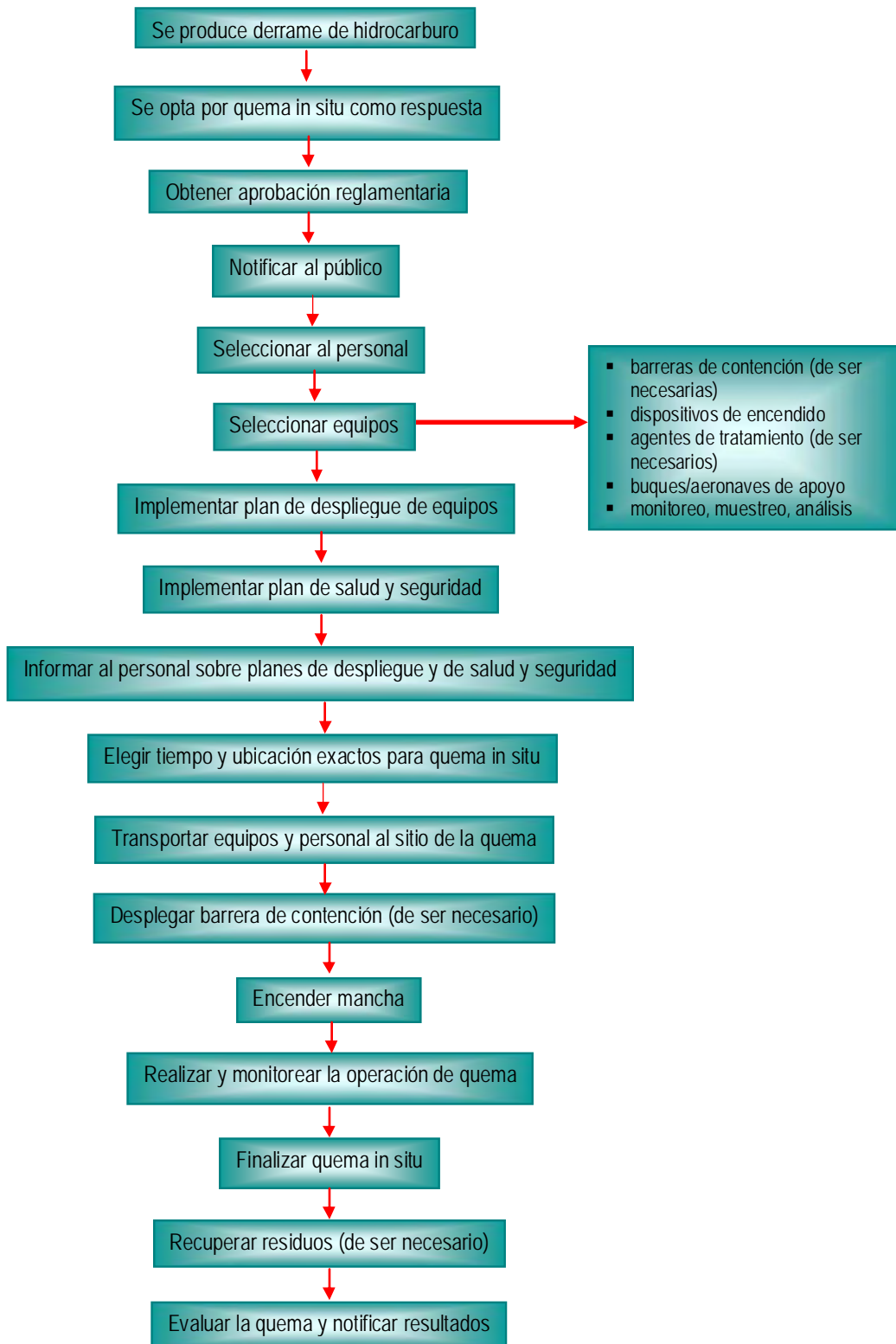
En la segunda evaluación de la barrera de fuego, se probó y evaluó una barrera prototipo Pocket de acero inoxidable usando el sistema de propano mejorado con aire. La barrera Pocket fue un nuevo diseño de la barrera Dome que se había desarrollado originalmente para ser usada en las aguas árticas. Se calentó propano líquido de un tanque de almacenamiento para crear propano gaseoso y se llevó hacia un sistema de burbujas por debajo del agua. El protocolo de evaluación era similar al método preliminar de ASTM que se indicó anteriormente. Las barreras por lo general sobrevivían a las pruebas y mostraban menos degradación que los modelos anteriores de las mismas barreras.

2.3. Cómo se conducen las quemas

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 posibles medidas. Se analizan el tipo de hidrocarburo, el espesor de la mancha y su estado en el momento en que puede aplicarse la quema. La "regla 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. A pesar de que los hidrocarburos con espesores menores podrían quemarse, casi siempre se queman cuando tienen esos espesores.



Figura 1 - Pasos en la quema in situ





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.

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. Cuando el hidrocarburo recolectado en la barrera es lo suficientemente espeso, es encendido utilizando una helitorcha o un dispositivo de encendido de uso manual. 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 monitoreadas 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 monitoreo puede también dirigir los remolques de la barrera hacia las concentraciones de la mancha contra el viento. Durante la quema, el monitoreo 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 residuo se estima de una forma similar. Podría monitorearse el material particulado en la dirección del viento a los efectos de registrar posibles niveles de exposición.

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.

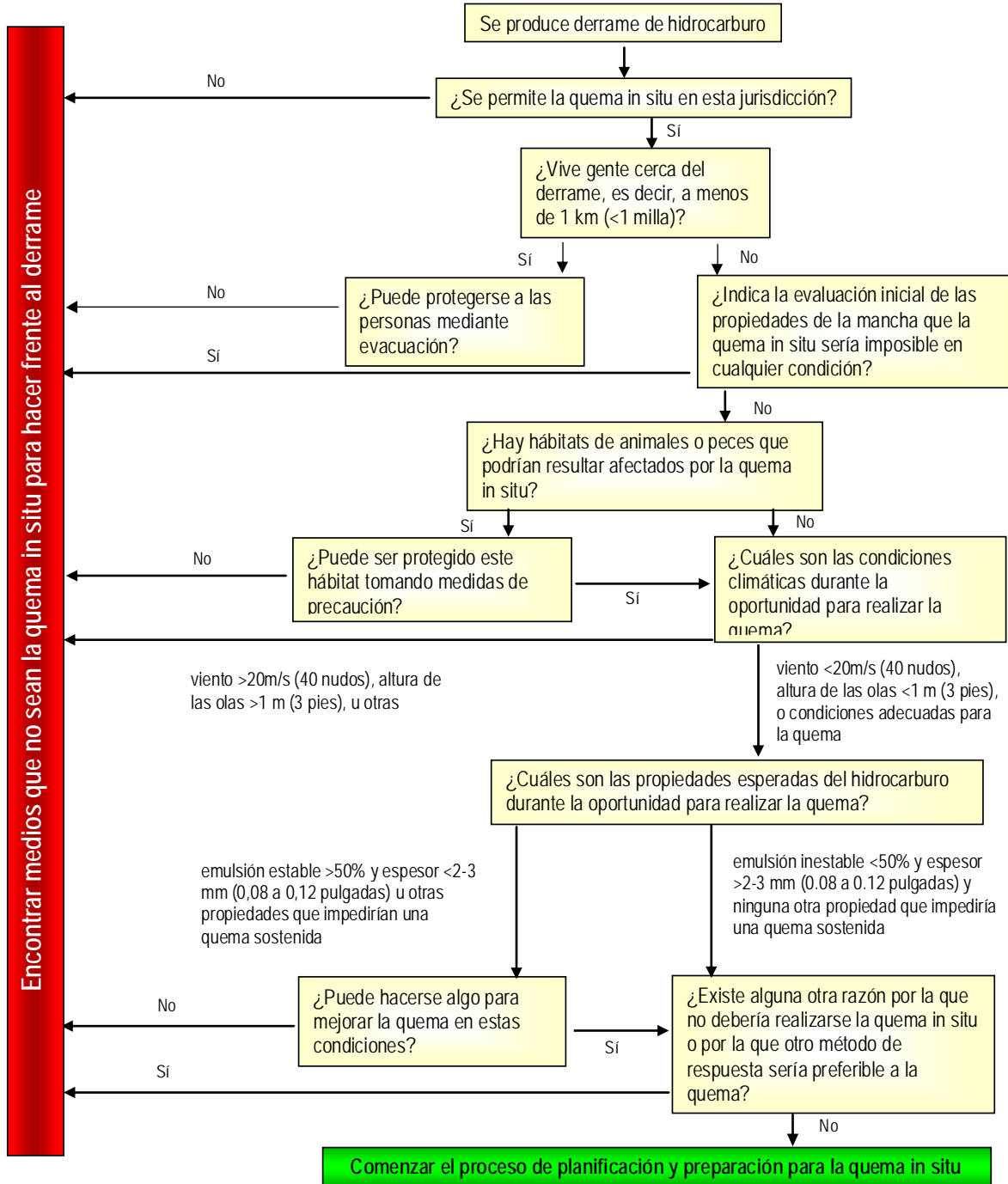
Durante la limpieza del derrame del *Exxon Valdez* en 1989, se utilizaron 137 m de barrera y 152 m de líneas de remolque en una configuración en U para concentrar varios parches de hidrocarburo levemente emulsionado. Se estima que se recolectaron entre 57.000 y 114.000 L de hidrocarburo. El hidrocarburo recolectado se remolcó luego hacia un área lejos de la mancha circundante y se prendió fuego al encender una pequeña bolsa plástica de gasolina gelificada y remolcándola hacia la mancha desde uno de los botes de remolque.

Durante la quema, la intensidad del fuego se controló ajustando la velocidad de los buques de remolque. Al disminuir la velocidad de los remolques aumentaba el tamaño del área de la quema y la movía hacia la apertura de la U. Al aumentar la velocidad del remolque, aumentaba la concentración del hidrocarburo en el eje de la barrera. La quema duró 1 hora y 15 minutos; el período más intenso de la quema duró 45 minutos. El residuo de la quema era un material espeso parecido a la brea que fue fácilmente recuperado. El total del volumen del residuo fue de aproximadamente 1.100 L, dando como resultado una eficacia de quema estimada mayor al 98% (Allen, 1990).



También a veces se puede quemar hidrocarburo sin contención y utilizando contención natural, como por ejemplo frentes oceánicos, hielo o riberas para contener el hidrocarburo. Se proporcionan detalles sobre el uso de las barreras y otras técnicas en la Tabla 8 de la Sección 5.

Figura 2 - Diagrama de decisiones para la quema in situ





2.4. Ventajas y desventajas

La quema in situ tiene algunas claras ventajas sobre otros métodos de limpieza de derrames. Estas ventajas incluyen:

- rápida remoción de grandes cantidades de hidrocarburo de la superficie del agua.
- volumen significativamente reducido de hidrocarburo que requiere eliminación.
- altas tasas de eficacia;
- se requiere menor cantidad de equipos y mano de obra; y
- es posible que sea la única opción de limpieza en algunas situaciones, por ejemplo, "hidrocarburos en hielo" (ASTM, 2002).

La más significativa de estas ventajas es la capacidad de remover grandes cantidades de hidrocarburo rápidamente. Cuando se utiliza en el momento correcto, i.e., inmediatamente después del derrame, antes de que el hidrocarburo se meteorice y pierda sus componentes altamente inflamables y en las condiciones correctas, la quema in situ puede ser muy eficaz para eliminar rápidamente grandes cantidades de hidrocarburo derramado, especialmente del agua. Esto puede evitar que el hidrocarburo se extienda hacia otras áreas y contamine riberas y biota. Comparado con el sistema de desnatado mecánico de hidrocarburo, que generan una gran cantidad de hidrocarburo y agua que debe ser almacenado, transferido, y eliminado, la quema genera una pequeña cantidad de residuo de la quema. Este residuo es relativamente fácil de recuperar y puede ser reducido aún más mediante repetidas quemas.

Mientras que la eficacia de una quema varía por un número de factores físicos, la eficacia de eliminación es generalmente mucho mayor que la de otros métodos de respuesta, tales como el sistema de desnatado y el uso de dispersantes químicos. Durante el experimento fuera de la costa de Terranova (Newfoundland Offshore Burn Experiment - NOBE) que se llevó a cabo en 1993, se llegaron a tasas de eficacia de 98 y 99%.

En circunstancias ideales, la quema in situ requiere menos equipo y mano de obra que otras técnicas. Se puede aplicar en áreas remotas donde otros métodos no se pueden utilizar por las distancias y la falta de infraestructura. Generalmente, no hay suficiente disponibilidad de estos recursos cuando ocurren grandes derrames. La quema es relativamente económica en cuanto al equipo necesario y la realización efectiva de las operaciones de quema. Y por último, la quema puede ser la única opción disponible en algunas circunstancias, tales como en áreas remotas o cuando el hidrocarburo está mezclado con o sobre hielo.

La quema in situ también tiene desventajas, algunas de las cuales son:

- aparece un gran penacho de humo que genera preocupación pública por las emisiones tóxicas al aire y agua;
- período limitado en el cual el hidrocarburo puede encenderse;
- el hidrocarburo debe tener un espesor mínimo para que se pueda encender y quemar, y generalmente debe estar contenido para lograr dicho espesor;
- riesgo de que se expanda el fuego hacia otros materiales combustibles; y
- se debe eliminar el residuo quemado (ASYM, 1997).



La desventaja más obvia de la quema de hidrocarburo es el gran penacho de humo negro que se produce y la preocupación pública por las emisiones. Se han llevado a cabo profusos estudios para medir y analizar estas emisiones. Se analizan los resultados de estos estudios en la Sección 3.4. La segunda desventaja es que el hidrocarburo no se encenderá y quemará al menos que sea de un determinado espesor. La mayoría de los hidrocarburos se extienden rápidamente sobre el agua y la mancha pronto queda demasiado delgada como para que la quema sea posible. Se utilizan barreras resistentes al fuego para concentrar el hidrocarburo y formar manchas más espesas que se puedan quemar. Si bien esto obviamente necesita equipo, personal y tiempo, la concentración de hidrocarburo para la quema requiere menos equipo que la recolección de hidrocarburo con desnatadores.

Y finalmente, la quema de hidrocarburo no se considera una alternativa atractiva a la recolección del hidrocarburo y reprocesamiento para su reutilización. Debe destacarse, sin embargo, que, por lo general, el hidrocarburo recuperado se incinera y muchas veces contiene demasiados contaminantes para que sea reutilizado económicamente. Además, las plantas de reprocesamiento no son fácilmente accesibles en la mayoría de los lugares del mundo.

2.5. Comparación de la quema con otras medidas de respuesta

En general se compara a la quema in situ con el uso de dispersantes como una contramedida. Los dispersantes son agentes químicos para el tratamiento de derrames que promueven la formación de pequeñas gotas de hidrocarburo que se “dispersan” a través de la columna de agua. Los dispersantes contienen agentes tensoactivos, compuestos químicos como los de los jabones y detergentes que tienen tanto un componente soluble en agua como uno soluble en aceite. Los agentes tensoactivos o las mezclas de agentes tensoactivos que se usan en los dispersantes tienen aproximadamente la misma solubilidad en aceite y en agua, lo que estabiliza las gotas de hidrocarburo en agua para que el hidrocarburo se disperse en la columna de agua. Esto puede ser deseable cuando una mancha de hidrocarburo está amenazando una colonia de aves o una ribera particularmente sensible.

Dos asuntos principales asociados con el uso de dispersantes, la toxicidad de la dispersión de hidrocarburo resultante en la columna de agua y su eficacia, han generado controversia en los últimos 30 años. La toxicidad asociada con el uso de dispersante se relaciona con la toxicidad del hidrocarburo disperso. En agua poco profundas o encerradas, el hidrocarburo disperso podría ser tóxico para la vida acuática. Por esta razón, en general no se utilizan dispersantes cerca de la costa. En la mayoría de los países se necesita un permiso especial para usar dispersantes.

Varios factores influyen en la eficacia, incluyendo la composición y grado de meteorización del hidrocarburo, la cantidad y tipo de dispersante aplicado, la energía marina, la salinidad del agua, y la temperatura del agua. El más importante de estos factores es la composición del hidrocarburo, estrechamente seguido por la energía marina y la cantidad de dispersante aplicado. No es probable que ocurra la dispersión cuando el hidrocarburo se ha extendido hacia capas delgadas, de modo tal que el hidrocarburo en partes más delgadas de la mancha no se dispersará cuando se apliquen los dispersantes.



Una desventaja significativa de los dispersantes es que o no funcionan en absoluto o no funcionan bien en hidrocarburos meteorizados, hidrocarburos emulsionados, hidrocarburos pesados y capas delgadas. Los dispersantes funcionan mejor en crudos livianos y no funciona en absoluto en residuos de hidrocarburos. La quema también podría ser utilizada en lugar de los dispersantes si hay dudas sobre la eficacia de un dispersante. Existe una pequeña oportunidad luego de un derrame en la que se pueden aplicar dispersantes, que puede ser tan corta como unas pocas horas o un día. Después de un tiempo, el hidrocarburo se meteoriza demasiado o se emulsiona con agua.

Una ventaja de los dispersantes es que se pueden aplicar sin ningún tipo de actividad en la superficie del agua, y, por lo tanto, pueden ser aplicados en lugares remotos. Otra ventaja es que los dispersantes pueden ser aplicados muy rápido y se pueden tratar grandes cantidades de hidrocarburo en un período corto.

También se compara a la quema in situ con la recuperación mecánica de derrames de hidrocarburo. En mar abierto, la quema tiene ventajas sobre la recuperación mecánica. La recuperación mecánica incluye el uso de barreras y desnatadores para contener físicamente al hidrocarburo y removerlo del agua. Las barreras se limitan a aguas donde las corrientes, con relación a la barrera, son menores a 0,4 m/s (0,7 nudos) o deben ser utilizadas en forma de desviación. Por otro lado, mientras que la recuperación utilizando barreras y desnatadores es más lenta que la eliminación por la quema in situ o los dispersantes, el hidrocarburo se recupera sin el potencial de contaminar el aire y el mar. Históricamente, el registro de recuperación física no es bueno y a menudo es tan poco como un solo alcanza al 10% del volumen del hidrocarburo derramado (Fingas, 2000). La recuperación mecánica funciona bien en aguas protegidas, tales como puertos y marinas, donde no se debería realizar la quema, pero es imposible en corrientes altas y olas superiores a los 2 m.

En algunas situaciones de derrame, la mejor estrategia de limpieza implica una combinación de técnicas de recuperación mecánica, quema y dispersantes químicos para diferentes partes de un derrame. Por ejemplo, la quema se puede aplicar en mar abierto y el hidrocarburo que ya se haya acercado a la costa puede ser recuperado con barreras y desnatadores. La quema también puede ser usada en mar abierto luego de que se cierra la oportunidad del uso eficaz de dispersantes. La quema no impide el uso de otras contramedidas en otras partes de la mancha. Cuando se combinan diferentes técnicas de limpieza, el objetivo debe ser encontrar la combinación óptima de equipo, personal, y técnicas, que resulte en el menor impacto ambiental del derrame.



3. Evaluación de la factibilidad de la quema

3.1. Decidir si se quema

Cuando ocurre un derrame de hidrocarburo, debe obtenerse información sobre su ubicación, las condiciones climáticas y otras condiciones pertinentes en el sitio. En el Apéndice A se proporciona una hoja detallada de evaluación de la quema, que también incluye información sobre el equipo de respuesta.

3.2. Áreas donde la quema puede estar prohibida

La quema puede estar prohibida 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.

3.3. Aprobaciones reglamentarias

Las aprobaciones reglamentarias requeridas para una quema in situ varían entre las distintas jurisdicciones. En general, las restricciones legales y obligaciones asociadas con la quema in situ no están bien definidas. La situación se agrava por el hecho de que el público es reticente a aceptar las normas que permiten cualquier tipo de quema. Se debe informar a la población sobre temas relacionados con la quema in situ para que acepten las normas que la permiten. Esta información debe incluir una comparación de los riesgos de la quema con los riesgos asociados con otras opciones de limpieza y los resultados de simplemente dejar el hidrocarburo derramado sin ningún tipo de tratamiento (Snider, 1994).

En general, los organismos normativos están más preocupadas por cómo la quema afectará la calidad del aire (Snider, 1994). La mayoría de las jurisdicciones estipulan los niveles de calidad del aire que no se pueden exceder sin importar lo que se está quemando. Algunas jurisdicciones han modificado los límites de la calidad del aire para casos determinados, tales como la quema in situ de hidrocarburos en una emergencia.

Cuando se usa la quema in situ en mar abierto, se deben observar las leyes internacionales que regulan las actividades en el mar, particularmente el Protocolo de 1996 relativo al Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias de 1972, que se conoce como el Protocolo del Convenio de Londres de 1996. Varios países han firmado este Convenio, incluso Canadá y los Estados Unidos, lo que significa que ellos deben incorporar los términos del Protocolo de 1996 en sus leyes nacionales. En Canadá, estas leyes están siendo incorporadas dentro de la revisión de la Ley Canadiense de Protección Ambiental (sigla en inglés: CEPA) En los Estados Unidos, están siendo incorporadas dentro de nuevas leyes promulgadas por la Agencia de Protección Ambiental.



Se recomienda que el que participe en el proceso de toma de decisiones asociadas con la quema in situ obtenga asesoría legal sobre cómo se deben aplicar los términos del Protocolo y cómo estos términos afectan a la quema in situ en su situación (o situaciones) y jurisdicción particulares. Aquí se describen observaciones generales sobre cómo se relaciona el Protocolo con la quema in situ.

El artículo 5 del protocolo de 1996 prohíbe la "incineración en el mar". En el Artículo 1, Sección 5 se define a la "incineración en el mar" como:

".... la quema de desechos u otros materiales a bordo de un buque, una plataforma u otra construcción en el mar para su eliminación deliberada por destrucción térmica.

"La "incineración en el mar" no incluye la incineración de desechos u otras materias a bordo de un buque, una plataforma u otra construcción en el mar si tales desechos u otras materias se generaron durante la explotación normal de dicho buque, plataforma o construcción en el mar."

Sobre la base de esta definición, la quema in situ de una mancha de hidrocarburo en el agua no sería considerada incineración porque el hidrocarburo no se encuentra "a bordo de un buque, una plataforma u otra construcción en el mar". Sin embargo, otros métodos que se relacionan con la quema in situ como los que se analizan en la sección 4.2.6 de este informe serían considerados incineración en el mar bajo la primera parte de esta definición. Un ejemplo de esto sería el levantamiento de hidrocarburo del agua usando una barcaza parcialmente sumergida y luego procediendo a la quema del hidrocarburo. Por otro lado, se podría argumentar que si un buque fue diseñado específicamente para levantar el hidrocarburo del agua y quemarlo a bordo del buque, podría ser interpretado como la "explotación normal de dicho buque" como está definido en la segunda parte de la definición y, por lo tanto, no se considera incineración.

Sin tener en cuenta si la quema de hidrocarburo derramado se considera incineración en el mar, en el Artículo 8, Sección 1 del Protocolo, se levanta la prohibición de la incineración:

"... cuando sea necesario salvaguardar la seguridad de la vida humana o de buques, aeronaves, plataformas o construcciones en el mar, ... si el vertimiento (incineración) parece ser el único medio para evitar la amenaza y si existe toda probabilidad de que los daños resultantes de dicho vertimiento sean menores que los que ocurrían de otro modo. Dicho vertimiento (incineración) se llevará a cabo de forma que se reduzca al mínimo la probabilidad de causar daños a los seres humanos o a la flora y fauna marinas y se pondrán inmediatamente en conocimiento de la Organización. (Organización Marítima Internacional)."

Protección pública

- Ahora se dispone de métodos para calcular distancias seguras en dirección del viento desde los fuegos de hidrocarburo in situ.
- Una quema de 500 m² de hidrocarburo crudo, que es un área típica para el remolque de una barrera, se considera segura a aproximadamente 500 m en la dirección del viento desde el fuego.



Se podría argumentar que estas condiciones se aplican a muchas situaciones de derrame. Del mismo modo, en el Artículo 8.2 del Protocolo, se puede expedir un permiso de emergencia para la incineración en el mar “en casos de emergencia que constituyen una amenaza inaceptable para la salud del hombre, la seguridad o el medio marino y en los que no quepa otra solución factible”.

3.4. Preocupaciones por el medio ambiente y la salud

La principal preocupación por el medio ambiente y la salud relacionada con la quema in situ se debe a las emisiones que produce el fuego. Las mediciones de emisiones y cálculos mediante ecuaciones desarrollados a partir de la información de las emisiones, ha revelado varios hechos sobre la cantidad, efectos, y comportamiento de las emisiones básicas de la quema. En términos generales, ahora se comprenden a las emisiones hasta el punto de que los niveles de emisiones y distancias seguras en la dirección del viento se pueden calcular para varios tipos y tamaños de fuegos. Una quema típica de hidrocarburo crudo (500 m²) no excedería los límites de emisiones en lo que respecta a salud más allá de aproximadamente 500 m del fuego.

Se analizan las emisiones producidas por las quemas in situ en la Sección 3.4.3. La población y el ambiente pueden ser protegidos asegurándose que la quema mantiene las distancias mínimas fuera de las áreas pobladas y sensibles. En la Sección 3.4.4 se indican los procedimientos para calcular estas distancias seguras.

3.4.1. Seguridad del personal de respuesta

Durante las operaciones de la quema in situ, todo el personal de respuesta debe estar plenamente entrenado en los procedimientos operativos y de salud y seguridad asociados con cualquier equipo u operación que se están usando. También debe estar bien entrenado el personal que participa en la etapa de planificación de la operación y para el despliegue de buques, barreras y dispositivos de encendido. En la Sección 7 se analizan directrices generales sobre salud y seguridad. Estas directrices deben ser utilizadas para elaborar planes específicos del lugar una vez que se haya decidido que se va a proceder a la quema in situ.

3.4.2. Salud pública

En general, según las condiciones climáticas, no se debería llevar a cabo una quema in situ dentro del radio de 1 km de áreas densamente pobladas. Las condiciones climáticas a ser consideradas incluyen la presencia o ausencia de inversión y la dirección del viento.

Emisiones

- Las partículas respirables (PM-10) son emisiones de principal preocupación de los fuegos de hidrocarburo in situ.
- Los HPA en las partículas son la segunda preocupación y los compuestos orgánicos volátiles (COV) son la tercera.
- Hay más COV de las manchas de hidrocarburo que se evaporan, que de las manchas de hidrocarburo que se queman.
- Los fuegos de hidrocarburo no generan dioxinas y dibenzofuranos altamente tóxicos.



Según monitoreos de fuegos de hidrocarburo hechos hasta 1994, las emisiones a nivel del suelo de fuegos de hidrocarburo crudo nunca han excedido el 25% de los niveles establecidos de preocupación por la salud de seres humanos a más de 1 km del fuego (ASTM, 1997). Por lo tanto, si no ocurren turbulencias áreas o inversiones atmosféricas a nivel de suelo significativas, la quema puede realizarse cerca de áreas pobladas. En áreas escasamente pobladas, puede ser mejor evacuar a los residentes cercanos al sitio de la quema. Ahora se dispone de métodos para calcular las concentraciones de emisiones y distancias seguras en dirección al viento de las quemas in situ de hidrocarburo. Los mismos se ofrecen en la Sección 3.4.4.

3.4.3. Calidad del aire

La principal barrera para la aceptación de la quema in situ de derrames de hidrocarburos es que no se comprenden bien los productos que resultan de la quema y los principios que rigen la combustibilidad de hidrocarburos en agua. Se está llevando a cabo una profusa investigación sobre las muchas facetas de la quema de hidrocarburo. Varios organismos de los Estados Unidos y Canadá han aunado fuerzas para estudiar la quema y realizar a cabo quemas experimentales de gran escala. Este esfuerzo está generando información que debería ampliar la aceptación de la quema in situ como método de limpieza alternativo para la limpieza de derrames de hidrocarburo. Cuando se quema hidrocarburo, se forman y liberan varios tipos de emisiones. Las emisiones atmosféricas que preocupan incluyen aquellas que provienen desde el penacho de humo, 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 por partículas de carbono, también contienen diversos productos químicos absorbidos y adsorbidos. Un análisis completo de las emisiones de la quema ha consistido en medir todos estos componentes.

Se ha hecho énfasis en la toma de muestras en las emisiones a nivel del suelo ya que estas son la principal preocupación en materia de salud humana y el valor regulado. Esta sección se centrará en estas emisiones.

Se debe señalar que el monitoreo de las emisiones realizado en quemas pasadas fue lo más amplio posible y se usaron los mejores aparatos de tomas de muestras de campo e instrumentos disponibles en el momento. Sin embargo, las técnicas de medición han progresado con el correr de los años y continúan haciéndolo. Además, los datos de estas quemas son tan vastos que ni siquiera se pueden ofrecer resúmenes compendiados. La información resumida aparece en las referencias que se citan en esta sección y aquí se harán informes cualitativos sobre esta información.

La extensa medición de las emisiones de quema comenzó en 1991 con varias quemas realizadas en Mobile, Alabama para medir diferentes facetas físicas de la quema de hidrocarburo (Fingas *et al.*, 1993). Los análisis de los datos obtenidos de estas quemas mostraron varios hechos interesantes así como también algunos vacíos en la información. En 1992 se monitorearon dos series de quemas más para las emisiones (Fingas *et al.*, 1993; Booher y Janke, 1997).



En 1993, se llevaron a cabo dos grandes quemas en el mar, especialmente para medir las emisiones, aunque también se hicieron muchas otras mediciones (Fingas *et al.*, 1994a; 1994b; 1995a; 1995b). Se realizaron otras pruebas en 1994 y 1997 (Fingas *et al.*, 1996a; 1996b; 1996d; 1998b; Lambert *et al.*, 1998). Se resumen estas pruebas y la cantidad de quemas monitoreadas en la Tabla 1.

Tabla 1 – Resumen de estudios usados para medir las emisiones de la quema in situ
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Ubicación	Año	Cantidad de quemas	Cantidades monitoreadas	Tipo de hidrocarburo	Objetivo principal	Rango del área de la quema (m ²)	Duración de las quemas (min.)	Cantidad de instrumentos	Cantidad de compuestos objetivo
Mobile	1991	14	14	Crudo Luisiana	física	37 a 231	20 a 60	30	70
Mobile	1992	6	6	Crudo Luisiana	física	36 a 231	20 a 60	30	70
Calgary	1992	20	3	Crudo, diesel	emisiones	37	20 a 70	25	40
Terranova	1993	2	2	Crudo (ASMB)	emisiones	467 a 600	60 a 90	200	400
Mobile	1994	3	3	diesel	física	199 a 231	60 a 80	95	400
Mobile	1997	9	8	diesel	pruebas de barreras	25	60	95	400
Mobile	1998	12	9	diesel	pruebas de barreras	25	60	76	400

Material particulado / hollín – Todas las quemas, especialmente las de combustible diesel, producen abundante material particulado. El material particulado a nivel del suelo cercano al fuego y debajo del penacho constituye una preocupación por la salud. Las concentraciones de particulados en emisiones que provienen de la quema de diesel son aproximadamente cuatro veces más que aquellas que provienen de la quema de una cantidad similar de crudo a la misma distancia del fuego. El material particulado se distribuye exponencialmente desde el fuego, en la dirección del viento. Las concentraciones al nivel del suelo [1 m] pueden aún estar por encima de los niveles de preocupación por la salud (150 µg/m³) hasta a 500 m en la dirección del viento de un pequeño fuego de crudo. Las partículas más pequeñas o respirables constituyen la mayor preocupación. La fracción PM-10, o partículas menores a 10 µm, por lo general son aproximadamente el 0.7 del total de la concentración de partículas (TSP) de todas las partículas medidas. La fracción PM-2.5 no se mide fácilmente, ni se entienden por ahora todas las facetas de la partícula.

Hidrocarburos poliaromáticos (HPA) – Los hidrocarburos contienen cantidades significativas de hidrocarburos poliaromáticos que en gran parte se destruyen en la combustión. Las concentraciones de HPA en el humo, tanto en el penacho como en la precipitación de las partículas a nivel del suelo, son mucho menores en el hidrocarburo de partida. Esto incluye la concentración de HPA de anillos múltiples que a menudo se crean durante otros procesos de combustión tales como en incineradores de baja temperatura y motores diesel. Hay un pequeño aumento en la concentración de HPA de anillos múltiples en el residuo de la quema. Cuando se considera el saldo de masa de la quema, sin embargo, la mayoría de los HPA de cinco o seis anillos se destruyen por el fuego. Cuando se quema combustible diesel, las emisiones muestran un aumento en la concentración de HPA de anillos múltiples en el penacho de humo y residuo, pero aún se encuentra una destrucción neta de los HPA.



Compuestos orgánicos volátiles (COV) – Los compuestos orgánicos volátiles son compuestos orgánicos que tienen presiones de vapor suficientemente altas para ser gaseosos a temperaturas normales. Cuando se quema el hidrocarburo, estos compuestos se evaporan y se liberan. Se midió la emisión de compuestos volátiles en varias quemas de prueba (Fingas *et al.*, 1993, 1994a, 1994b, 1995a, 1995b, 1996a, 1996c, Li *et al.*, 1992). Se han medido ciento cuarenta y ocho compuestos orgánicos volátiles de fuegos y manchas en evaporación. Las concentraciones de COV son relativamente bajas en las quemas en comparación con la mancha en evaporación. Las concentraciones parecen estar por debajo de los niveles de preocupación por la salud humana incluso muy cerca del fuego. Las concentraciones parecen ser mayores en el suelo (1 m) y se distribuyen exponencialmente en dirección del viento desde la fuente del fuego. Los COV, a pesar de estar presentes, no constituyen una amenaza muy importante para los humanos o el ambiente.

Dioxinas y dibenzofuranos – Las dioxinas y dibenzofuranos son compuestos altamente tóxicos muchas veces producidos por la quema de material orgánico que contiene cloro. Se analizaron residuos y partículas que se precipitaron en dirección del viento de varios fuegos para determinar la presencia de dioxinas y dibenzofuranos. Estos compuestos tóxicos se encontraban en niveles básicos en muchos fuegos de prueba, y los fuegos tanto de crudo o diesel no indicaban producción de estos.

Carbonilos – Las quemas de hidrocarburo producen bajas cantidades de material parcialmente oxidado a veces llamados carbonilos o nombrados por sus principales componentes, aldehídos (formaldehído, acetaldehído, etc.) o cetonas (acetona, etc.). Los carbonilos de los fuegos de hidrocarburo crudo están en concentraciones muy bajas y muy por debajo de los niveles de preocupación por la salud, incluso cerca del fuego. Los carbonilos de los fuegos de diesel son de algún modo mayores, pero también están por debajo de los niveles de preocupación.

Dióxido de carbono – El dióxido de carbono es el resultado final de una combustión y se encuentra en concentraciones mayores alrededor de una quema. Los niveles atmosféricos normales son de alrededor de 300 ppm y los niveles cerca de una quema pueden ser de aproximadamente 500 ppm, lo que no representa peligro para los seres humanos. Se han medido las distribuciones tridimensionales del dióxido de carbono alrededor de una quema. Las concentraciones de dióxido de carbono son mayores a nivel de 1 m y caen a niveles básicos a nivel de 4 m. Las concentraciones a nivel del suelo son 10 veces más que la del penacho de humo y la distribución a través del suelo es mayor que para las partículas.

Monóxido de carbono – Normalmente, los niveles de monóxido de carbono están en o por debajo de los niveles más bajos de detección de los instrumentos y, por lo tanto, no supone ningún peligro para los seres humanos. El gas solamente se ha medido cuando la quema parece ser ineficiente, por ejemplo cuando se asperja agua en el fuego. Parece que el monóxido de carbono se distribuye de la misma manera que el dióxido de carbono.



Dióxido de azufre – Generalmente, el dióxido de azufre, en sí, no se detecta a niveles significativos o a veces ni siquiera a niveles medibles en el área de una quema de hidrocarburo in situ. Se detecta ácido sulfúrico, o dióxido de azufre que ha reaccionado con agua, en fuegos y niveles, que a pesar de no ser de preocupación, parece corresponder al contenido de azufre del hidrocarburo.

Otros gases – Se han hecho intentos de medir óxidos de nitrógeno y otros gases fijos. No se midió ninguno en aproximadamente 10 experimentos.

Otros compuestos – Cuando se quema hidrocarburo crudo hay preocupación por de cualquier componente “oculto” que se pueda producir. En un estudio que se llevó a cabo hace varios años, se extrajeron muestras de hollín y residuos y se analizaron “completamente” de diversas formas. Si bien el estudio no fue concluyente, ninguno de los compuestos de los muchos cientos que se identificaron fue motivo de gran preocupación desde el punto de vista ambiental. El estudio del hollín reveló que la mayoría del material era carbono y que todos los otros compuestos que se detectaron estaban presentes en esta matriz de carbono en abundancia de partes por millón o menos. Los compuestos identificados más frecuentemente eran los aldehídos, cetonas, ésteres, acetatos y ácidos que se forman por la oxigenación incompleta del hidrocarburo. Un análisis similar del residuo muestra que los mismos compuestos minoritarios están presentes en casi los mismos niveles. La mayor parte del residuo es hidrocarburo no quemado sin algunos de los componentes volátiles.

3.4.4. Cálculo de concentraciones de emisiones en dirección al viento

Ahora se dispone de datos suficientes para reunir la información de las emisiones y establecer una correlación entre los parámetros espaciales y de quema. Las correlaciones se resumen en el Apéndice A. A pesar de que se han intentado muchas correlaciones, se determinó que existía una correlación relativamente buena entre la distancia del fuego y el área cubierta por el fuego. Esta información se utilizó para desarrollar ecuaciones de predicción para cada contaminante, usando los datos recolectados de las 30 quemas de prueba realizadas hasta la fecha. Se disponía de datos suficientes para calcular las ecuaciones para más de 150 compuestos individuales y para todos los grupos más importantes.

En algunos casos, sin embargo, los datos son insuficientes para producir coeficientes de gran correlación y pocos errores. Esto mejorará a medida que se recaben más datos.

Estas correlaciones aumentarán significativamente la comprensión de la quema in situ en lo que refiere a la evaluación de la importancia de emisiones y clases específicas, la predicción de una distancia “segura” para la quema y de concentraciones en un punto determinado del fuego. Estas predicciones se basan exclusivamente en información real y, por lo tanto, pueden ser más exactas que las predicciones que se basan en la teoría. Esta mayor exactitud se aplica a situaciones en las que las condiciones son las mismas que aquellas en las que se recabaron los datos de las emisiones. Los datos se recabaron con vientos de entre 2 y 5 m/s (4 a 10 nudos) y sin inversiones presentes. En la Tabla 2 se indican las ecuaciones de predicción para varios grupos de emisiones comunes.



Tabla 2 – Parámetros de ecuaciones de predicción
 $Y = a + b^* (\text{tamaño del fuego, } m) - c^* (\text{distancia del fuego, } m)$
 (Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Sustancia	Petróleo crudo					Diesel					Unidades
	A	b	c	r ²	Error	a	b	c	r ²	Error	
Partículas totales	12,7	0,0347	4,79	0,69	2,6	2,65	0,00886	0,854	0,55	0,58	mg/m ³
PM-10	12,7	0,347	4,79	0,69	1,8	1,49	0,00558	0,467	0,56	0,33	mg/m ³
PM-2,5	12,7	0,347	4,79	0,69	1,5	1,34	0,00523	0,412	0,52	0,33	mg/m ³
COV totales	13450	24,02	4426	0,35	4700	203	2,1	4,77	0,36	99	µg/m ³
HPA	16,2	0,0048	3,03	0,19	4,8	51,7	0,124	16,9	0,57	8,2	µg/m ³
Gases fijos											
Dióxido de azufre	19,4	0,0266	5,29	0,69	2,8	0,557	0,00114	0,183	0,54	0,06	ppm
Dióxido de carbono	520	0,523	81,5	0,18	130	77	0,246	19,6	0,49	25	ppm
Monóxido de carbono	7,72	0,0012	1,56	0,18	1,8	3,06	0,0237	1,935	0,63	0,67	ppm

Estos datos se utilizaron luego para calcular la diferencia entre el nivel reglamentado (generalmente, la exposición recomendada promedio, ponderada en el tiempo, a una sustancia) y la cantidad calculada de sustancia para varias quemas. En la Tabla 3 se muestran los resultados de un simple ejercicio de este tipo. Esta tabla muestra que las emisiones, especialmente de material particulado, son significativamente superiores de un fuego de diesel que de un fuego de hidrocarburo crudo, como se había observado en varios estudios de las emisiones de partículas (Fingas *et al.*, 1996a; 1996b). Otras emisiones que preocupan son similares en diesel e hidrocarburo crudo, aunque los HPA son algo mayores cuando se quema diesel. Este cálculo confirma que el material particulado es el de mayor preocupación, seguido de los HPA en el material particulado, y el total de COV.

Tabla 3 – Cálculo de niveles de preocupación para grupos de emisiones.
 (Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Sustancia	Petróleo crudo			Diesel		
	quema de 500 metros cuadrados / quema continua			quema de 500 metros cuadrados / quema continua		
	Porcentaje de nivel de preocupación a 500 m	Porcentaje de nivel de preocupación a 1.500 m	Distancia del nivel de salud segura	Porcentaje de nivel de preocupación a 500 m	Porcentaje de nivel de preocupación a 1.500 m	Distancia del nivel de salud segura
Partículas totales	130	0	510	1180	560	3340
PM-10	130	0	520	920	580	6930
PM-2,5	0	0	530	1910	1170	7340
COV totales	0	0	-	0	0	-
HPA	0	0	-	4	0	-
Gases fijos	0	0	-	0	0	-
Carbonilos	0	0	-	0	0	-



El análisis de los datos de COV muestra que estos están cerca de generar preocupación, sin embargo, se debe destacar que el nivel de COV es mucho más alto (hasta 3 veces más que el medido en algunas pruebas) cuando el hidrocarburo se está evaporando sin ser quemado que cuando sí lo está. Los carbonilos son otra emisión que preocupa, a pesar de que están significativamente por debajo de los niveles de preocupación por la salud en los escenarios que se muestran en la Tabla 3. El nivel de preocupación es el porcentaje del nivel reglamentado logrado por la emisión. Por ejemplo, si un nivel reglamentado es de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor calculado es de 150, entonces el nivel de preocupación es 200%. Los gases fijos tales como el dióxido de carbono o el monóxido de carbono no generan preocupación por la salud.

Las distancias seguras en dirección del viento de una quema de hidrocarburo crudo (basado en concentraciones PM-10) se pueden calcular como:

$$\text{Distancia segura (m)} = \frac{\exp[12.2 + 0.0347 \times \text{tamaño del fuego (m}^2)]}{4.79}$$

Las distancias seguras en dirección del viento desde un fuego de diesel pueden ser calculadas como:

$$\text{Distancia segura (m)} = \frac{\exp[1.19 + 0.0052 \times \text{tamaño del fuego (m}^2)]}{0.437}$$

Nota: Para convertir pies a metros, multiplicar por 0,3048.

Para convertir metros a pies, multiplicar por 3,280 84.

Se debe señalar, por último, que, el nivel de PM-2,5 medido para las emisiones diesel es el mismo que el nivel PM-10 o lo excede. Esto indica, o que la mayoría de la materia consiste en PM-2,5 o que los dispositivos para medir PM-2,5 rompen las partículas durante la recolección. Se necesitan más estudios sobre las mediciones y emisiones PM-2,5.

Sobre la base de estos datos, se han calculado distancias seguras en varios tamaños de fuegos. Las mismas se muestran en la Tabla 4.



Tabla 4 – Cálculos de distancias seguras
(basados en concentraciones de PM-10)
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

<i>Distancias seguras en kilómetros</i>	
Quemas de hidrocarburo crudo	
área pequeña 250 m ²	0,08
arrastre completo de la barrera 500 m ²	0,5
arrastre extenso de la barrera 750 m ²	3,2
Quemas diesel	
área pequeña 250 m ²	0,35
arrastre completo de la barrera 500 m ²	6,9

3.4.5. Calidad del agua

Las investigaciones han demostrado que la quema in situ de hidrocarburo no libera más componentes de hidrocarburo o derivados de la combustión a la columna de agua que los que están presentes si el hidrocarburo se deja sin quemar en la superficie del agua (ASTM, 1997) Se analizaron muestras de agua tomadas debajo del hidrocarburo que se estaba quemando y no se detectaron compuestos orgánicos (Daykin *et al.*, 1995; Fingas *et al.*, 1995b). Solamente se encontraron niveles bajos de hidrocarburos, en concentraciones que no producirían la mortandad de peces, incluso en un cuerpo de agua reducido. No se detectaron HPA en muestras de agua tomadas debajo del hidrocarburo que se estaba quemando. También se hicieron pruebas de toxicidad de la columna de agua y no se detectó toxicidad.

Preocupaciones por la calidad del agua

- Las pruebas muestran que las quemas no liberan material tóxico para la vida acuática.
- El hundimiento del residuo de la quema puede ser preocupante, aunque raras veces sucede.

Sin embargo, el proceso de quema deja un residuo que está principalmente compuesto por hidrocarburo al que se le eliminaron pocos compuestos salvo algunos de los materiales más volátiles (Fingas *et al.*, 1994a y 1995a). El residuo contiene una gran cantidad de HPA, aunque, generalmente, menor que la del hidrocarburo original, aunque pueda también contener una pequeña concentración ligeramente mayor de metales.

El residuo consiste en hidrocarburo no quemado, hidrocarburo sin compuestos volátiles, hollín re-precipitado e hidrocarburo parcialmente quemado. Parece ser similar al hidrocarburo meteorizado del mismo tipo y es, normalmente, viscoso y denso.



Varias pruebas han demostrado que el residuo quemado no es más tóxico que otros hidrocarburos meteorizados y, de hecho, es mucho menos tóxico que los hidrocarburos frescos del mismo tipo.

Está comprobado que los metales que contiene el hidrocarburo original (por lo general 10 a 40 ppm de vanadio, cromo y níquel) se concentran en el residuo de la quema (ASTM, 1997).

La densidad de este residuo depende de qué tan pesado es el hidrocarburo original y de que la quema se haya completado, aunque nunca será más denso que el hidrocarburo más pesado encontrado en el hidrocarburo original. Una quema muy eficaz de un hidrocarburo más pesado producirá un residuo denso que se puede hundir y plantear una amenaza para las especies bentónicas. Sin embargo, el hundimiento es muy poco común y ha sido registrado solamente en 2 de 200 quemas en todo el mundo. Las pruebas de toxicidad realizadas en muestras de residuos han demostrado muy baja toxicidad (Fingas, 1997). Los residuos se pueden recolectar en una barrera de apoyo usando absorbentes o se puede utilizar un desnatador para recolectar los residuos más livianos.

Otra preocupación se genera por el hecho de que la quema aumentará la temperatura del agua bajo el hidrocarburo, ya que los cambios extremos de temperatura pueden afectar a las especies marinas (Fingas *et al.*, 1993 y 1994b). Sin embargo, las mediciones en quemas de prueba demuestran que no hay un aumento significativo de la temperatura del agua, incluso durante algunas quemas en tanques de prueba poco profundos y reducidos. La capa de hidrocarburo aislante limita la transferencia térmica hacia el agua y esta es, de hecho, el mecanismo por el cual la combustión de manchas delgadas se extingue.

3.4.6. Efectos en la tierra

Cuando sea posible, se debe hacer el mayor esfuerzo para prevenir que el hidrocarburo derramado llegue a la ribera, ya que la eliminación del hidrocarburo de la arena, las rocas y la vegetación es dificultosa y costosa. La quema in situ es un método de respuesta rápida que puede ser usado eficazmente para proteger las riberas del hidrocarburo derramado.

Sin embargo, para prevenir que se deposite hollín en las riberas, la quema se debe realizar al menos a 1 km de la ribera, si es posible.

3.4.7. Efectos en las aves y otras especies

Por lo general, si la quema se realiza a más de 1 km de la costa, la fauna no se ve afectada. También se ha observado que las aves evitarán el lugar de la quema y por lo tanto no se verán afectadas por la misma. Del mismo modo, las especies marinas no deberían verse afectadas, ya que la columna de agua normalmente no se contamina y la temperatura del agua no cambia a unos pocos centímetros debajo de la mancha. Las especies bentónicas pueden verse afectadas por el hundimiento del residuo de quema pesado.



3.4.8. Preocupaciones en materia de infraestructura

Las manchas de hidrocarburo no deberían ser quemadas cerca de infraestructuras, tales como muelles, faros, plataformas de hidrocarburo y los buques que originalmente contenían el hidrocarburo.

3.5. Propiedades y condiciones del hidrocarburo

El hidrocarburo derramado en el agua transita varios cambios con el tiempo. Los procesos que causan estos cambios incluyen la emulsión, evaporación, oxidación, expansión, dispersión, sedimentación, disolución y biodegradación. Para determinar la eficacia de una quema in situ de una mancha particular de hidrocarburo, es importante entender cómo estos procesos cambian las propiedades del hidrocarburo derramando y en última instancia afectan la capacidad del hidrocarburo para ser encendido y mantener la quema.

3.5.1. Espesor de la mancha

Con el correr de los años, se han quemado una amplia variedad de hidrocarburos en pruebas y derrames reales. Las investigaciones han demostrado que casi todos los hidrocarburos se quemarán en agua si la mancha es lo suficientemente espesa. Por lo general, las manchas de más de 2 a 3 mm de espesor pueden ser encendidas y continuarán quemándose, y la quema se extinguirá una vez que la mancha tenga menos de aproximadamente 1 mm de espesor (Tennyson, 1994). Este espesor se requiere para que se produzca la transferencia de calor. A medida que la mancha se va haciendo más delgada, el calor generado por la quema se pierde en el agua debajo de la mancha, lo que resulta en que el calor disponible es insuficiente para vaporizar los compuestos del hidrocarburo que se requieren para mantener la combustión (ASTM, 2002). Con frecuencia se utiliza una barrera de contención del derrame de hidrocarburo u otro método de contención para aumentar el espesor de la mancha o mantenerla con el espesor que se requiere para la quema. En algunas situaciones, por ejemplo en arena seca, puede, a veces, encenderse el hidrocarburo con un espesor menor.

3.5.2. Meteorización del hidrocarburo / contenido volátil

Como regla general, cuanto mayor sea el porcentaje de compuestos volátiles en un hidrocarburo, más fácilmente se encenderá y continuará quemando. Por lo tanto, puede ser difícil encender hidrocarburos meteorizados e hidrocarburos crudos pesados (Nº 5 y más) y se podrán necesitar temperaturas más altas de encendido y/o tiempos de exposición más largos (ASTM, 1997; McKenzie, 1994). Durante una quema de prueba, se determinó que los hidrocarburos meteorizados, en realidad se quemaban con una eficacia promedio de 7 % mayor que los hidrocarburos frescos (Tennyson, 1994). Se puede utilizar un modelo de computadora conocido como ADIOS para calcular la meteorización, pero la meteorización no cambia significativamente las condiciones de la quema (ADIOS, 2004).



3.5.3. Emulsificación del hidrocarburo

En general, las emulsiones inestables de hidrocarburo se pueden encender y continúan quemándose porque la emulsión se rompe rápidamente durante el proceso de quema (Fingas *et al.*, 1997). Por el contrario, es difícil encender las emulsiones estables de hidrocarburo porque se necesita una gran cantidad de energía para calentar el agua y, por lo tanto, se necesita energía adicional para vaporizar el hidrocarburo en la emulsión antes de continuar la quema.

Las quemaduras de prueba han demostrado que una vez que un hidrocarburo emulsionado se enciende y ha estado quemándose durante tiempo suficiente, el calor de la quema a veces rompe la emulsión y permite que la mancha continúe quemándose (Bech *et al.*, 1992).

En rigor, todas las emulsiones se pueden romper ya sea por medios mecánicos o porque se romperán solas con el correr del tiempo. Sobre la base de la definición comúnmente aceptada de las emulsiones estables –una emulsión que persiste por lo menos cinco días a 15° C (Fingas *et al.*, 1995c y 1997) – los estudios han demostrado que las emulsiones estables e inestables tienen características diferentes. Las dos características más obvias se relacionan con el color y la viscosidad.

Las emulsiones estables son de color marrón rojizo, mientras que las emulsiones inestables son negras. La viscosidad de las emulsiones estables es, normalmente, de más de tres órdenes de magnitud mayores que el hidrocarburo del cual se formó la emulsión, mientras que la viscosidad de una emulsión inestable es menor a un orden de magnitud mayor que el del hidrocarburo de origen. Hay también una forma media o emulsión mesoestable que, normalmente, es de un color parduzco y tiene una viscosidad aproximadamente 50 veces mayor que la del hidrocarburo de partida. En la Tabla 5 se muestran algunas propiedades típicas de los estados de agua en el hidrocarburo. Fingas y Fieldhouse (2004) describen un nuevo modelo disponible para calcular la emulsión.

Las limitaciones del hidrocarburo

- La cantidad de vapor es la primera limitación cuando se intenta encender el hidrocarburo. Como regla general, el hidrocarburo debe tener un espesor mínimo de 2 a 3 mm para que pueda encenderse.
- Puede llevar más tiempo encender hidrocarburo meteorizado.
- Puede resultar difícil encender hidrocarburo emulsionado sin romper primero la emulsión.



Tabla 5 – Propiedades típicas para los estados de agua en hidrocarburos
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

		Emulsión estable	Meso Emulsión	Agua arrastrada	Inestable agua en hidrocarburo
Apariencia el día de la formación		marrón sólido	líquido marrón viscoso	negra con gotas grandes	tipo aceite
Contenido de agua en el primer día	%	80	62	42	5
Apariencia después de una semana		marrón sólido	rota, 2 o 3 fases	hidrocarburo y agua separados	tipo aceite
Contenido de agua después de una semana	%	79	38	15	2
Tiempo que es estable	días	>30	<3	<0,5	no
Hidrocarburo de partida					
Densidad	g/mL	0,85-0,97	0,84-0,98	0,97-0,99	0,8-1,03
Viscosidad	mPa.s)	15-10000	6-23000	2000-60000	2 – 5,1 x 10 ⁶
Saturados	%	25-65	25-65	19-32	23-80
Aromáticos	%	20-55	25-40	30-55	5-12
Resinas	%	5-30	6-30	15-30	0-32
Asfaltenos	%	3-20	3-17	3-22	032
Asfaltenos / resinas		0,74	047	0.62	0,45
Propiedades en el día de formación					
Relación promedio del aumento de viscosidad		1100	45	13	1
Propiedades después de una semana					
Relación promedio del aumento de viscosidad		1500	30	2	1

Los trabajos publicados han demostrado que la estabilidad de una emulsión depende de la concentración de asfaltenos y, en menor grado, de las resinas en el hidrocarburo. Estos compuestos forman una película viscoelástica en la interfase hidrocarburo agua (Fingas *et al.*, 1995c y 1997). Del mismo modo, el hidrocarburo no formará una emulsión estable con muy poca (<30%) o mucha (>90%) cantidad de agua. En general, el contenido de agua de emulsiones estables varía entre 60 y 75 %, aunque no hay correlación entre el contenido de agua y la estabilidad de una emulsión dentro de este rango (Fingas *et al.*, 1995c y 1997).

3.6. Condiciones climáticas y ambientales

Todas las condiciones climáticas, tales como la velocidad del viento, ráfagas, cambios en la dirección del viento, altura y forma de la ola, y corrientes de agua, pueden comprometer la seguridad y eficacia de una operación de quema. Los vientos fuertes pueden dificultar el encendido del hidrocarburo durante la quema in situ. Una vez que se enciende el fuego, los vientos fuertes pueden extinguir el fuego o dificultar su control.

Estado del mar y vientos:

- Las principales limitaciones para la contención del derrame de hidrocarburo en el mar son el estado del mar o la altura de las olas. El límite de la contención es el factor crítico - normalmente se salpica cuando las olas miden más de 1 m.
- Los vientos mayores de 20m/s (40 nudos) pueden dificultar el encendido del hidrocarburo.



En general, el hidrocarburo se puede encender con éxito y quemar en forma segura con velocidades de viento menores a 20 m/s (40 nudos) (ASTM, 2002, 1999a). Las pruebas en tanques han demostrado que si la velocidad del viento es mayor a 15 m/s (30 nudos), las llamas no se propagarían contra el viento (ASTM, 2002). Sin embargo, durante una prueba en Inglaterra, se quemó hidrocarburo con vientos mayores a 25 m/s (50 nudos) (Guénette y Thornborough, 1997). Fingas y Ka'aihue (2004) elaboraron un modelo para los efectos del viento en la quema y señalaron que es posible que la quema presente los límites de viento más altos de todas las contramedidas. Este informe también incluye las estimaciones de las restricciones de varios tipos de contramedidas.

Los efectos de las temperaturas del aire y el agua en la capacidad para encender y quemar manchas de hidrocarburo no están bien documentados; sin embargo, las pruebas en tanques demostraron que las temperaturas del aire de -11 a 23 °C y del agua de -1 a 17 °C no afectaban la capacidad de quema de una mancha (Tennyson, 1994). Si bien no se han realizado pruebas sobre el efecto de la lluvia en la quema, la lluvia probablemente podría reducir la eficacia de la quema debido al efecto de enfriamiento del agua.

Las condiciones en alta mar pueden dificultar la contención del hidrocarburo. Olas mayores a 1 m de altura pueden hacer que el hidrocarburo se salpique sobre la barrera de contención (ASTM, 1997). Las olas altas también pueden contribuir a que el hidrocarburo se emulsione, lo que podría dificultar más el encendido.

Pruebas en áreas cubiertas de hielo, han demostrado que el manto de hielo tiene un efecto mínimo en la capacidad de quema de una mancha (Tennyson, 1994). De hecho, el hielo se usa, normalmente, como método natural para contener el hidrocarburo para la quema.

La quema solamente puede realizarse de manera segura de noche, si se conocen bien las condiciones del hidrocarburo, las condiciones climáticas y las condiciones del mar. Remolcar barreras de noche puede no ser seguro en la mayoría de las situaciones. La quema nocturna sería una elección relativamente segura en el caso de un derrame más espeso y no contenido en el mar, especialmente si el derrame está costa afuera y se conoce bien su extensión. Algunos derrames cerca de la costa y derrames en pantanos se han quemados de noche, lo que es una práctica relativamente segura porque se conocen las concentraciones y ubicaciones del hidrocarburo y se pueden tomar precauciones para asegurar que el fuego no se extienda a áreas circundantes.

3.7. 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.

3.7.1. Pantanos

Se han realizado varias quemas en pantanos en todo el mundo, incluso quemas recientes y bien documentadas realizadas en Luisiana y Texas (Zengel et al., 2003). 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 también contienen la parte de propagación de las plantas, son sensibles al calor. Si la quema se realiza en una etapa del año seca, 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 (Bryner et al., 2000, 2001; Lin et al., 2004a, 2004b; Lindau et al., 1999, 2003).

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.

3.7.2. Cerca de la costa

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.

3.7.3. Zona intermareal

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 si un derrame ocurriera en un área similar a la de las extensas superficies inter-mareales en la Bahía de Fundy en Canadá Oriental.



4. Equipos – Selección, despliegue y operación

Esta sección describe los tipos de equipos que se utilizan para responder a un derrame con la quema in situ, y las etapas comprendidas en el despliegue y la operación de estos equipos. Este equipo incluye barreras de contención, otros equipos de contención y quema, dispositivos de encendido, embarcaciones y aeronaves de apoyo, agentes de tratamiento, equipo de monitoreo, toma de muestras y análisis, y equipo para la recuperación de residuos. En esta sección se pretende asistir al personal de respuesta en la selección y el despliegue adecuados de los equipos para las situaciones de respuesta particulares. Los enlaces brindados en el Apéndice B contienen información sobre los equipos específicos disponibles para el uso durante las operaciones de quema in situ.

4.1. 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 insume 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. Ver la Sección 4.3.1 por información sobre helitorchas.

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, por ejemplo, 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 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 (McKenzie, 1994). 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 (McKenzie, 1994). 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.

Quema no contenida

- Esto puede ser posible si la mancha es lo suficientemente espesa.
- Por razones de seguridad, los trabajadores que brindan la respuesta deben asegurarse de que no exista un vínculo directo entre el hidrocarburo y su fuente, por ejemplo, el buque tanque o la plataforma.
- 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.



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 acantilados, 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. La Guardia Costera y los pescadores locales también están familiarizados con las corrientes de su área.

4.2. Métodos de contención y desviación de hidrocarburos

Como se analizó en las Secciones 2.1 y 3.5.1, la mancha de hidrocarburo 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.

4.2.1. Barreras resistentes al fuego

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 a menudo cuestan bastante más que las barreras convencionales. Estas barreras se están probando en forma constante para determinar su resistencia al fuego y su capacidad de contención, y los diseños se modifican en respuesta a los resultados de las pruebas.

La resistencia al fuego de estas barreras ha sido objeto de extensas pruebas por el Destacamento de Pruebas de Incendios y Seguridad de la Guardia Costera de los Estados Unidos en Mobile, Alabama. En las instalaciones del OHMSETT (Tanque para pruebas ambientales de simulación con hidrocarburos y materiales peligrosos) de Leonardo, Nueva Jersey, se han realizado pruebas de remolque de estas barreras para determinar su fuerza, integridad y capacidad de contención de hidrocarburos.

Los diferentes tipos de barreras resistentes al fuego son las barreras enfriadas por agua, las barreras de acero inoxidable, las barreras termo-resistentes y las barreras de cerámica. 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 termo-resistentes es similar al de las barreras convencionales, pero las primeras consisten en varias capas de materiales resistentes al fuego. La figura 3 muestra los diversos tipos de barreras resistentes al fuego.

Barreras resistentes al fuego

- Actualmente existen varias barreras contra el fuego de uso comercial que han pasado las pruebas especificadas por ASTM.
- Los tipos de barreras resistentes al fuego comerciales son las barreras enfriadas por agua, las barreras de acero inoxidable, las barreras termo-resistentes y las barreras de cerámica.



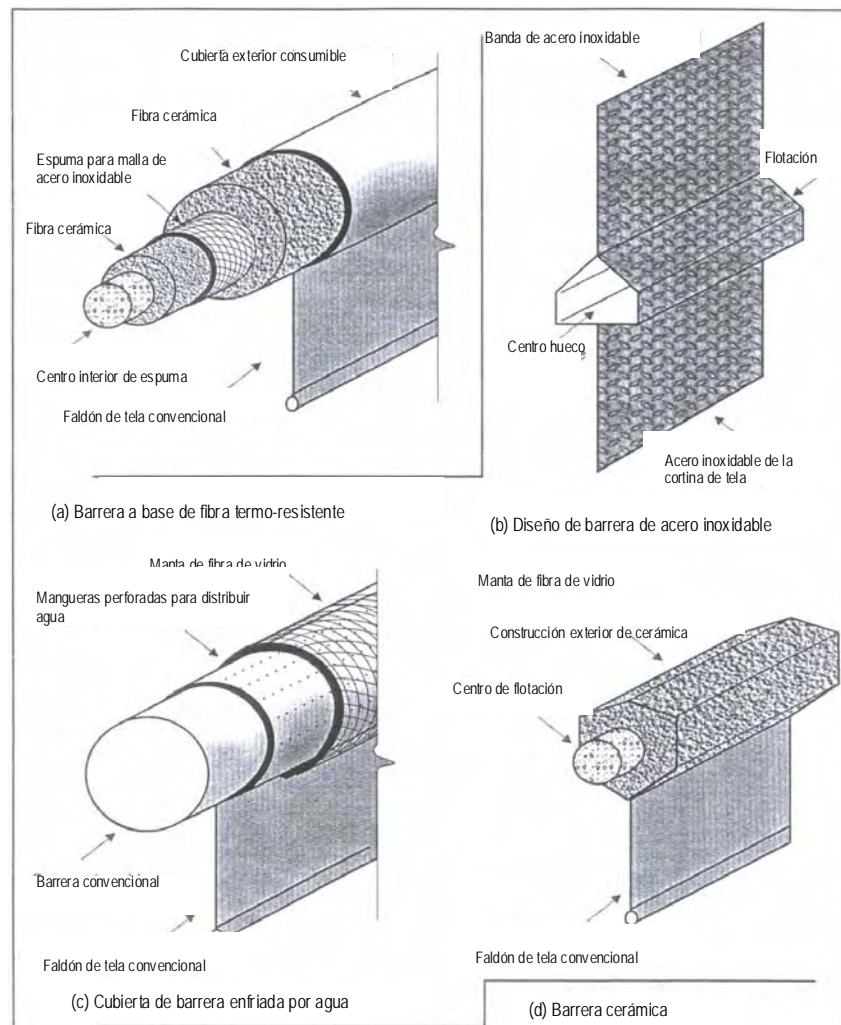
Las barreras resistentes al fuego creadas por Environment Canada a fines de los años 70 consistían en una serie de diseños cerámicos y de acero inoxidable o utilizaban aspersión de aire o agua para contener el hidrocarburo durante la quema (Meikle, 1983; Buist *et al.*, 1983). Environment Canada también trabajó con barreras convencionales, utilizando sistemas de enfriamiento de agua, y con barreras de troncos.

A principios de los 80, Dome Petroleum Ltd. modificó aún más la barrera inoxidable desarrollada por Environment Canada. La barrera Dome consistía en unidades de flotación de acero inoxidable ventiladas de 1,5 m con una sección transversal pentagonal. Un panel de acero inoxidable adjunto a la parte superior de cada unidad crea la banda, y un faldón de nylon recubierto de PVC adjunto a la parte inferior del flotador actúa como calado. Las secciones de flotación se unen utilizando paneles flexibles de 0,75 m hechos de una red de acero inoxidable en una manta de Fibrefax con un faldón de nylon recubierto de PVC. La barrera Dome se diseñó para ser utilizada para más de un incidente de quema in situ. Las barreras resistentes al fuego que se fabrican en la actualidad, por lo general, están diseñadas para resistir varias quemaduras en un sitio, pero después se eliminan o se reponen. Las secciones de la barrera Dome utilizadas anteriormente para pruebas siguen estando almacenadas en el depósito de respuesta a derrames de la Guardia Costera Canadiense en Tuktoyaktuk, Territorios del Noroeste. Recientemente se ha diseñado una nueva versión. Spill-Tain también fabrica una barrera de acero inoxidable que se describe en esta sección y en el Apéndice B.

El único uso documentado de una barrera resistente al fuego para la quema de un gran derrame de hidrocarburo es el de la barrera contra el fuego de 3M en el derrame del *Exxon Valdez* (Allen, 1990). Actualmente American Marine, Inc., bajo licencia de 3M, está construyendo y comercializando la barrera 3M. Esta barrera 3M/American Marine con algunas secciones de prototipo experimental se utilizó durante el Experimento de quema costa afuera de Terranova (NOBE) que tuvo lugar en 1993, en el cual se realizaron dos quemaduras de 50.000 L de hidrocarburo. Después de la primera quema se encontraron pequeños espacios en la fibra cerámica Nextel sobre la línea de agua entre los troncos de flotación, provocados por la abrasión. El daño fue menor, lo que hizo posible que la barrera se utilizara para una segunda quema. Después de la segunda quema, la malla de acero inoxidable de una de las secciones de prototipo se había partido, provocando la pérdida de dos troncos de flotación de dos metros de largo. Desde entonces, 3M y American Marine han corregido este problema utilizando una malla de acero inoxidable resistente a las altas temperaturas y una pieza de tensión externa en vez de interna.



Figura 3 - Diseños de barreras resistentes al fuego
(Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)



ASTM sugiere una norma para probar la durabilidad de las barreras resistentes al fuego para la quema in situ (ASTM, 1999b; Walton 2003). La norma es una prueba de una duración mínima de 5 horas que comprende tres períodos de quema de 1 hora con dos períodos de enfriamiento de 1 hora entre los períodos de quema. Las barreras se prueban en un tanque de prueba con hidrocarburo o combustible diesel. El hidrocarburo es bombeado hacia el centro de la barrera a una tasa predeterminada y es quemado. El hidrocarburo se alimenta en forma continua hacia la barrera durante 1 hora y después se cierra, permitiendo que la quema se extinga. Después, la barrera se enfría durante 1 hora y se prueba en otras dos sesiones de 1 hora de quema / 1 hora de enfriamiento. Al principio de la tercera quema, el hidrocarburo es bombeado hacia la barrera para probar la filtración bruta.

En 1994, la Marine Spill Response Corporation (MSRC) realizó pruebas de remolque en el mar de cuatro barreras resistentes al fuego, denominadas American Marine (3M) Fire Boom, Applied Fabrics PyroBoom, Kepner Plastics SeaCurtain FireGard y Oil Stop Auto Boom Fire Model (Nordvik *et al.*, 1995).



El objetivo de estas pruebas fue evaluar la relación entre el rendimiento de la barrera y la relación fuerza ascensional - peso, velocidad de remolque y estado del mar. Las barreras fueron remolcadas en una configuración en U a velocidades de remolque entre 0,25 y 1,25 m/s (0,5 y 2,5 nudos). Los resultados de estas pruebas mostraron que cuanto mayor es la relación flotabilidad-peso de la barrera, más rápido puede remolcarse la barrera antes de sumergirse. En general, las barreras resistentes al fuego tienen una mayor relación flotabilidad-peso respecto de las de las barreras convencionales. También se determinó que tres de las cuatro barreras probadas presentaron fallas mecánicas a altas velocidades de remolque. Además, el informe concluyó que la integridad mecánica, el rendimiento en el mar y la facilidad de despliegue y recuperación de las barreras resistentes al fuego disponibles comercialmente deben mejorarse.

La Guardia Costera y el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos evaluaron el comportamiento de varias barreras resistentes al fuego en cuanto a contención en un tanque de prueba, y compararon estos resultados con los resultados anteriores del rendimiento en el mar (Bitting y Coyne, 1997). Este estudio determinó las velocidades de remolque en la cual las barreras comenzaron a perder hidrocarburo ("primera pérdida") y la velocidad en la cual ocurrió una pérdida continua y significativa ("pérdida bruta"). También determinó la tasa de pérdida del hidrocarburo a velocidades de remolque específicas y la velocidad de remolque en la cual falló físicamente la barrera, es decir, se sumergió o sufrió daños estructurales. Los resultados de estas pruebas se resumen en la Tabla 6.

Las siguientes son las conclusiones de estas pruebas.

- En términos de contención del hidrocarburo, el rendimiento de las barreras resistentes al fuego fue similar al de las barreras convencionales no resistentes al fuego. Las primeras pérdidas ocurrieron a velocidades de remolque de 0,44 a 0,52 m/s (0,85 a 1,0 nudos) en aguas calmas. Estas pérdidas se vieron relativamente inafectadas por las olas normales, y se redujeron levemente con olas de cresta corta.
- La falla física de las barreras resistentes al fuego también fue similar a la de las barreras convencionales, con velocidades de remolque críticas entre 1 y 1,5 m/s (2 y 3 nudos), a excepción de la barrera Spill-Tain, en cuyo caso la velocidad de remolque crítica excedió los 3 m/s (6 nudos).
- Las velocidades de remolque críticas determinadas durante las pruebas en el mar fueron inferiores, de 0,25 a 0,75 m/s (0,5 a 1,5 nudos) que las velocidades de remolque críticas determinadas durante las pruebas en el tanque.
- De los limitados datos disponibles de las pruebas realizadas en el tanque y en el mar surge que al aumentar la relación fuerza ascensional - peso de la barrera parece aumentar la capacidad de la barrera de contener el hidrocarburo a velocidades de remolque superiores a las normales.

A continuación se ofrece una breve descripción de las barreras resistentes al fuego disponibles actualmente en el mercado. En los enlaces contenidos en el Apéndice B hay especificaciones detalladas para estas barreras.

American Marine (3M) Fire Boom – Cuenta con secciones de flotación hechas de espuma cerámica rígida, con dos capas de malla de acero inoxidable, una fibra cerámica textil resistente a las altas temperaturas y una cubierta exterior de PVC que también forma el faldón.



Esta barrera por lo general se despliega desde un contenedor o bandeja.

Auto Boom Fire Model (Oil Stop) – Es una barrera inflable con un sistema interno de enfriamiento de agua. La cámara de flotación es aislada con una manta cerámica cubierta con una malla de acero inoxidable. El faldón está hecho de un tejido de poliuretano. Esta barrera puede almacenarse y desplegarse desde una bobina. Antes de colocar la barrera en el agua, sin embargo, el sistema de enfriamiento de agua debe estar conectado en un área extensa y plana.

Automatic Inflatable and Water-cooled Fire Oil Boom (Nº 450 S-F) (Environmental Marine Technology and Associates) – Cuenta con una cámara de flotación que consiste en un tubo flexible continuo cubierto con un escudo flexible enfriado por agua. El faldón comprende dos capas de fibra, cada una de ellas unida a ambos lados de la cámara de flotación, lo que permite que el agua del mar se eleve hacia la cámara de flotación. Esta barrera se infla automáticamente y puede almacenarse y desplegarse desde una bobina.

Tabla 6 – Rendimiento de las barreras de contención resistentes al fuego
(Bitting y Coyne, 1997)

Tipo de barrera	Velocidad de remolque para primera pérdida y para pérdida bruta, m/s (nudos)					Prueba de tasa de pérdida, L/min y a velocidad de remolque, m/s (nudos)		Velocidad de remolque crítica, m/s (nudos)
	Pérdida	Condiciones de la ola*				Primera pérdida + 0,05 m/s (0,1 nudos)	Primera pérdida + 0,15 m/s (0,3 nudos)	
C		1	2	3				
PyroBoom	Primera	0,51 (1,00)	0,37 (0,72)	0,55 (1,07)	0,49 (0,95)	246 @ 0,57 (1,10)	534 @ 0,67 (1,30)	1,03 (2,75)
	Bruta	0,62 (1,20)	0,48 (0,93)	0,67 (1,30)	0,57 (1,10)			
Spill-Tain	Primera	0,44 (0,85)	0,21 (0,40)	0,44 (0,85)	0,45 (0,88)	27 @ 0,49 (0,95)	178 @ 0,59 (1,15)	3,08 (>6,00)
	Bruta	0,54 (1,05)	0,31 (0,60)	0,54 (1,05)	0,55 (1,07)			
American Marine/3M	Primera	0,44 (0,85)	0,37 (0,72)	0,45 (0,87)	0,46 (0,90)	64 @ 0,49 (0,95)	303 @ 0,59 (1,15)	1,16 (2,25)
	Bruta	0,57 (1,10)	0,46 (0,90)	0,59 (1,15)	0,59 (1,15)			
Dome Boom	Primera	0,49 (0,95)	0,38 (0,75)	0,49 (0,95)	0,52 (1,00)	32 @ 0,54 (1,05)	151 @ 0,64 (1,25)	1,03 (2,00)
	Bruta	0,68 (1,32)	0,54 (1,05)	0,62 (1,20)	0,64 (1,25)			
Oil Stop	Primera	0,46 (0,90)	0,41 (0,80)	0,55 (1,07)	0,52 (1,00)	74 @ 0,51 (1,00)	286 @ 0,61 (1,20)	1,80 (3,50)
	Bruta	0,63 (1,22)						

Condiciones de la ola

C = agua calma, sin generación de olas

1 = ola #1, ola sinusoidal regular, $H^{1/3} = 25$ cm, L = 4,9 m

2 = ola #2, ola sinusoidal regular, $H^{1/3} = 33,8$ cm, L = 12,8 m

3 = ola #3, ola sinusoidal regular, $H^{1/3} = 22,6$ cm, L no calculado.

FESTOP Fire Boom – Nueva barrera contra fuego de acero inoxidable disponible en dos tamaños, que soporta temperaturas de hasta 1260 °C.

Hydro-Fire Boom (Elastec/American Marine) – Barrera inflable, enfriada por agua, que a veces se guarda en y se despliega desde una bobina. Una barrera de 150 m puede guardarse en una bobina con las secciones (30 m) pre-conectadas.

PyroBoom (Globe Boom) – Barrera con soporte con banda construida de material refractario patentado y faldón de material recubierto de uretano.



Se agregan flotadores hemisféricos de acero inoxidable a cada lado de la parte del soporte. Esta barrera debe guardarse en un contenedor y desplegarse desde un área amplia y plana para conectar correctamente las secciones.

SeaCurtain FireGard (Kepner Plastics) – Utiliza una bobina de gran espesor de acero inoxidable recubierto con un material refractario resistente a altas temperaturas que constituye las secciones flotantes de la barrera. El faldón es hecho de un tejido de poliéster o nylon recubierto de poliuretano. La bobina de acero inoxidable hace que la barrera se infle automáticamente durante el despliegue, pero la barrera debe compactarse manualmente durante la recuperación.

Spill-Tain Fire Proof Boom – Barrera de acero inoxidable construida en secciones conectadas por bisagras. Los flotadores, hechos de acero inoxidable y rellenos de espuma de vidrio de células cerradas, están ubicados en el medio de los paneles de acero inoxidable, de modo tal que la mitad inferior del panel forma el faldón y la mitad superior forma la banda. Esta barrera se almacena y se despliega desde una posición doblada. Los tamaños más grandes de la barrera requerirían un elevador o grúa para el despliegue.

4.2.2. Barreras convencionales

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.

4.2.3. Configuraciones y remolque de barreras

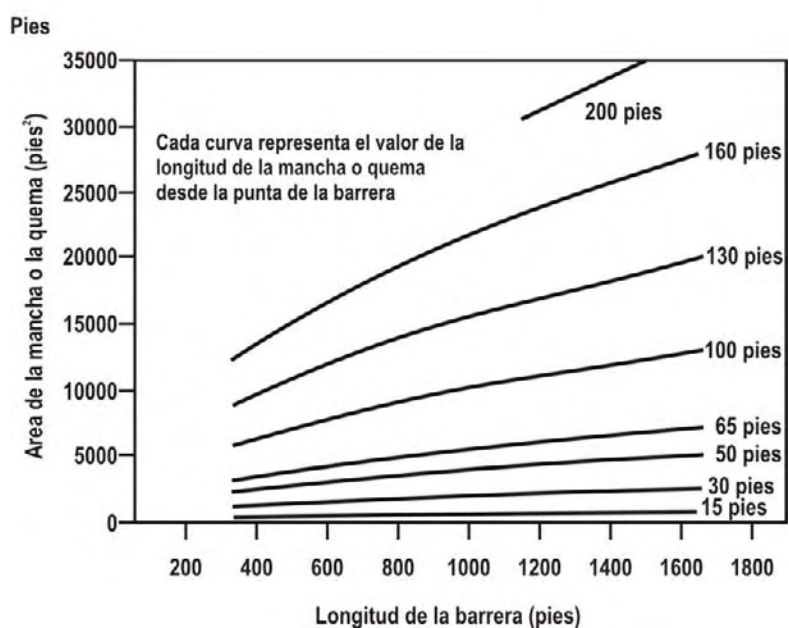
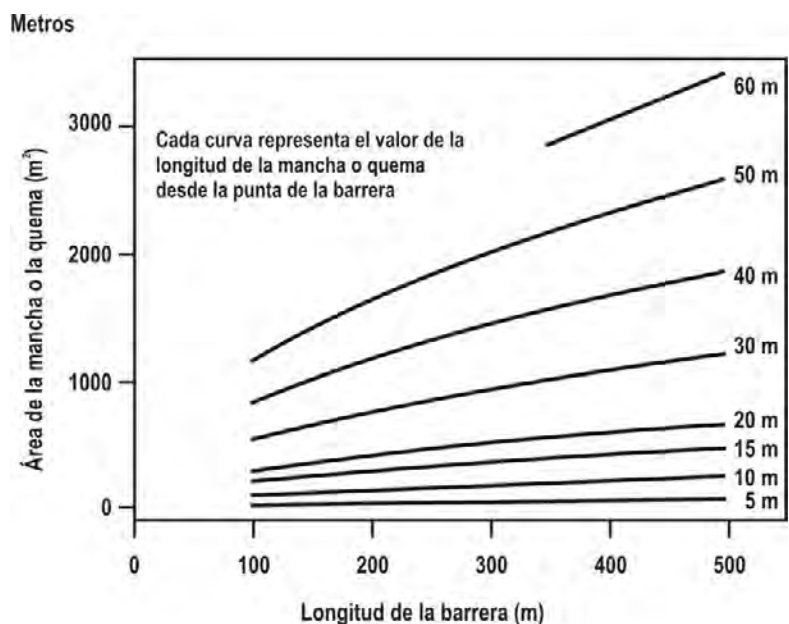
El tamaño de barrera que se requiere para una quema in situ depende de la cantidad de hidrocarburo a quemar. Por lo general, el hidrocarburo en la barrera no debe llenar más de un tercio del área de la catenaria. Si la barrera es demasiado larga, será difícil controlarla, y la presión sobre la barrera 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. Por lo general, el largo de barrera utilizado va de 150 a 300 m (Environment Canada, 1993).



La mayoría de las barreras comerciales vienen en largos estándar de 15 o 30 m.

La Figura 4 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.

Figura 4 - Nomograma para calcular la quema o el área de la mancha
(Fuente: Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)





Un factor importante para contener el hidrocarburo es la dirección y la velocidad de remolque de la barrera. La distancia desde la quema hasta los buques de remolque debe ser suficiente como para no poner en peligro a los buques ni al personal a bordo de ellos. Las pruebas de perfil de temperatura durante los ensayos NOBE mostraron que la temperatura del aire y el agua por delante de la quema se nivela muy rápidamente (Environment Canada, 1997). Por lo tanto, 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.

Por lo general, las líneas de remolque desde los botes 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 salpique por sobre la barrera o sea arrastrado debajo de la misma. 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 (ASTM, 2002). Si el hidrocarburo contenido es arrastrado 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.

Barreras de contención resistentes al fuego

- Estas barreras pueden remolcarse en diversas configuraciones. La forma de U es la más común.
- 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.
- Una barrera de 150 a 275 m de largo tiene un tamaño apropiado para la recolección y la quema.

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 5 muestra las diversas configuraciones de las barreras convencionales para derrames de hidrocarburos.

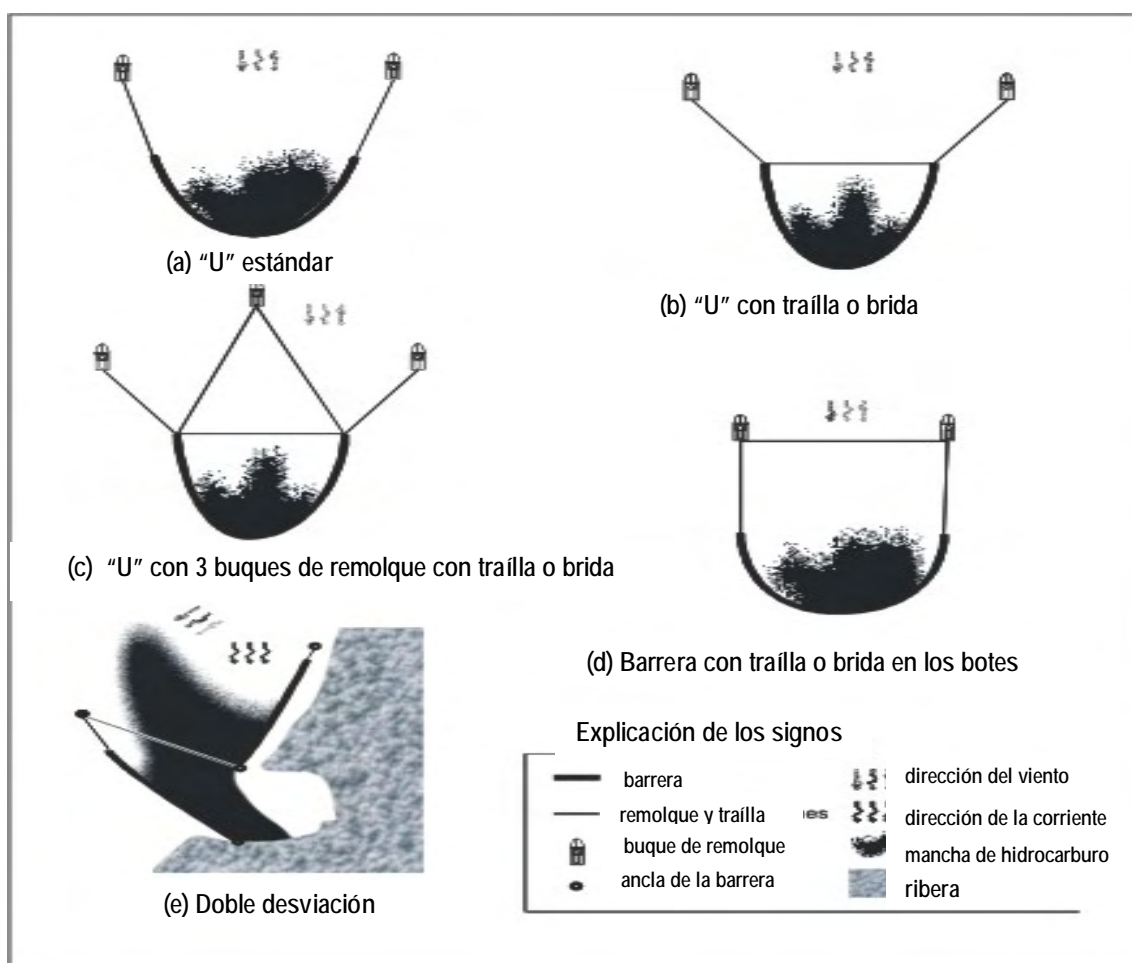
La configuración estándar es una barrera resistente al fuego conectada con líneas de remolque a dos buques por cada extremo, para remolcar la barrera en una catenaria o en forma de U, como se indica en la Figura 5 (a). A menudo se ata una correa o una brida cruzada en cada lado de la barrera varios metros por detrás de los buques de remolque para asegurar que la barrera mantenga la forma en U correcta, como se muestra en la Figura 5 (b). Esta correa o brida cruzada resulta muy 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 5 (c). 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 5 (d). 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. Esta configuración fue utilizada durante las pruebas NOBE en 1993. Durante las mismas, 210 m de barrera se remolcaron en una configuración en U modificada. Se ató una correa o brida cruzada de 45 m entre los extremos de la U. Una embarcación remolcó la barrera utilizando dos líneas de 120 m atadas a los extremos de la U. La U se mantuvo abierta por líneas remolcadas desde otras dos embarcaciones en dirección hacia afuera en un ángulo de aproximadamente 45°. La velocidad de remolque se mantuvo en 0,25 m/s (0,5 nudos) durante toda la quema.

Figura 5 - 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 5 (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.

4.2.4. Configuraciones no probadas de la contención

En trabajos publicados o talleres se han propuesto diversas configuraciones de barreras o métodos de contención. La mayoría de ellos no han sido probados, o han sido probados desde el punto de vista cuantitativo. Las barreras de troncos, que se ilustran en la Figura 6 (a) han sido utilizadas diversas veces en el norte de Canadá. De hecho, la primera quema in situ documentada fue realizada con éxito utilizando una barrera de troncos en el Río Mackenzie en 1958 (McLeod y McLeod, 1972). Aunque las barreras de troncos se queman, si la barrera mantiene su relación de fuerza ascensional hay tiempo suficiente para realizar una quema que dure varias horas. El problema principal con las barreras de troncos es la filtración entre las secciones. Los espacios vacíos entre secciones por lo general se sellan con material resistente al fuego, como tela de fibra de vidrio.

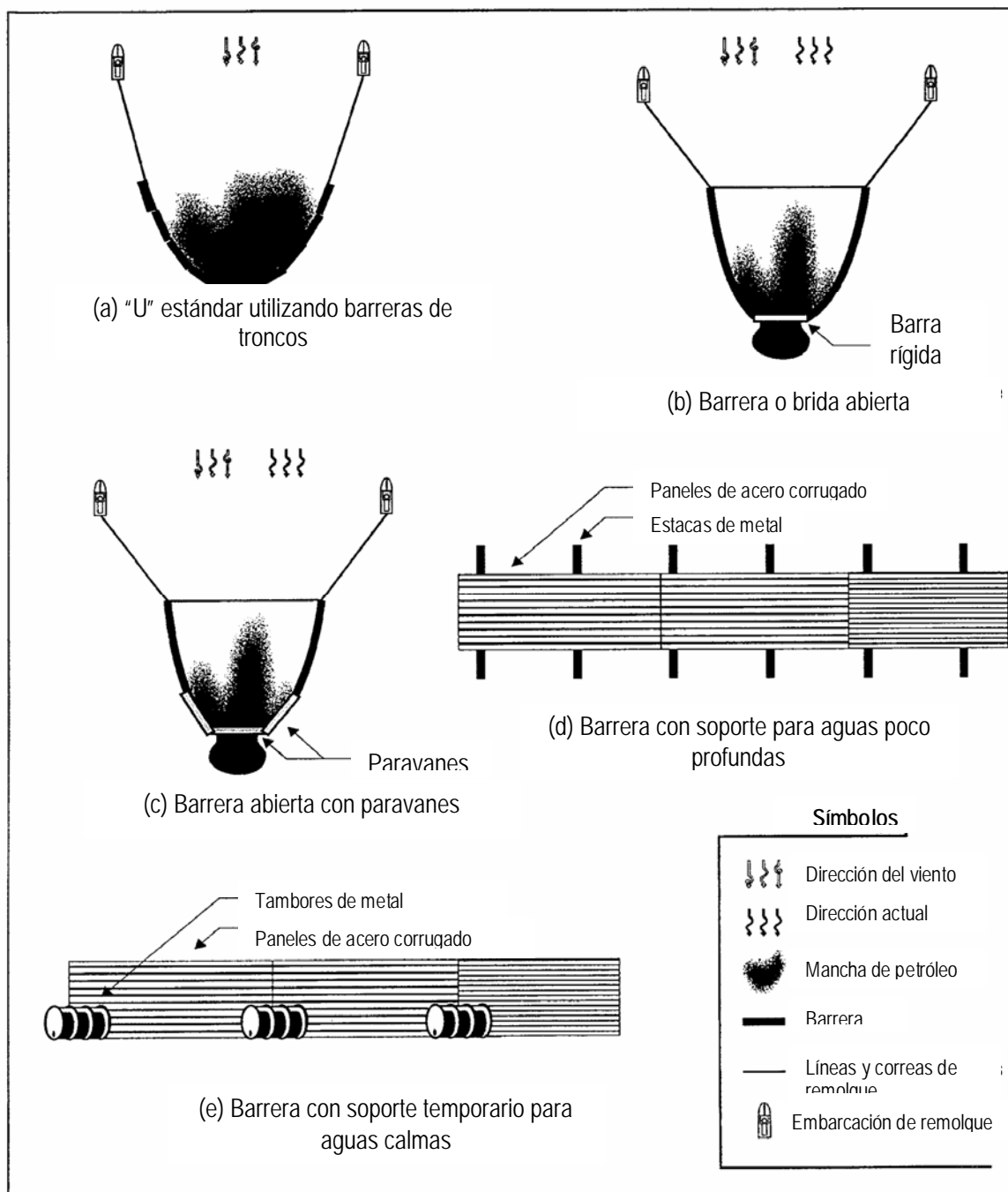
Las barreras también pueden utilizarse para desviar manchas de hidrocarburo en lugar de contenerlas. Las modalidades de desvío, por lo general, se utilizan cuando la corriente es demasiado rápida para contener el hidrocarburo en una configuración en U, es decir, superior a 0,4 m/s (0,75 nudos). Pueden utilizarse barreras convencionales para desviar el hidrocarburo, de modo tal que el hidrocarburo se queme en realidad más allá de la barrera, o quede contenido por una barrera natural, como la ribera. Uno de esos métodos consiste en concentrar y "canalizar" el hidrocarburo a través de una apertura creada por dos barreras, como indica la Figura 6 (b), de modo tal que la quema ocurra principalmente detrás de la barrera. Según se sabe, este tipo de configuración nunca ha sido probada, ni siquiera en forma de modelo. Deberían utilizarse barreras con secciones de flotación sólidas, porque cualquier choque de llamas en la barrera inflable provoca un rápido fracaso. A pesar de las aparentes desventajas, la propuesta tiene mérito en cuanto a que solo se utilizaría en una situación en la que no sea necesaria una contención completa, y las pérdidas, y aun el fracaso, no provocarían mayores problemas. La apertura trasera debería ser lo suficientemente amplia como para evitar la acumulación de hidrocarburo frente a la barrera y lo suficientemente estrecha como para asegurar que la mancha de hidrocarburo sea lo bastante espesa como para sostener la quema, aun con la re-propagación que ocurriría detrás de la barrera.

Una modificación de esta configuración es el uso de paravanes, secciones de remolque de barrera de metal rígido que se unen a la boca trasera de la barrera convencional.



Esto se ilustra en la Figura 6 (c). Este también es un concepto no probado, pero tiene la ventaja de contar con paravanes relativamente resistentes al fuego en la boca de la barrera. Así, si el fuego se propaga dentro de la barrera, no ocurriría un fracaso catastrófico de la barrera.

Figura 6 – Configuraciones no probadas de contención / desvío para la quema in situ (Fingas, M. y M. Punt, 2000)





También se ha propuesto el uso de hojas de acero corrugado como barreras provisionales contra el fuego (Marine Research Associates, 1998). Las hojas corrugadas pueden ajustarse a estacas de metal en aguas poco profundas, como se muestra en la Figura 6 (d) o unirse a tambores para la aplicación en aguas más profundas, como se muestra en la Figura 6 (e). Como esto no se ha probado nunca, no se sabe cuánto tiempo soportaría el acero corrugado el flujo de calor del fuego, aunque probablemente lo haría por unas pocas horas como mínimo.

4.2.5. Despliegue de la barrera

Los procedimientos de despliegue para las barreras de contención resistentes al fuego dependen del tipo de barrera utilizado. Las barreras enfriadas por el agua son inflables o flexibles de una u otra forma. Por lo tanto, pueden almacenarse o desplegarse desde una bobina. Sin embargo, estas barreras a veces requieren una extensa área plana para la instalación correcta del equipo de enfriamiento del agua, cuando la barrera es quitada de la bobina. Las barreras de acero inoxidable y las barreras térmicamente resistentes son rígidas, y, por lo tanto, deben almacenarse por secciones en un contenedor, además de requerirse una extensa área plana para disponer y conectar las diferentes secciones. Dada su rigidez y su peso, por lo general se requiere un guinche o una grúa para ayudar a desplegar y recuperar estas barreras.

Tras flotar en el agua por algún tiempo, la barrera de contención se llena de agua, lo que la hace mucho más pesada que cuando fue desplegada. Por ello, la embarcación utilizada para recuperar la barrera debe ser lo suficientemente estable como para soportar este peso, en especial si se está utilizando una grúa o un guinche. Ver la Sección 4.5 por mayor información sobre las embarcaciones utilizadas para el despliegue de las barreras.

Dada la gran dificultad para manejar algunas barreras resistentes al fuego, estas pueden resultar dañadas durante el despliegue y la recuperación. Es necesario asegurarse de mover la barrera con lentitud y manejarla con cuidado. Por ejemplo, el bandaje y la válvula de mariposa de una grúa pueden dañar una barrera, y por lo tanto es mejor utilizar una cinta elevadora con varillas transversales para levantarla. También es mucho más fácil desplegar y recuperar la barrera si se utiliza una bobina automotora.

La barrera de contención normalmente viene en secciones que son unidas por un conector. Muchas de las barreras resistentes al fuego disponibles comercialmente están siendo diseñadas con conectores estándar, según lo recomendado por ASTM, o para adaptadores que sirvan para esos conectores estándar (Schulze, 1997).

Despliegue de barreras

- El número y tipo de embarcaciones necesarias depende del tipo de barrera y la configuración elegida.
- Las embarcaciones de despliegue de barreras deben contar con:
 - ✓ espacio para almacenar y desplegar la barrera;
 - ✓ grúa, guinche, etc. para desplegar y recuperar la barrera; y
 - ✓ estabilidad para manejar la recuperación de la barrera llena de agua
- Para el despliegue en ríos, la barrera debe estar atada a la costa o asegurada con anclas.



Estos conectores permiten que los diferentes tipos de barreras se unan en forma fácil y segura. En cualquier caso, si se usa más de un tipo de barrera para la contención, los conectores de estas barreras deben verificarse primero para asegurar que puedan unirse correctamente.

Si se va a realizar una quema cerca de la costa, es decir, a una distancia no superior a 5 km, la barrera puede desplegarse desde la costa y después remolcarse en línea recta. Por este motivo, la norma ASTM para barreras resistentes al fuego (ASTM, 1999b) indica que una sección de barrera resistente al fuego que tenga por lo menos 150 m de largo debe ser capaz de soportar el remolque en línea recta a 2,5 m/s (5 nudos) por un período de 2 horas.

Si la quema tiene lugar demasiado lejos de la costa para desplegar la barrera desde la costa, esta debe desplegarse desde una embarcación. Una vez más, como las barreras resistentes al fuego son bastante voluminosas, normalmente se requiere un área grande en cubierta para su despliegue.

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 5 (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 5 (d), 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 [ver ejemplo en Figura 5 (e)] 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.

De hecho, la Asociación Canadiense del Petróleo (CPA, por su sigla en inglés) determinó que, por lo general, se necesitan dos anclas colocadas en serie para impedir que la barrera se mueva cuando la corriente es alta (PROSCARAC, 1992). El despliegue adecuado de anclas para mantener la barrera puede ser difícil, ya que deben desplegarse lenta y sistemáticamente para fijarse en forma adecuada en el fondo del río. Las anclas deben asegurarse en su lugar antes de desplegar la barrera. La Asociación Canadiense del Petróleo ha desarrollado una guía detallada para el despliegue de anclas y barreras de desvío en ríos con una gran corriente. Esta guía se presenta en las Figuras 7 y 8.



Figura 7 - Esquema de despliegue de barrera en río
(Adaptado de PROSCARAC, 1992)

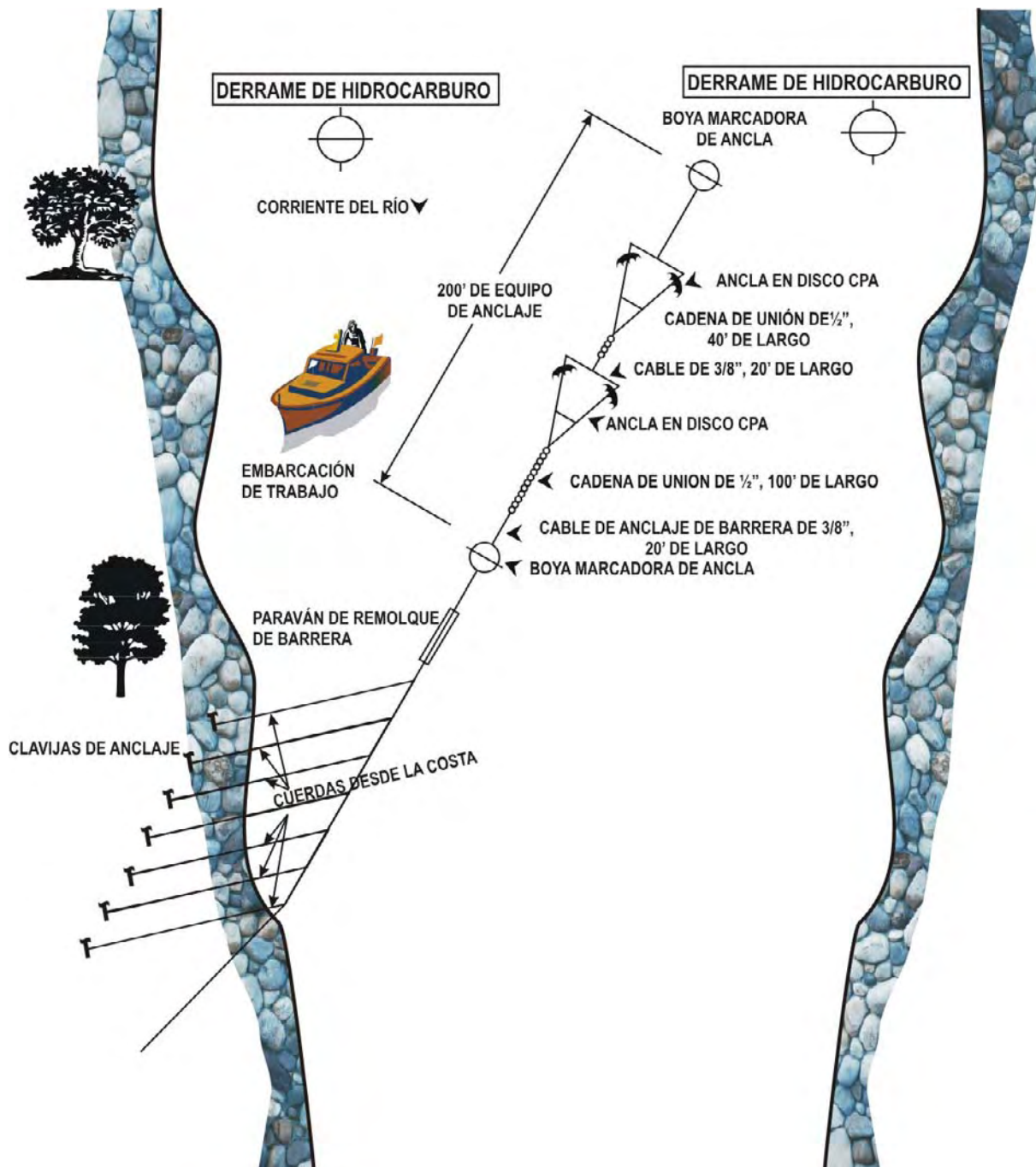
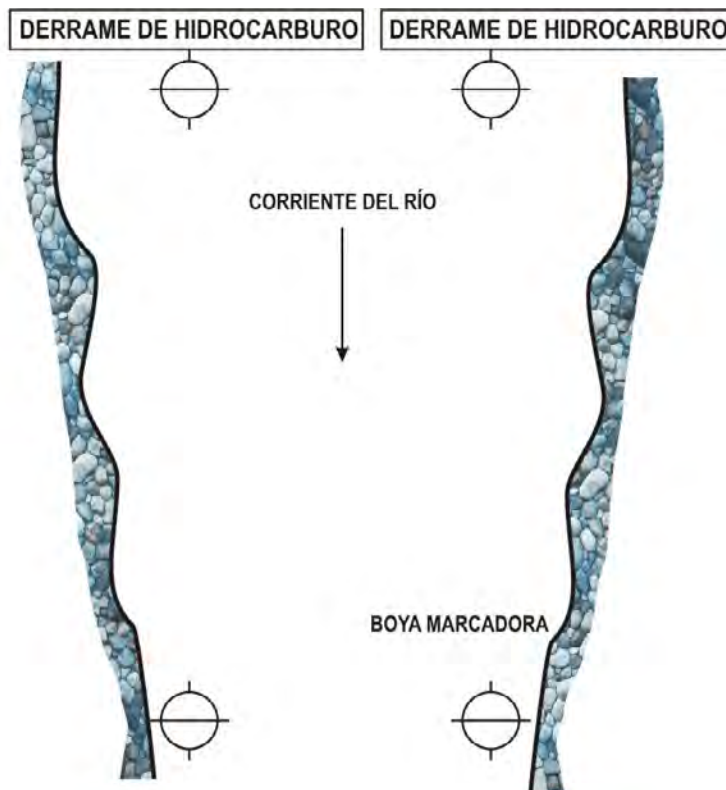




Figura 8 – Procedimientos de despliegue de barrera en río
(Adaptado de PROSCARAC, 1992)

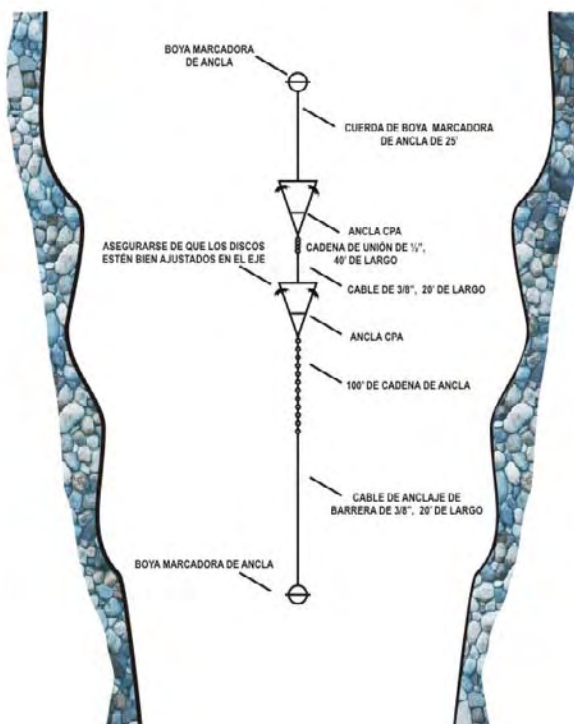
Etapa 1

Instalar boyas de anclaje en los extremos corriente arriba y corriente abajo de los puntos de control



Etapa 2

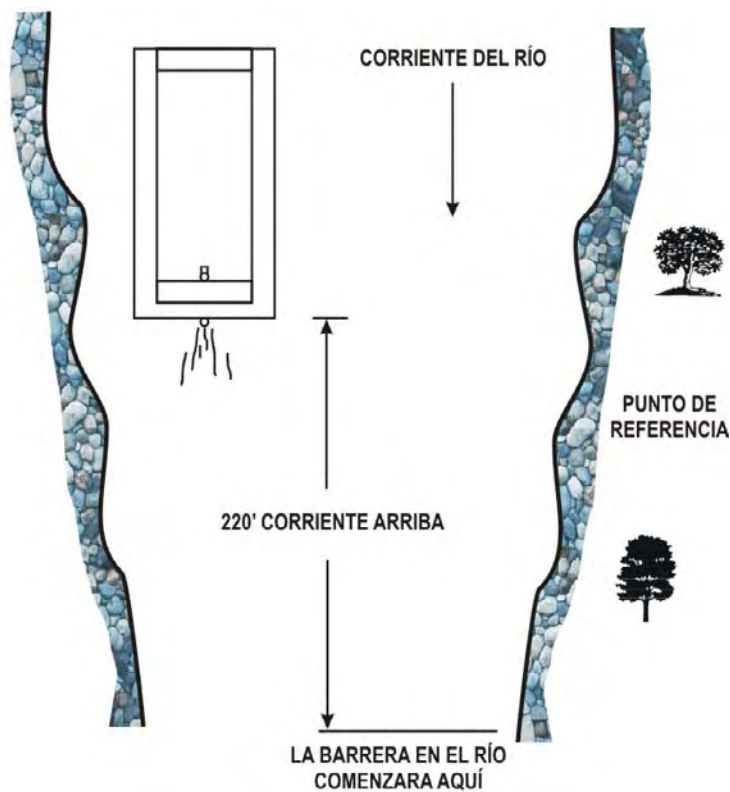
Conectar dos anclas CPA juntas en la cubierta de la barcaza de trabajo con cable, cadenas de anclaje y boyas marcadoras de anclas apropiadas





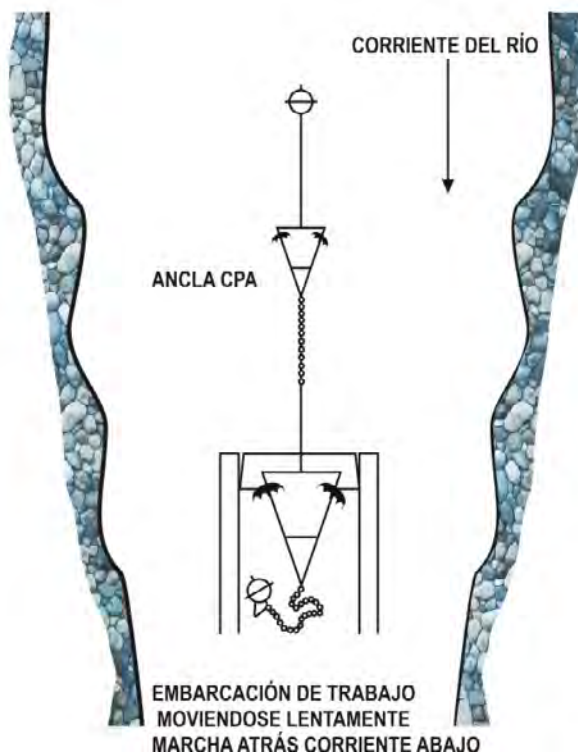
Etapa 3

Marcar el lugar aproximado en que se desplegara la barrera en el río utilizando un punto de referencia fijo. Moverse corriente arriba aproximadamente 200 pies. **Importante** - Nunca fijar las anclas más allá del ángulo de desvío y la longitud de barrera máximos permitidos por las condiciones actuales



Etapa 4

Sacar la boya marcadora de ancla, desplegar ancla frontal CPA, cuando el ancla esté en el fondo la embarcación de trabajo deriva lentamente corriente abajo - no poner cadena o cuerda en el diente del ancla.

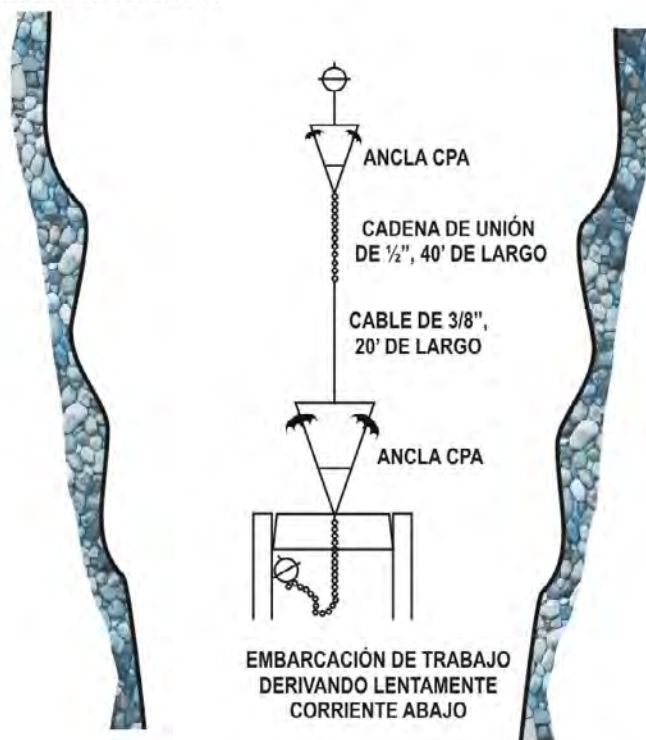




Etapa 5

Cuando la cadena del ancla CPA frontal quede tirante, comenzar a desplegar el ancla CPA trasera. Tener cuidado de no enmarañar la cuerda o cadena del ancla.

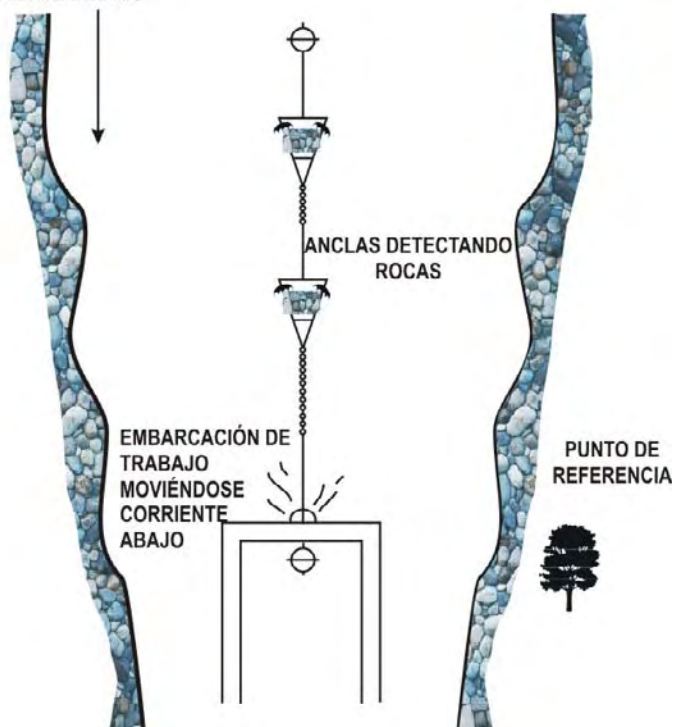
BOYA MARCADORA DE ANCLA



Etapa 6

Después de que ambas anclas estén en el río, enganchar la embarcación de trabajo en la boya marcadora del cable del ancla y comenzar a arrastrar las anclas corriente abajo para fijarlas

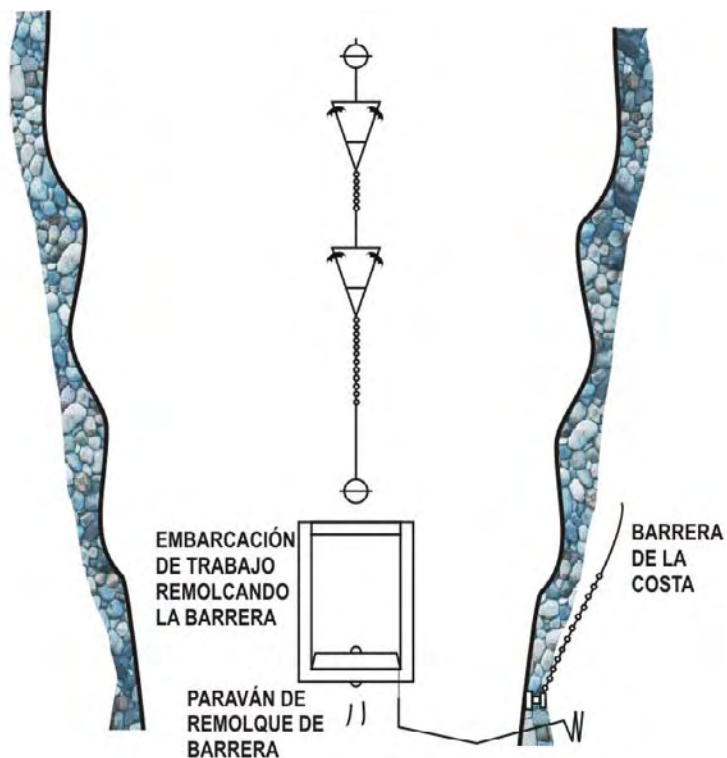
CORRIENTE DEL RÍO





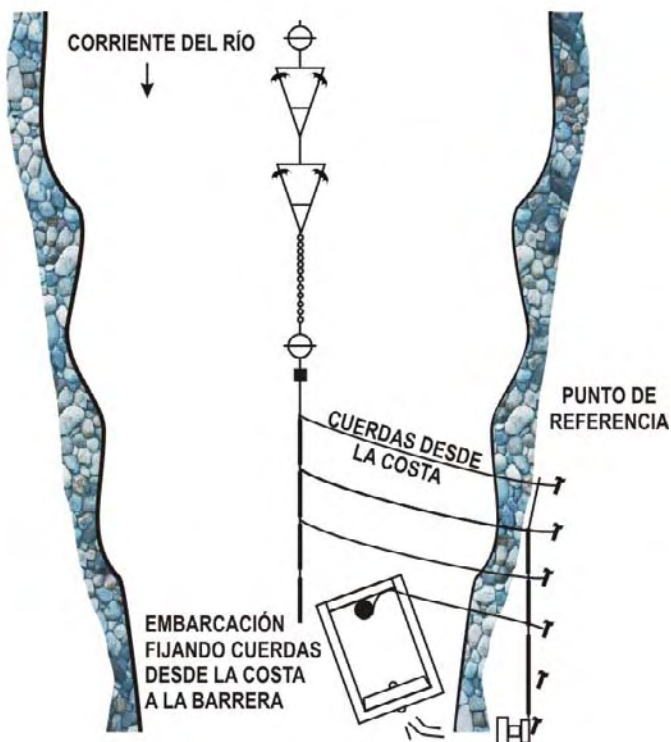
Etapa 7

Una vez que las anclas CPA han sido fijadas, remolcar la barrera en el río hacia el cable de anclaje para su sujeción



Etapa 8

Una vez que la barrera de río está fijada al ancla, fijar las cuerdas o cables desde la costa a la barrera.



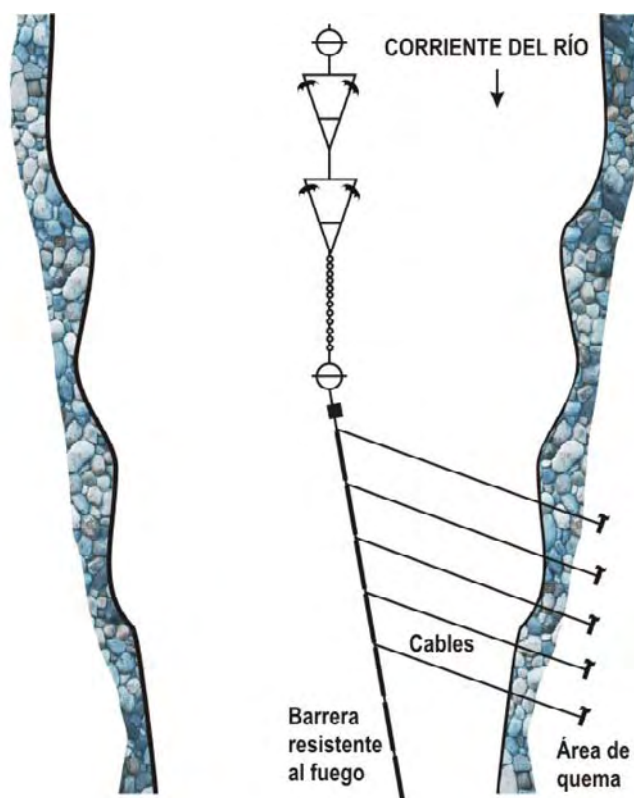


Etapa 9

Una vez que las cuerdas o cables desde la costa han sido fijados, tirar de la barrera hacia la costa. Asegurarse de que el ángulo de la barrera no exceda el ángulo crítico

Etapa 10

La quema se realiza cuando la barrera esta en su lugar. Una vez completada la quema, se quitan la barrera y las anclas y se limpian y devuelven todos los equipos.



4.2.6. Barreras de apoyo

Se puede colocar una barrera de apoyo 200 a 300 m detrás de la quema para contener el hidrocarburo que haya sido arrastrado 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 de esta área, se extiende y se afina demasiado para soportar la quema y puede ser recogido con seguridad en la barrera de apoyo.

4.2.7. Alternativas a las barreras

Se han propuesto diversas ideas para reemplazar las barreras resistentes al fuego para la quema de hidrocarburo en agua. Marine Research Associates ha propuesto el uso de barcazas modificadas para contener el hidrocarburo para la quema. Algunas de ellas se muestran en la Figura 9 (Marine Research Associates, 1998).



Un concepto implica cortar los tanques del centro de una barcaza o realizar una gran modificación a una barcaza sin tanques centrales, de modo que solo queden los tanques del ala. La barcaza se remolcaría en el vértice de una barrera y el hidrocarburo se contendría dentro del centro de la barcaza como se ilustra en la Figura 9 (a). En la Figura 9 (b) se ilustra un diseño de barcaza con lados inflables y otro diseño que utiliza aire forzado para mejorar la quema. Estos conceptos y diversas variaciones de los mismos son analizados en detalle en el informe de Marine Research Associates al USMSS, que muestra que los conceptos de barcaza ofrecerían una plataforma de quema estable y una vida útil mucho más larga que las barreras resistentes al fuego (Marine Research Associates, 1998). Sin embargo, estos conceptos son muy costosos de implementar y tienen como resultado dispositivos muy grandes y pesados.

Las barreras de burbujas son otro concepto que ha resultado relativamente efectivo para la contención de hidrocarburo cuando se lo ha probado en situaciones de operación reales, aunque nunca ha sido utilizado junto con la quema. Una barrera de burbujas consiste en un sistema de impulsión de agua submarino que crea una cortina de burbujas que desvía el hidrocarburo. Este concepto se ilustra en la Figura 10. El trabajo sobre barreras de burbujas ha mostrado que el requerimiento de caballos de fuerza es alto (Marine Research Associates, 1998), y que se necesita un compresor muy grande para barreras con un largo superior a 100 m. Las pruebas han mostrado también que un gran ventilador puede impulsar una barrera de burbujas utilizando una manguera de incendios como salida. El largo máximo de la barrera en este caso varía de 50 a 150 m (Alyeska, 1998).

Environment Canada también ha trabajado en el desarrollo de una barrera de chorro de agua que podría utilizarse potencialmente para la quema in situ (Punt, 1990). El diseño desarrollado consiste en mangueras de alta presión conectadas a una bomba de agua. Cada brazo de la barrera está formado por dos mangueras, cada una de ellas con cuatro series de inyectores de agua enfrentados y espaciados en forma regular.

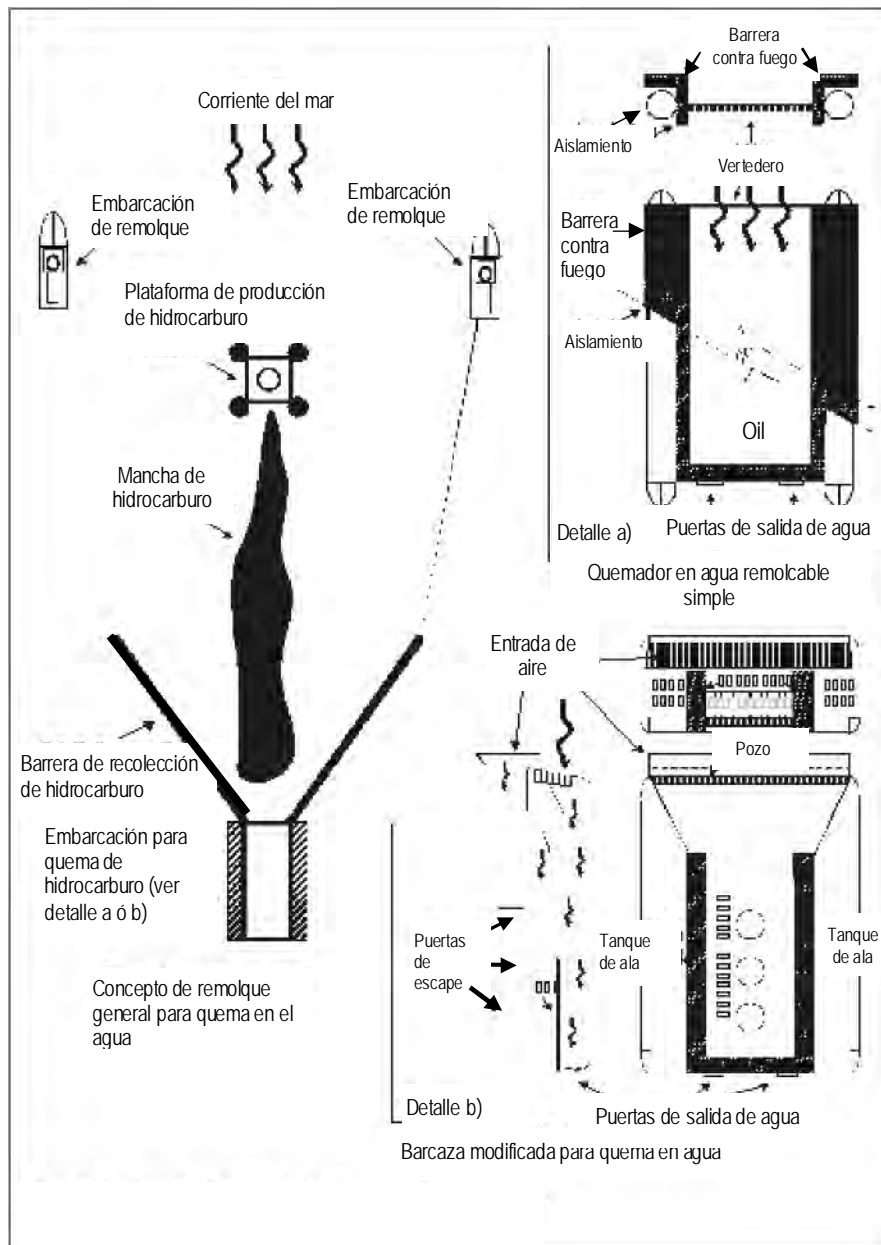
La fuerza de los inyectores de agua mantiene el hidrocarburo en la V formada por los brazos de la barrera. Esta contención permitiría realizar la quema del hidrocarburo en forma segura. También se consideró que el aire arrastrado por los inyectores de agua aumentaría la eficiencia y limpieza de la quema. Desafortunadamente, estas aseveraciones no han sido lo suficientemente probadas por problemas mecánicos y dificultades para maniobrar la barrera utilizando su configuración actual.

4.3. Dispositivos de encendido

Se han utilizado una variedad de 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 (McKenzie, 1994). Muchos de los métodos utilizados son modificaciones de los dispositivos de encendido empleados para otros fines.



Figura 9 – Nuevos conceptos para la quema de hidrocarburo en agua
(Adaptado de Maritime Research Associates, 1998)



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 describen en la Sección 7.1.3.

Las investigaciones realizadas han mostrado que una mancha de hidrocarburos debe tener un espesor de por lo menos 2 a 3 mm para ser encendida. Cuanto más espesa es la mancha, más fácil y rápidamente se quemará. Del mismo modo, cuanto más liviano, es decir, más volátil o menos meteorizado sea el hidrocarburo, más fácilmente se encenderá.



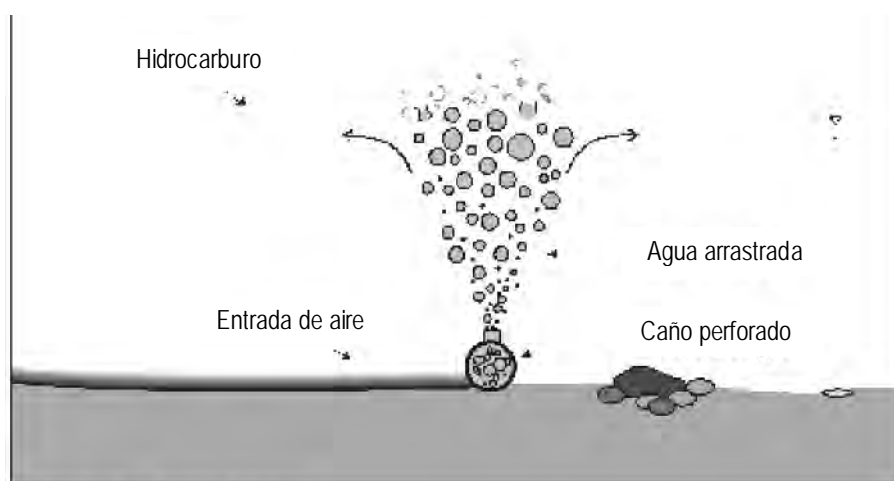
En el caso de los hidrocarburos pesados se requiere más tiempo de calentamiento para producir suficientes vapores encendibles.

Como se analizó en la Sección 3.5.3, las emulsiones inestables pueden encenderse, pero pueden requerir energía adicional para sostener la quema. Por otro lado, las emulsiones estables pueden ser muy difíciles de encender, porque el agua en el hidrocarburo actúa como pileta de calor y se requiere una gran cantidad de energía para calentar el agua y vaporizar el hidrocarburo para poder mantener la quema.

Dispositivos de encendido

- Un sistema de encendido conveniente es la helitorcha – un sistema de encendido por helicóptero.
- Pueden hacerse o comprarse encendedores manuales.
- El encendido es relativamente fácil para la mayoría de los derrames.

Figura 10 – Barrera de burbujas



Los dispositivos de encendido disponibles comercialmente, como las antorchas de propano y butano, han sido utilizados en el pasado para encender manchas de hidrocarburo. Sin embargo, son más efectivas sobre las manchas espesas, ya que las antorchas tienden a soplar y alejar el hidrocarburo lejos de la llama en las manchas delgadas, impidiendo el encendido. Los quemadores o antorchas de malezas también han sido sugeridos como dispositivo de encendido para la quema in situ.

A fines de la década del 70 comenzaron las investigaciones sobre el desarrollo de dispositivos de encendido aéreo para la quema in situ. Los diversos dispositivos o métodos comerciales y no comerciales disponibles para el encendido de manchas de hidrocarburo y los procedimientos operativos para su uso se analizan en esta sección.



4.3.1. Helitorchas

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 (ASTM, 2002, 1999a). 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. Estas helitorchas se muestran en las Figuras 11 y 12. El Simplex Helitorch fue usado eficazmente durante el ejercicio de quema in situ NOBE fuera de la costa de Terranova en el año 1993 (Lavers, 1997).

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. En la antorcha Simplex, todas las partes se montan sobre un marco de aluminio al cual se le unen cables de enganche. El sistema de bombeo y encendido de la Drip Torch se une al caño de transporte de combustible que se conecta a una manguera en la boca del barril. El caño con todos los accesorios se monta en la parte superior del barril con grapas y todo el sistema se engancha mediante cables que salen del caño. Los componentes de una helitorcha se ilustran en la Figura 13.

El combustible usado en el sistema de helitorcha es una mezcla de agente de gelificación en polvo con gasolina, 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. El fabricante afirma que este nuevo producto se mezcla más fácilmente, se gelifica con mayor rapidez y a una temperatura inferior, y se mantiene en suspensión durante más tiempo que el producto original. SureFire y SureFire II pueden obtenerse de Simplex Manufacturing en Portland, Oregon.

Al prepararse para utilizar una helitorcha, debe mezclarse el agente gelificador y el combustible en un área segura, lejos de cualquier fuente de encendido. Por lo tanto, el primer paso es establecer un **área de mezcla** en la cual se mezcle el combustible con el agente de gelificación y un **área de carga** en la cual se cargan los barriles en el sistema de helitorcha.

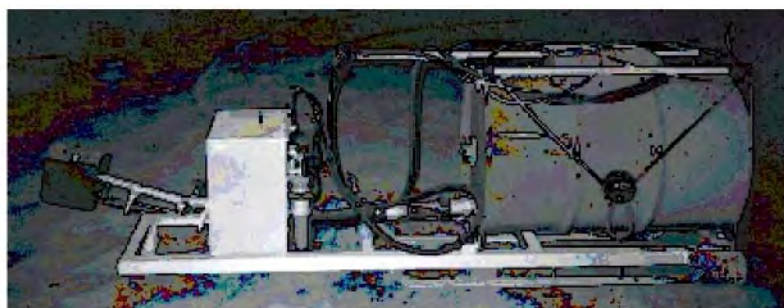
Estas dos áreas deben estar a una distancia mínima de 30 m y a 150 m de los helipuertos y las áreas de reabastecimiento de combustible del helicóptero. También deben estar separadas de cualquier fuente de encendido y viento ascendente del área de la quema. Las Figuras 14 y 15 muestran la disposición general de estas áreas. Las mismas deben utilizarse solamente para el trabajo relacionado con la helitorcha y no deben combinarse con otras operaciones de helicópteros u otro trabajo relacionado con la quema.



No debe permitirse el ingreso en estas áreas de personal ajeno a la tripulación de la helitorcha, a menos que así lo autorice el supervisor de la helitorcha.

La estructura organizativa para todas las personas que participan en la operación del sistema de helitorcha durante una quema de derrame de hidrocarburo in situ se muestra en la Figura 16. Esta es una versión simplificada de la estructura descrita en los manuales de operación de la helitorcha, que están escritos principalmente para la quema controlada en tierra, es decir, operaciones forestales que requieren integrantes del equipo adicionales. Para los pequeños derrames, en los que se necesitan unos pocos tambores de combustible gelificado, este equipo podría simplificarse aun más y quedar integrado por tres personas: el supervisor de la helitorcha, que también llevaría a cabo las tareas de oficial de seguridad y operador del enganche, un mezclador de combustible y el piloto. Las tareas de cada persona enumeradas en la Figura 16 se describen en el Apéndice C.

*Figura 11 – Simplex Helitorch
(Fingas, M. y M. Punt, 2000)*



*Figura 12 – Universal Drip Torch
(Fingas, M. y M. Punt, 2000)*





La mezcla de agente de gelificación y combustible, la carga de combustible y el enganche de la helitorcha al helicóptero deben realizarse en tierra, a menos que el sitio de la quema esté demasiado lejos para que el helicóptero realice el trasbordo de la helitorcha, es decir, más de 20 km. En este caso, el combustible y el agente deben mezclarse en un sitio en tierra, y los barriles de combustible gelificado deben almacenarse en un buque en un área aprobada para el almacenamiento de combustible. Esta área debe estar por encima de la cubierta en un lugar contenido, ventilado y lejos de toda fuente de encendido.

Debe establecerse un área de carga en el buque, donde se cargarán los barriles de combustible gelificado en el sistema de helitorcha y se engancharán al helicóptero. En este caso, todas las pruebas y preparaciones preliminares para el procedimiento de encendido deben realizarse en una base terrestre.

El combustible se mezcla con el agente de gelificación directamente en los barriles especializados que vienen con la unidad de la helitorcha, utilizando la apertura elevada de la cubierta en el barril. La relación agente de gelificación – combustible requerida depende principalmente del tipo de combustible y la temperatura del aire. Por lo general, cuanto menor es el punto de inflamación del combustible, menos agente de gelificación se requiere. La Tabla 7 muestra los tiempos de gelificación de los diversos tipos de combustible al mezclarse con el agente de gelificación de marca SureFire. En la mayoría de los casos, se recomienda la gasolina sin plomo, ya que suele ser el combustible más fácilmente disponible. Las relaciones de la mezcla deben determinarse utilizando las tablas brindadas en el Apéndice D. Estas tablas contienen además los tiempos de mezcla en las diversas temperaturas.

Figura 13 – Componentes de la helitorcha

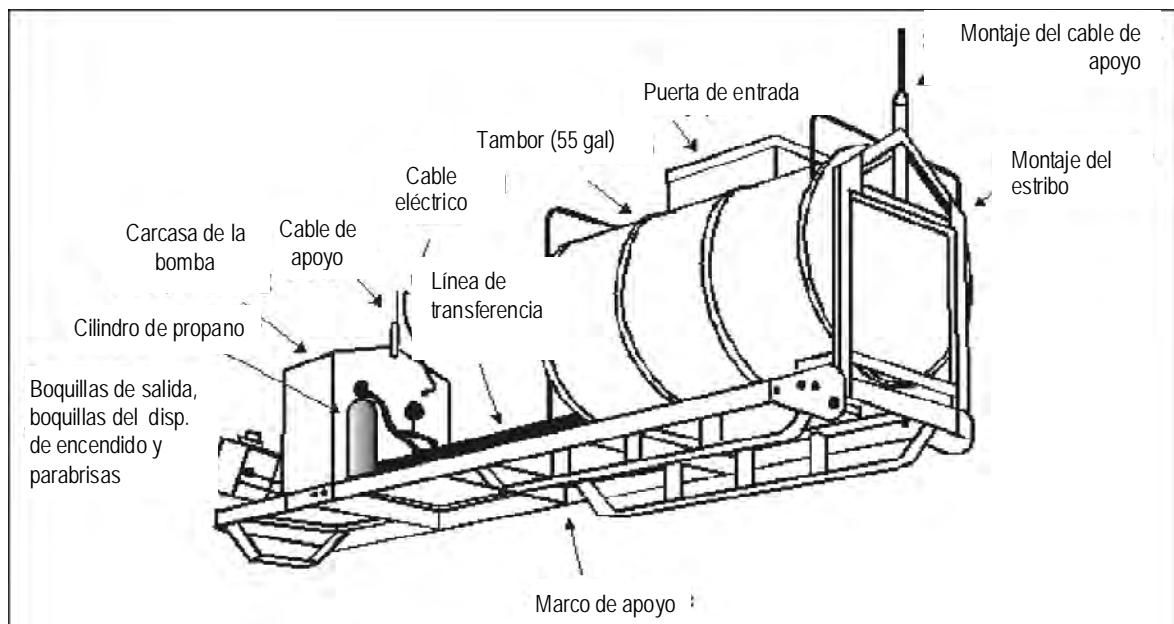




Figura 14 – Ubicación de las áreas de mezcla de combustible y carga de la helitorcha
(Adaptado de OMNR, 1990)

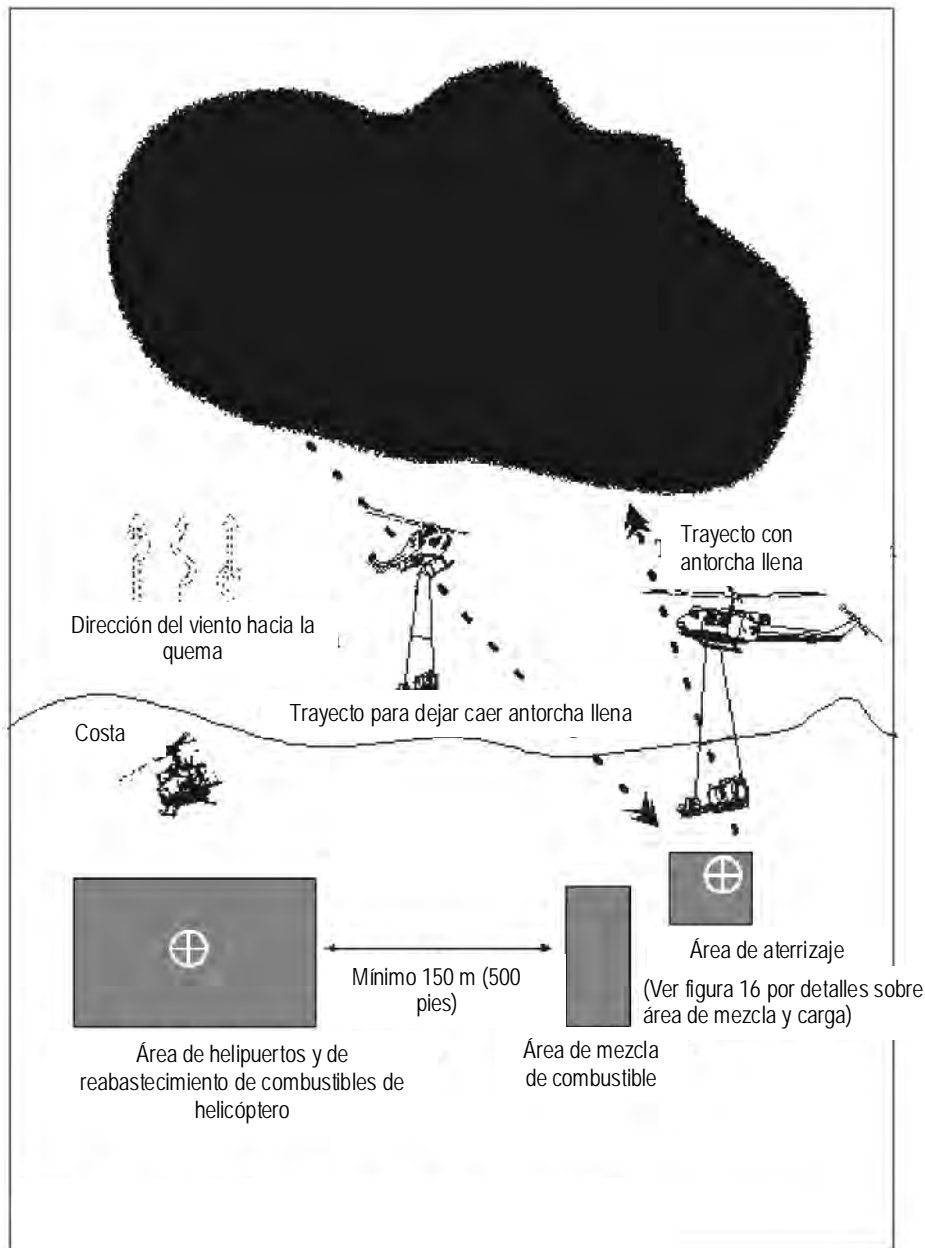
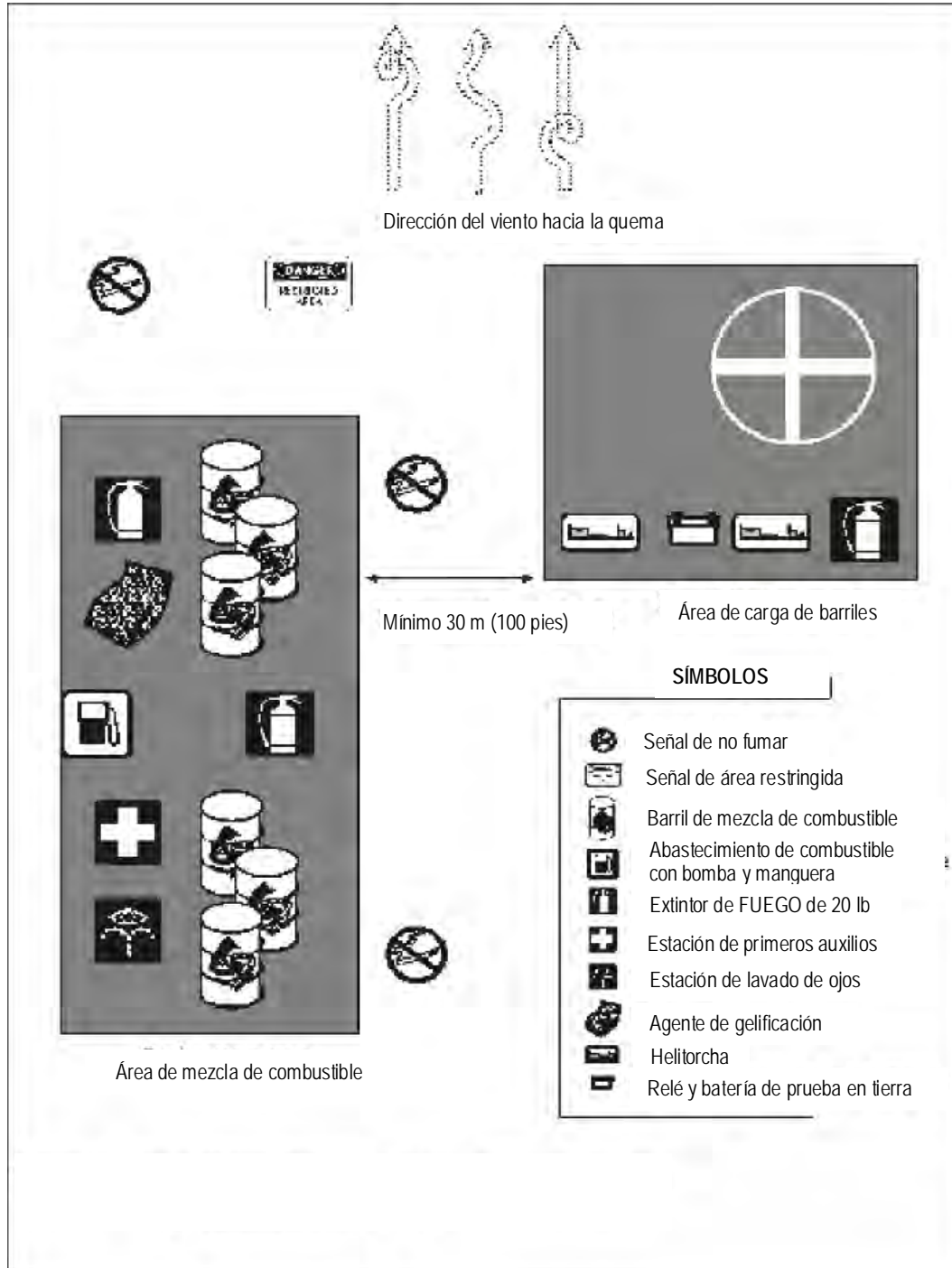




Figura 15 – Disposición de las áreas de mezcla de combustible y carga de la helitorcha
(Adaptado de OMNR, 1990)





La cantidad de combustible que se necesita para encender un derrame de hidrocarburo se relaciona principalmente con el número de manchas y el grado de meteorización del hidrocarburo. La cantidad de combustible normalmente no se relaciona con la cantidad de hidrocarburo a quemar. Durante la prueba de quema NOBE realizada en 1993, se utilizaron 20 L de combustible gelificado para quemar una mancha de 50.000 L. Un barril de combustible gelificado que contiene 180 L podría encender aproximadamente 450.000 L de hidrocarburo que abarque la misma área que durante esta prueba. La volatilidad del tipo de hidrocarburo utilizado y la temperatura también pueden afectar la cantidad de combustible gelificado requerida. También cabe destacar que la cantidad de combustible gelificado que se deja caer depende del operador individual, ya que no todos los operadores mantienen activado el conmutador de encendido durante el mismo tiempo.

Figura 16 – Equipo de operación de la helitorcha

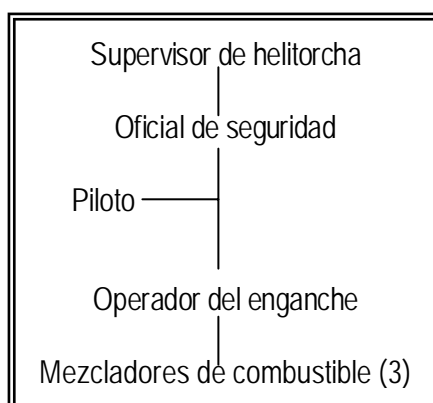


Tabla 7 – Tiempos de gelificación de algunos hidrocarburos (utilizando Sure Fire)
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Tipo de hidrocarburo	Tiempo de mezcla requerido para lograr la viscosidad deseada (depende de la temperatura y la relación de mezclado)	Efecto de la temperatura del aire	Estabilidad del combustible gelificado	Comentarios
Jet Fuel A	Se mezcla muy lentamente (de 20 a 120 minutos)	Se recomienda cuando la temperatura del aire es alta, por la estabilidad, pero se requiere un mayor tiempo de mezclado.	El más estable – dura de 4 a 5 semanas, de 2 a 3 días a temperaturas superiores a 20°C	
Jet Fuel B	Se mezcla rápidamente (de 8 a 18 minutos)	El aumento de la temperatura del aire tiene poco efecto en el tiempo de mezclado	Estable durante 2 a 3 semanas o 2 a 3 días a temperaturas superiores a 20°C	



Tabla 7 – Tiempos de gelificación de algunos hidrocarburos (utilizando Sure Fire) (Cont.)
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Tipo de hidrocarburo	Tiempo de mezcla requerido para lograr la viscosidad deseada (depende de la temperatura y la relación de mezclado)	Efecto de la temperatura del aire	Estabilidad del combustible gelificado	Comentarios
Gasolina regular o sin plomo	Se mezcla bastante rápidamente (10 a 45 minutos)	Se recomienda para temperaturas del aire inferiores a 10°C para asegurar una ignición continua	Estable durante 2 a 3 semanas o 2 a 3 días a temperaturas superiores a 20°C	
70% diesel / 30% gasolina	Se mezcla lentamente (de 10 a 110 minutos)	El aumento de la temperatura del aire afecta el tiempo de mezclado	Estable durante 2 a 3 semanas o 2 a 3 días a temperaturas superiores a 20°C	El porcentaje de gasolina debe incrementarse por debajo de 10°C

El combustible gelificado se transporta utilizando las asas de transporte del barril al área de carga y se anexa al marco de la helitorcha o al sistema de ignición. La anexión de la helitorcha al helicóptero se ilustra en la Figura 17. Después, el sistema completo se anexa al helicóptero utilizando las eslingas. La conexión eléctrica se dispone a lo largo de estos cables. Para el encendido, la antorcha puede engancharse al marco en ángulo recto, de modo tal que el piloto pueda ver la cabeza de encendido. Sin embargo, si la unidad está siendo transportada una distancia larga, debe engancharse en paralelo al marco para reducir el arrastre de la unidad y conservar el combustible del helicóptero. Antes de comenzar la preparación para el encendido, el helicóptero debe disponerse en un helipuerto ubicado sobre un buque cerca del sitio para cambiar la posición de la antorcha de modo tal que quede perpendicular al marco.

Antes de desplegar la helitorcha se verifican las condiciones del viento para que el piloto pueda acercarse a la quema desde una dirección contra el viento o con viento de costado. También se verifican las corrientes de agua para asegurarse de que el gel que se está quemando no se dirija a ninguna embarcación que esté participando en la operación de quema. Puede realizarse un vertido de prueba. Si esta prueba indica que el combustible gelificado se está encendiendo y descendiendo en forma adecuada, el piloto posiciona el helicóptero sobre el lugar deseado, enciende la antorcha lentamente y abandona el área. Si está encendiendo el combustible con un punto de inflamación, es posible que el piloto deba dar vueltas sobre el área de la quema y lanzar múltiples bolas de combustible quemándose para concentrar el fuego en un solo lugar.

Los aspectos de seguridad de la operación con helitorcha se describen en la Sección 7.1.3.1.

4.3.2. Dispositivos no comerciales de encendido

Se han utilizado métodos de encendido simples, como papel empapado en combustible, trapos o absorbentes, para encender hidrocarburo en derrames reales o de prueba (ASTM, 2002, 1999a).



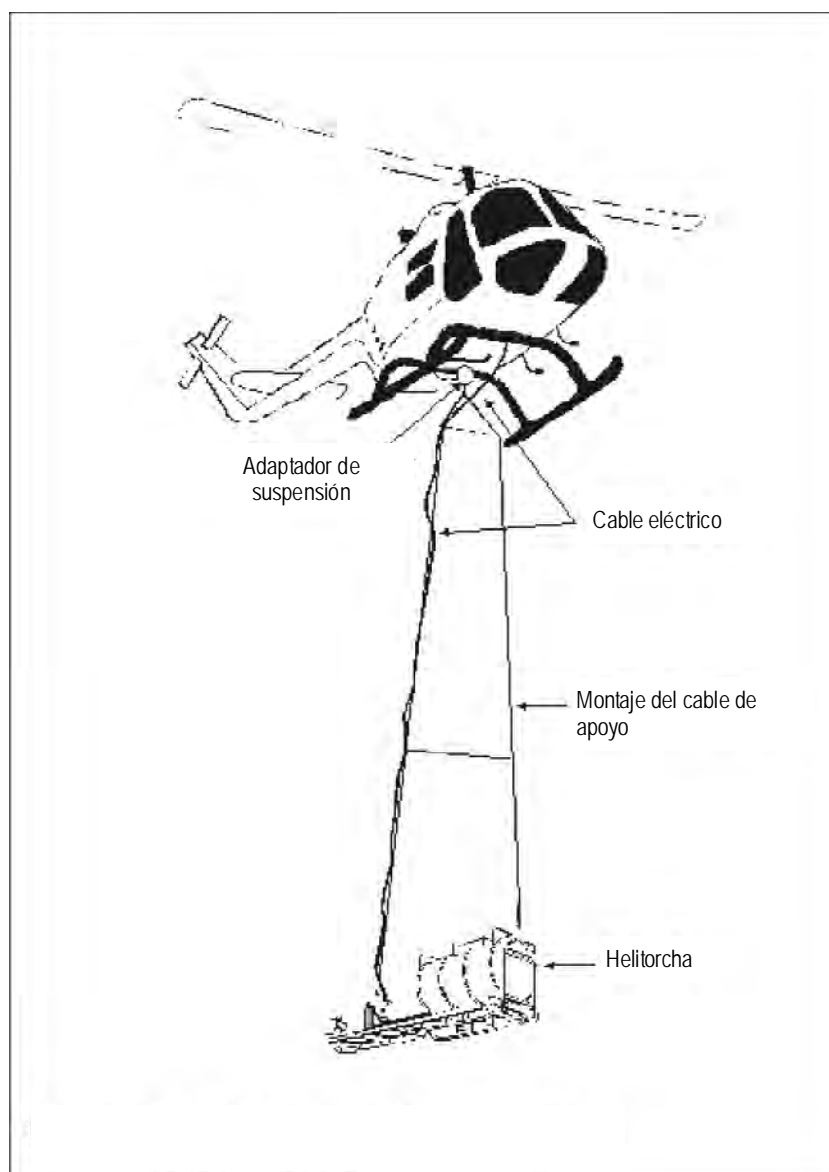
Por ejemplo, se usó combustible gelificado en una bolsa de plástico para encender parte del hidrocarburo en el derrame del *Exxon Valdez*. La bolsa se encendió, fue lanzada hacia la mancha desde un barco y flotó hacia la mancha. Debe observarse que el diesel es preferible a la gasolina para empapar materiales 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 (ASTM, 2002; ASTM, 1999a). 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 1000 a 2500°C (ASTM, 1999a).

Algunos dispositivos de encendido utilizan metales reactivos, y por lo tanto no tienen que encenderse antes de ser desplegados. El dispositivo de encendido Kontax es un ejemplo de esos dispositivos de auto-encendido, que fue probado y comercializado en la década del 70 (ASTM, 1999a). Este dispositivo consistía en un cilindro de metal lleno de carburo de calcio, con una barra de metal recubierta de sodio metálico por el medio. Cuando el dispositivo se arrojaba en el derrame, el sodio metálico reaccionaba con el agua para producir calor e hidrógeno. El carburo de calcio reaccionaba con el agua para producir acetileno. El hidrógeno se encendía y a su vez encendía al acetileno. La llama del acetileno que se estaba quemando se mantenía durante suficiente tiempo como para calentar el hidrocarburo y producir vapores que posteriormente se encendían. La principal inquietud con este tipo de dispositivo es la seguridad. Los productos químicos deben almacenarse en un lugar muy seco, ya que la exposición accidental al agua podría provocar su encendido.



Figura 17 – Montaje de la configuración de helitorcha en helicóptero
(Adaptado de OMNR, 1998)



A fines de la década del 70 comenzaron las investigaciones sobre el desarrollo de dispositivos de encendido aéreo para la quema in situ durante las actividades de exploración de hidrocarburos costa afuera en el Mar de Beaufort. Este trabajo llevó al desarrollo de dos dispositivos canadienses de encendido – el DREV Igniter y el Dome Igniter. El dispositivo DREV fue diseñado inicialmente a principios de los años 80 por el Canadian Defence Research Establishment en Valcartier, Quebec (DREV), junto con el Servicio de Protección Ambiental de Canadá (Allen, 1986; Energetex Engineering, 1981; y Twardawa y Couture, 1983). Se construyeron varias configuraciones del dispositivo de encendido, algunas previstas para el despliegue en piletas de aguas poco profundas sobre el hielo. Este dispositivo también se ha denominado EPS Igniter, AMOP Igniter, DREV/ABA Igniter y Pyroid.



Fue fabricado por Astra Pyrotechnics, Ltd. (antes ABA Chemical Ltd.) de Guelph, Ontario, pero ya no está en producción. Sin embargo, recién en 1993 estos dispositivos pudieron obtenerse por pedido especial a Hand Chemical. La ventaja de este tipo de dispositivo de encendido es que es construido por una empresa pirotécnica autorizada utilizando componentes aprobados, y su transporte por camión o flete aéreo está autorizado.

Dispositivos manuales de encendido

- Un dispositivo de encendido simple puede realizarse con una mecha, un recipiente de combustible gelificado y una pieza de espuma.
- El dispositivo de encendido DREV puede hacerse por pedido especial.

Como se muestra en la Figura 18, el dispositivo de encendido DREV es un dispositivo desplegable en el aire con un dispositivo pirotécnico colocado entre dos almohadillas de flotación cuadradas. Antes de arrojar el dispositivo desde la aeronave hacia la mancha, el operador tira del conmutador de encendido, lo cual golpea la tapa del cebador. El sistema tiene un mecanismo de retardo de 25 segundos que da tiempo para tirar el dispositivo y posicionarlo en la mancha. Después de ese retardo, se enciende una composición de encendido de combustión rápida, que a su vez enciende un propulsor de motor cohete, cuyos componentes principales son perclorato de amonio (40 a 70%), magnesio o aluminio metálicos (10 a 30%) y aglutinante (14 a 22%). Esto produce un anillo de fuego con temperaturas cercanas a los 2300°C que se quema durante 2 minutos – lo suficiente como para que el hidrocarburo circundante se vaporice y se encienda.

El dispositivo de encendido Dome fue creado por Dome Petroleum Ltd. en Calgary, Alberta, junto con Energetex Engineering de Waterloo, Ontario (Allen, 1986 y Energetex Engineering, 1982). También ha sido conocido como Energetex Igniter o Tin Can Igniter, y se preveía su creación en el sitio. Esta unidad ya no se produce más. Como se muestra en la Figura 19, la cesta de combustible de malla de alambre, que contiene un propulsor sólido y queroseno gelificado, está rodeada por dos flotadores de metal. Un sistema de encendido eléctrico activa un hilo fusible que ofrece un retardo de aproximadamente 45 segundos. El fusible enciende un hilo de encendido térmico, que enciende el propulsor sólido, y finalmente enciende el queroseno gelificado. El queroseno gelificado se quema a temperaturas de 1200 a 1300°C por aproximadamente 10 minutos, permitiendo que el hidrocarburo se vaporice y se queme.

La desventaja de los dispositivos DREV y Dome es que se requiere un dispositivo de encendido para quemar cada mancha o parte de una mancha. Para los grandes derrames de hidrocarburo y para el hidrocarburo en piletas es posible que se requieran varios dispositivos de encendido, lo cual resulta costoso e insume mucho tiempo.

Otra técnica para el encendido de hidrocarburo in situ es el uso de láseres. En la década de 1980, Environment Canada patrocinó una investigación de la empresa canadiense Fleet Technology Ltd. (antes Arctec Canada, Ltd.) y Physical Sciences Inc. de Andover, MA (Frisch *et al.*, 1986 y 1989). Esta investigación comprendió la prueba de diversas técnicas de láser para el encendido de distintos tipos de hidrocarburo a diferentes temperaturas. La técnica más exitosa en las pruebas de laboratorio fue utilizar un láser de CO₂ de onda continua para calentar un área localizada de la mancha de hidrocarburo. El láser calienta el hidrocarburo a una temperatura que excede su punto de combustión.



El tiempo de calentamiento varía de unos pocos segundos a más de 30 segundos, dependiendo del tipo de hidrocarburo, el grado de meteorización y la temperatura del hidrocarburo. Después, los vapores del hidrocarburo son encendidos por una chispa producida justo por encima de la superficie del hidrocarburo por un rayo pulsante de alta potencia proveniente de un segundo láser. Para dirigir este segundo láser se utiliza un telescopio de direccionamiento de láser con espejos de enfoque. A pesar del éxito de esta investigación, este dispositivo no se desarrolló totalmente por falta de financiamiento.

Figura 18 – DREVIgniter
(Adaptado de Twardawa & Couture, 1983)

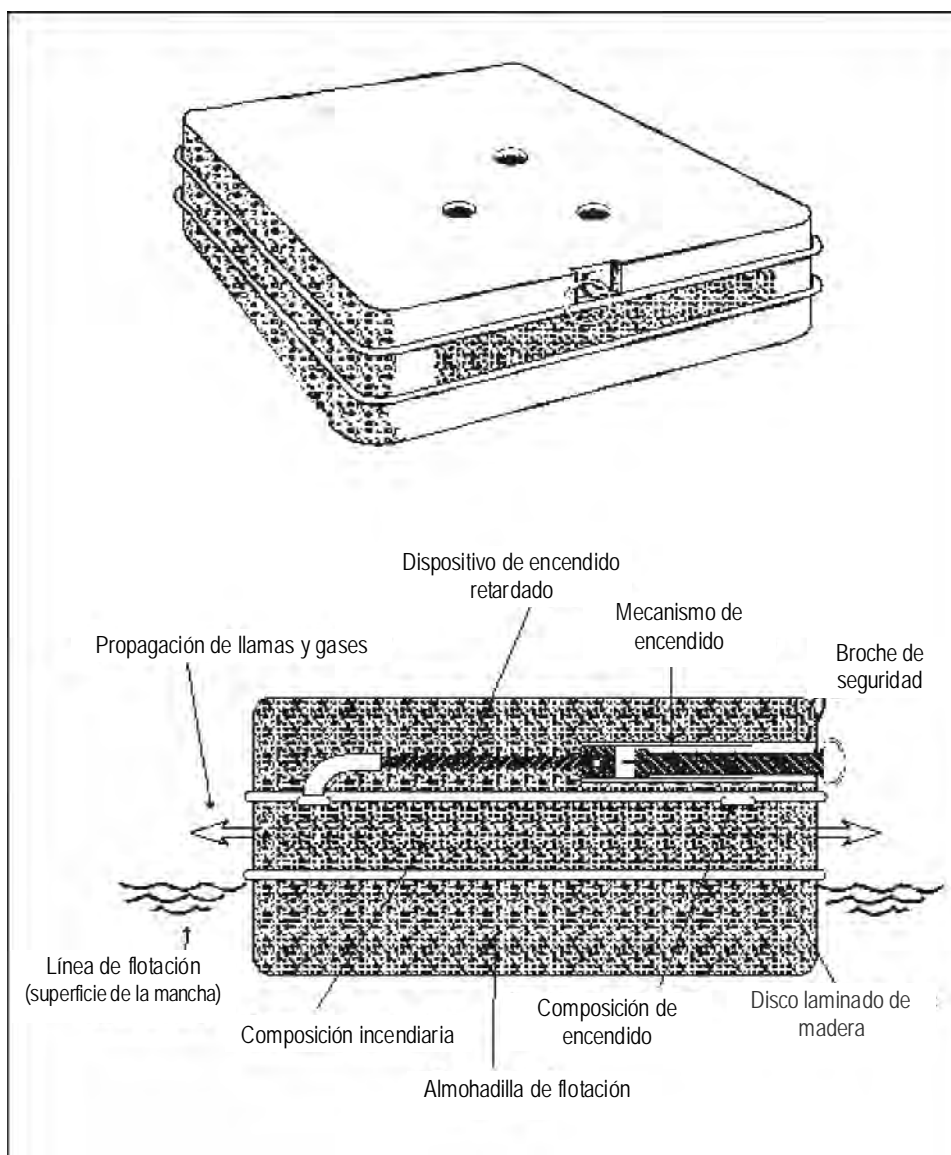




Figura 19 – Dome Igniter
(Adaptado de Buist et al. 1994)

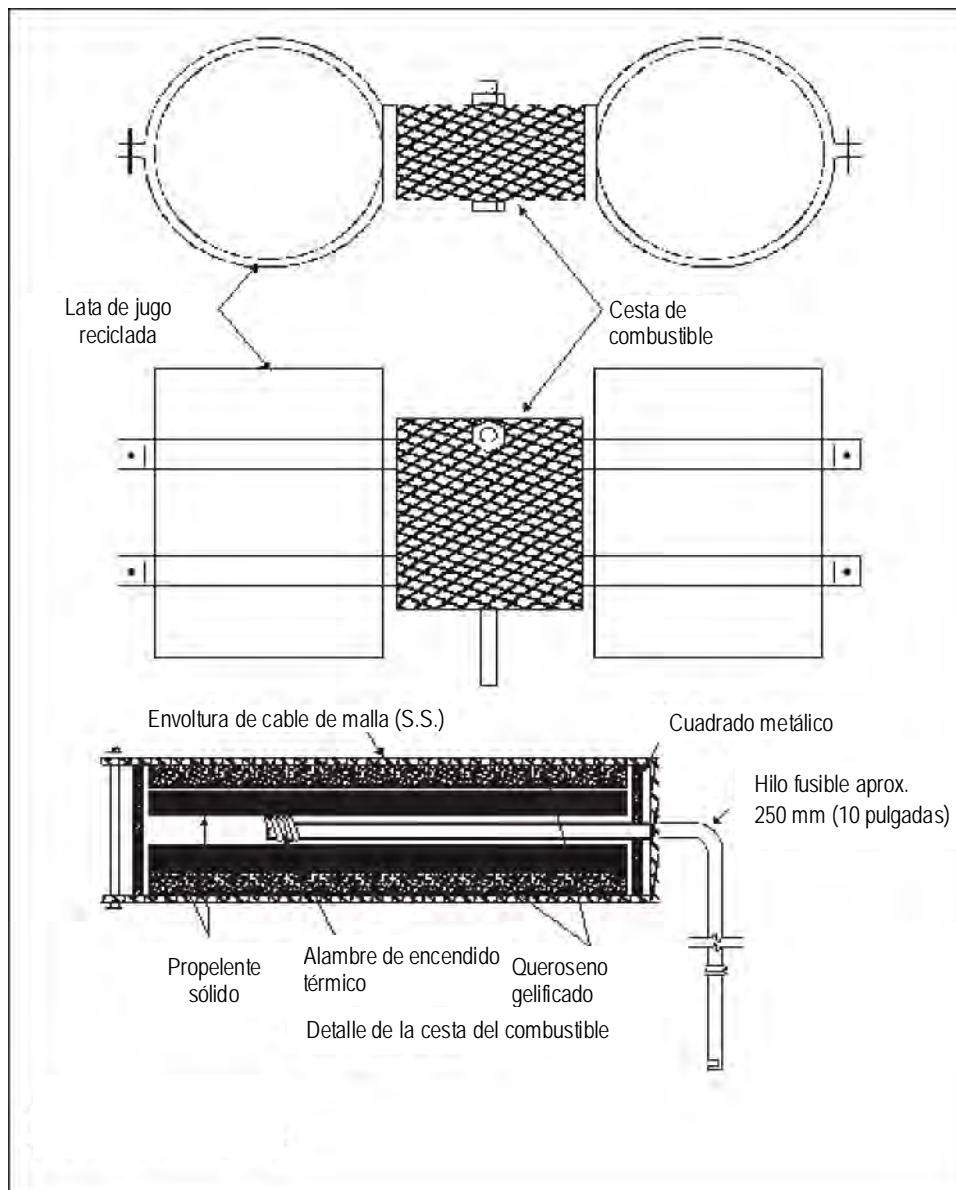
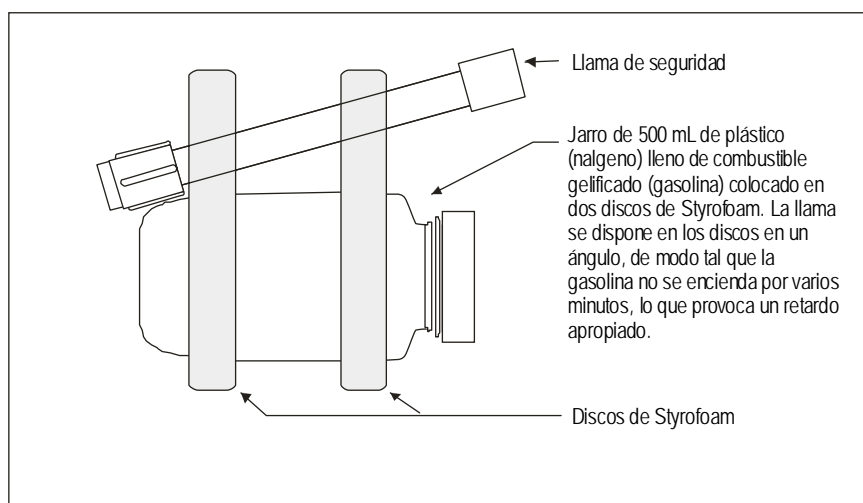




Figura 20 – Dispositivo de encendido manual



Durante quemas in situ realizadas en 1996 en la costa de Gran Bretaña se utilizó un dispositivo de encendido manual diseñado por Simplex y Spiltec (Guénette y Thornborough, 1997). Este dispositivo consiste en una botella de "Nalgeno" de polietileno de 1L llena de gasolina en gel. El gel se hizo mezclando 1 L de gasolina con 0,01 kg de agente de gelificación de combustible SureFire, que es el agente utilizado para la helitorcha. Esta botella y una bengala marina estándar de 15 cm se aseguran lado a lado dentro de dos anillos de espuma de poliestireno. Se enciende la bengala y se tira hacia la mancha, donde se quema durante aproximadamente 60 segundos antes de que la botella de plástico se derrita y se encienda la gasolina en gel, que a su vez enciende el hidrocarburo. Dicho dispositivo, que es relativamente fácil de hacer y desplegar, se muestra en la Figura 20.

Los temas de seguridad que deben considerarse cuando se hacen funcionar dispositivos de encendido se describen en la Sección 7.1.3.

4.4. 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 agentes anti-emulsificantes, ferroceno, promotores de la combustión y absorbentes. Un reciente trabajo noruego mostró que la combinación de productos químicos que suprimen las emisiones de humo con aquellos que rompen las emulsiones y promueven la combustión es ineficaz (McKenzie, 1994). Sin embargo, los agentes funcionaron bien por separado. También pueden agregarse productos químicos al hidrocarburo antes de su transportarle, para que se queme con mayor eficacia si se derrama. Después del derrame también pueden agregarse oxidantes al hidrocarburo, como el ferroceno que se utiliza para solidificar combustible de cohetes.



Los anti-emulsificantes y los inhibidores de emulsiones 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. Se dispone de alguna información sobre formulaciones químicas de estos agentes, pero las formulaciones varían mucho y muchas de ellas no tienen una patente específica.

Solo tres productos, Gamelin EB439, Vytac DM y Breaxit OEB-9, se comercializan específicamente para los derrames de hidrocarburos en este momento (Walker *et al.*, 1993). Otro producto, el Alcopol 60, también se ha utilizado mucho en pruebas de campo. Muchos productos de este tipo se comercializan para romper emulsiones que tienen lugar en la producción de petróleo, pero la mayoría de ellos no se han aplicado nunca a derrames de hidrocarburos (Ross *et al.*, 1992).

Se han realizado diversas pruebas de anti-emulsificantes o inhibidores de la emulsión. Sin embargo, los resultados de algunas de estas pruebas pueden no resultar útiles, ya que no se centran en el hecho de que hay diversas clases de estabilidad o estados de agua en hidrocarburo, es decir, emulsiones estables, mesoestables, inestables y agua en suspensión. Además, es posible que para algunas pruebas no se hayan utilizado los métodos analíticos apropiados para evaluar la eficacia.

También debe considerarse la acción requerida del producto al realizar las pruebas de eficacia. Se ha demostrado que algunos productos son más apropiados para inhibir la emulsificación que para disolver una emulsión que ya se ha formado (Fingas y Fieldhouse, 1994). Por lo tanto, es apropiado contar con dos tipos de pruebas para cada una de estas funciones. Además, algunos anti-emulsificantes se utilizan en mar abierto, lo que se denomina sistema abierto, y otros se utilizan junto con desnatadores, tanques y bombas, con poco agua presente, lo que se denomina sistema cerrado. Así, se requiere un total de cuatro pruebas diferentes para probar todas las facetas de los agentes de tratamiento de emulsiones.

Environment Canada ha evaluado dos agentes de tratamiento que están diseñados para medir cada uno de los cuatro sistemas de prueba (Fingas y Fieldhouse, 1994). Se obtuvieron diferentes resultados con los mismos agentes en las cuatro pruebas diferentes. Para disolver emulsiones estables en sistemas abiertos, que sería el caso del mar abierto, se necesitó una relación mínima de 1:300 (m/m) para el Vytac DM y de 1:200 para el Alcopol 60. Para disolver emulsiones en un sistema cerrado, que sería el caso de un desnatador o un buque cerrado, se necesitó una relación mínima de 1:250 de Vytac y de 1:280 de Alcopol. Se requiere mucho menos agente para inhibir la formación de una emulsión de agua en hidrocarburo que para disolverla. Además, se descubrió que las emulsiones mesoestables necesitaban mucho menos agente, aunque esta cantidad era demasiado variable como para medirla. Se realizaron pruebas para determinar la cantidad necesaria para impedir la formación de emulsiones.

Buist y sus colegas probaron varias combinaciones del anti-emulsificante para yacimientos petrolíferos EXO 0894 para romper las emulsiones de hidrocarburo North Slope en Alaska antes de la quema (Buist *et al.*, 1995). Se determinó que 500 a 5000 ppm de EXO 0894 eran suficientes para disolver las emulsiones que contenían hasta 65% de agua, de modo que estas se quemaran. Las emulsiones que contenían más agua no podían quemarse.



Estas pruebas a escala de laboratorio también sirvieron para determinar que a menudo se requería al menos una hora de tiempo de mezcla después de asperjar el anti-emulsificante antes de poder disolver la emulsión. Los anti-emulsificantes se han aplicado para las pruebas utilizando dispositivos de aspersión manuales. En situaciones reales se ha propuesto el uso de equipos de aplicación de dispersantes.

El ferroceno es un producto químico que puede reducir o eliminar la producción de hollín de las quemaduras (Mitchell, 1990, 1991, 1992, 1993). Las pruebas han indicado que el ferroceno, si puede mezclarse, es altamente eficaz en un porcentaje que va de 1 a 2%. El problema con el ferroceno es que es más denso que el hidrocarburo y el agua, por lo que debe mezclarse previamente justo antes de la quema, lo cual es muy difícil de hacer fuera de una quema de prueba en batea.

En el pasado se han probado varios promotores de combustión, por lo general agentes que actúan tanto como agente de drenaje (como un sorbente) como combustible auxiliar, y se ha indicado que son marginalmente útiles (Thompson *et al.*, 1979). Ninguno de estos agentes está disponible actualmente. Hay quienes sugirieron que dichos agentes pueden ser útiles para quemar manchas no contenidas, pero se requiere más investigación sobre estos agentes antes de que puedan aplicarse a situaciones reales de quema in situ.

Se ha demostrado que los sorbentes como la turba en polvo son útiles para la quema, ya que actúan como agentes de drenaje (Coupal, 1972). También se demostró que dichos agentes podrían reducir al mínimo el espesor de quema e incrementar la eficiencia del proceso de quema. Los sorbentes pueden hacer posible una quema no contenida en condiciones marginales, pero una vez más, es necesario realizar más investigación.

4.5. 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 barcas 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.

Vigilancia

- Toda quema costa afuera debe controlarse utilizando helicópteros o aeronaves de ala fija.
- También debe dedicarse una embarcación separada para controlar la quema y garantizar la seguridad del equipo de remolque de la barrera.
- Debe haber una buena comunicación implementada para asegurar que la operación se realice en forma segura y bien coordinada.



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 la misma. 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.

Para todas las operaciones con aeronave, resulta esencial la comunicación confiable entre aire y tierra para coordinar las operaciones. Durante las operaciones con helitorcha, esto incluye comunicación entre el buque base, el helicóptero y las embarcaciones de despliegue de la barrera contra el fuego. También puede resultar conveniente contar con una embarcación de apoyo de seguridad con comunicación con el helicóptero en determinadas ocasiones.

Cualquier embarcación utilizada como base flotante para las operaciones con helicóptero debe contar con una cubierta para helicópteros con un área de almacenamiento de combustible cercana y estar equipada para operaciones de combate del fuego a bordo. Si se está utilizando una helitorcha u otro dispositivo de encendido desplegado por helicóptero, y la distancia desde la costa es demasiada como para que el tránsito del helicóptero desde una base en tierra se realice con seguridad, puede requerirse otra embarcación para almacenar el combustible gelificado y para las operaciones de reaprovisionamiento de combustible para la helitorcha.

Al realizar la quema contra una costa sin el uso de barreras de desvío o contención, solo se necesita un helicóptero (preferiblemente bimotor) para transportar la helitorcha y conducir las operaciones de encendido. Si se necesitan barreras, se requerirán embarcaciones o aeronaves para transportar el equipo al sitio. Sin embargo, es posible que no se necesiten embarcaciones y aeronaves para mantener la barrera en su lugar, ya que esto puede hacerse mediante anclas.

Se recomienda el uso de una embarcación con banda baja para un fácil acceso a la superficie del agua para la recuperación del hidrocarburo utilizando desnatadores. Un vehículo marino de tipo *sea truck* o de amerizaje utilizado en la respuesta convencional a derrames de hidrocarburos es ideal para el acceso a la superficie del agua.



La cantidad de residuos que pueden recuperarse dependerá del desplazamiento de la embarcación y el tamaño del tanque y la carga que pueden transportarse en la cubierta con seguridad teniendo en cuenta la estabilidad de la embarcación. 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. Ver la Sección 4.7 por mayor información sobre la recuperación de residuos de hidrocarburo.

4.6. Monitoreo, toma de muestras y análisis

El monitoreo de las emisiones durante una operación de quema in situ puede ofrecer información continua en cuanto a si la quema se está realizando en forma adecuada y segura. Un programa de monitoreo 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 monitoreo para cualquier operación de quema in situ:

- Monitoreo en tiempo real de partículas PM-10 en el humo
- Monitoreo en tiempo real de compuesto orgánico volátil (COV) en el humo
- Toma de muestras de hollín para el análisis de compuestos orgánicos e hidrocarburos poliaromáticos (HPA); y
- Toma de muestras de residuos para el análisis de compuestos orgánicos y HPA.

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 monitoreo y toma de muestras.

4.6.1. Monitoreo en tiempo real

Por lo general, debe realizarse un monitoreo de emisiones en tiempo real y en la dirección del viento, en un punto cercano a áreas pobladas. Los estudios de las emisiones de quemados 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 monitoreo del material particulado, 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. Esta es la norma establecida por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH, por su sigla en inglés) y descrita en el Código de Normas Federales de los Estados Unidos (Oficina del Registro Federal, 1991).

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 poliaromáticos o HPA en el material particulado. La tercera emisión a considerar son los compuestos orgánicos volátiles o COV



Los dispositivos utilizados actualmente para llevar a cabo el monitoreo de partículas en tiempo real son los monitores de aerosol RAM y DataRAM, que son capaces de detectar las partículas PM-10 emitidas por una quema. Es importante destacar que las concentraciones de partículas son muy variables con el correr del tiempo. Es posible que en una lectura se exceda el valor máximo recomendado en un instante y que los valores correspondan a la línea de referencia en la siguiente lectura. Además, los valores de referencia deben medirse y restarse del valor real. Como tanto el RAM como el DataRAM miden la humedad como material particulado (que es lo que es), las instrucciones indican que estos instrumentos no deben utilizarse en lugares con gran humedad. Naturalmente, esto se aplica a los sitios en embarcaciones y cerca del mar. La experimentación ha demostrado que la gran humedad puede provocar lecturas hasta cinco veces superiores al valor máximo de

exposición, aunque pueden corregirse los datos para esto. En ambos casos, el valor en tiempo real que se ve en los instrumentos se registra solo por interés. Las lecturas del instrumento deben registrarse en forma electrónica y los promedios deben calcularse a partir de los datos registrados y corregidos. El DataRAM cuenta con un grabador interno.

Un protocolo elaborado por la Guardia Costera de los Estados Unidos, la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades y el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos para el monitoreo en tiempo real durante la quema in situ o las operaciones con dispersantes está disponible en <http://response.restoration.noaa.gov/oilaid/SMART/SMART.html>.

No existen métodos confiables en tiempo real o casi en tiempo real para el monitoreo de los HPA. Sin embargo, existen muchos métodos para tomar muestras de partículas utilizando bombas y filtros de papel, y también hay algunos dispositivos portátiles disponibles.

El monitoreo en tiempo real de COV puede realizarse, pero presenta dificultades e imprecisiones. Sin embargo, se toman muestras de COV de diversas formas. El uso de cilindros de metal evacuado, conocido como recipientes Summa, es fácil y ofrece resultados precisos, como se analiza en la Sección 4.6.3.

4.6.2. Monitoreo visual

El monitoreo visual no es tan efectivo como el que se realiza mediante instrumentos. Obviamente, los gases y las concentraciones bajas de material particulado no pueden verse.

Monitoreo de emisiones

- Las emisiones de la quema deben monitorearse para asegurarse de que no excedan los niveles de amenaza a la salud humana, y deben documentarse los niveles correspondientes.
- Deben utilizarse dispositivos de monitoreo de partículas en tiempo real para controlar las partículas PM-10 bajo el penacho.
- Pueden tomarse muestras de COV utilizando recipientes Summa.
- Pueden utilizarse bombas de toma de muestras personales con filtros para obtener el material para el análisis de HPA.



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.

4.6.3. Obtención y análisis de muestras

Existen varios métodos para obtener y analizar muestras para evaluar la eficacia de la quema in situ. No todos ellos serán necesarios en una situación de quema de emergencia real, pero según las circunstancias, las normas y/o el plan operativo específico, pueden requerirse algunos.

La segunda emisión preocupante de una quema in situ son los HPA relacionados con el material particulado. Existen varios métodos simples para recolectar estas partículas para el análisis de laboratorio. También pueden usarse simples bombas de toma de muestras para confirmar los conteos de partículas y para atrapar partículas. El análisis de las partículas atrapadas es complejo y debe ser realizado por un laboratorio que cuente con los equipos requeridos y tenga experiencia en el análisis de HPA.

Los compuestos orgánicos volátiles o COV son la tercera emisión preocupante. Las muestras de COV pueden tomarse utilizando recipientes de metal evacuado conocidos como recipientes Summa, que se abren durante un tiempo específico para recolectar una muestra representativa del gas. Los compuestos deben ser analizados por un laboratorio especializado que cuente con los equipos requeridos y tenga experiencia en el análisis de COV de recipientes Summa.

4.6.4. Análisis de datos

Los datos sobre partículas en tiempo real registrados en forma electrónica deben analizarse. Primero deben establecerse los valores de referencia, lo que puede hacerse mediante una gráfica. Estos valores de referencia después se restan de la serie total de datos. La línea de referencia puede cambiar durante la quema según la tendencia ascendente o descendente de datos durante todo el período de monitoreo.

Si los valores de referencia cambian, lo que sucede con frecuencia, es más complejo realizar la resta porque cambia a cada momento. Los datos de referencia pueden restarse utilizando un programa de hoja de cálculo que use la pendiente de la línea para restar el valor de referencia en cada momento. En segundo lugar, debe realizarse un promedio de los datos en el período de tiempo en que se obtuvieron. En tercer lugar, los datos deben corregirse para reflejar un período de 2 horas, que es el período de tiempo durante el cual se especifica por lo general la exposición máxima. Por ejemplo, si la concentración de partículas promedio fue de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 6 horas, el valor para las 24 horas es $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, asumiendo que no haya ninguna otra fuente de partículas.



Debido a estas necesarias manipulaciones de datos, los datos del monitoreo en tiempo real de las emisiones provenientes de la quema deben considerarse con cuidado y no pueden utilizarse para determinar si una quema es segura o no.

4.7. 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 meteorizado. 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 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 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.

Limpeza de residuos

- Los residuos son viscosos, adhesivos y densos.
- Las pequeñas cantidades de residuos pueden limpiarse con vertedores manuales y absorbentes.
- Se necesitan desnatadores de hidrocarburos pesados para las grandes cantidades de residuos.



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 apoyo y recuperarse utilizando absorbentes o desnatadores apropiados para el hidrocarburo pesado. Dependiendo del volumen previsto y las propiedades del residuo, el residuo recolectado podría transferirse utilizando un sistema de succión de vacío, una bomba sumergible como la Desmi DOP-250, o en forma manual con palas y baldes.

Otra opción es agrupar el residuo en un área utilizando bombas o mangueras de agua desplegadas desde una embarcación pequeña. Una vez agrupado, puede ser posible re-encender el residuo o encenderlo con hidrocarburo recientemente recolectado para reducir aun más el volumen del residuo a recuperar. Dadas las pequeñas áreas involucradas, los dispositivos de encendido manuales son más apropiados que las helitorchas para re-encender el residuo.

4.8. Disponibilidad de equipamiento

Dependiendo de la jurisdicción responsable por el equipamiento para el derrame, 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, Clean Bay Incorporated, National Response Corporation, Marine Pollution Control y FOSS Environmental & Infrastructure. Algunas de estas organizaciones pueden colaborar previo pago de una tarifa o arrendar equipos y operadores.

4.9. 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 E contiene una Lista de verificación de equipos.

En los Estados Unidos, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, Administración Oceánica y Atmosférica Nacional) 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>



5. Análisis del Beneficio Ambiental Neto y posibles situaciones de derrame

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 - “Eligiendo 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 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 la meteorización 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.

Las estrategias enumeradas en la Tabla 8 pueden implementarse mejor utilizando tácticas específicas. Estas tácticas se enumeran en la Tabla 9 y cada una de ellas es ilustrada por separado en las Figuras 21 a 29. Cada una de estas tácticas presenta ventajas y limitaciones específicas.

La bien conocida táctica consistente en utilizar una barrera a prueba de fuego remolcada y quemar el hidrocarburo directamente en la barrera se muestra en la Figura 21. 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.

Las Figuras 22 y 23 muestran la recolección del hidrocarburo en forma separada, el remolque de la barrera lejos del fuego y la quema del hidrocarburo. Este fuego impide que el fuego se extienda a la fuente de 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. El uso de una barrera remolcada para proteger instalaciones turísticas de una fuente de hidrocarburo que se está quemando se muestra en la Figura 24.

La Figura 25 muestra el uso de una barrera anclada para quemar el hidrocarburo. Esta táctica no presenta riesgos para las embarcaciones ni 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 26 muestra el uso de barreras de desvío ancladas para desviar el hidrocarburo de las instalaciones turísticas o hacia las áreas de quema. La Figura 27 muestra la quema de hidrocarburo contra la ribera.



Esto solo puede realizarse si no hay material combustible como árboles y edificios en la costa. Además, puede quedar residuo de hidrocarburo altamente adhesivo en la ribera, lo cual puede dificultar la eliminación.

El hidrocarburo puede ser contenido en aguas poco profundas utilizando una barrera de acero provisoria, como se indica en la Figura 28, se describe en la Sección 4.2.4 y se muestra en la Figura 6 (d) y (e). 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 queme 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 29 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.



Tabla 8 - 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 bastante lejos de la fuente sin rastro que lleve a la fuente</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 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 arrastrar 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.</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>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</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 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 arrastrar 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: Una gran mancha de hidrocarburo 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 anti-emulsificante 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 llegan 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.</p> <p>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 arrastrar 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 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. 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 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 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 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 arrastrar 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 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.</p> <p>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.</p> <p>Debe haber a disposición aeronaves con espuma para apagar fuego o bombas de agua.</p> <p>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.</p> <p>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 salinas	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 emulsión 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 anti-emulsificante 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</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 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.</p> <p>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.</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. 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>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 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 arrastrar 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>



Tabla 9 - Tácticas para enfrentar diversas situaciones relacionadas con los hidrocarburos
(Fingas, M. y M. Punt, 2000)

<i>Figura Número</i>	<i>Táctica</i>	<i>Aplicación</i>
20	Barrera remolcada – quema en remolque	Fuente que se está quemando
		Separación de la fuente y el hidrocarburo
		Fuente separada
21	Barrera remolcada – recolección y quema	Fuente que no se quema
		Hidrocarburo cerca de áreas habitadas o sensibles
22	Barrera remolcada – fuente separada	Fuente que no se quema
23	Barrera usada para separar la fuente o proteger instalaciones turísticas	General
24	Barrera anclada	Río, estuarios o aguas poco profundas
		Hidrocarburo sobre la superficie o reventón
25	Barrera de desvío	Hidrocarburo desviado de las instalaciones turísticas
		Hidrocarburo desviado hacia el área de la quema
26	Quema contra la ribera	Ribera lejana sin peligros
27	Barrera temporal de acero	Hidrocarburo puede ser contenido en aguas poco profundas
28	Quema no contenida	Hidrocarburo suficientemente espeso para ser quemado



Figura 21 - Uso de la barrera remolcada para la quema directa de hidrocarburo

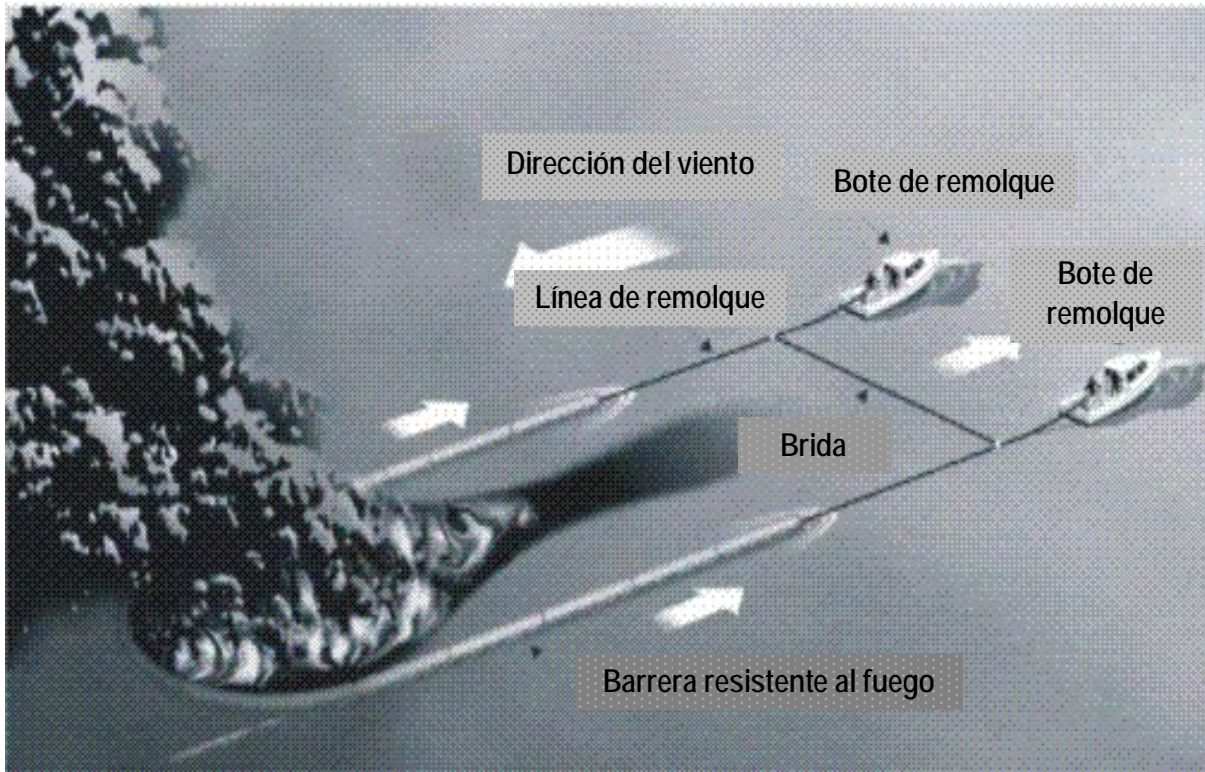


Figura 22 - Uso de la barrera remolcada para juntar y quemar el hidrocarburo

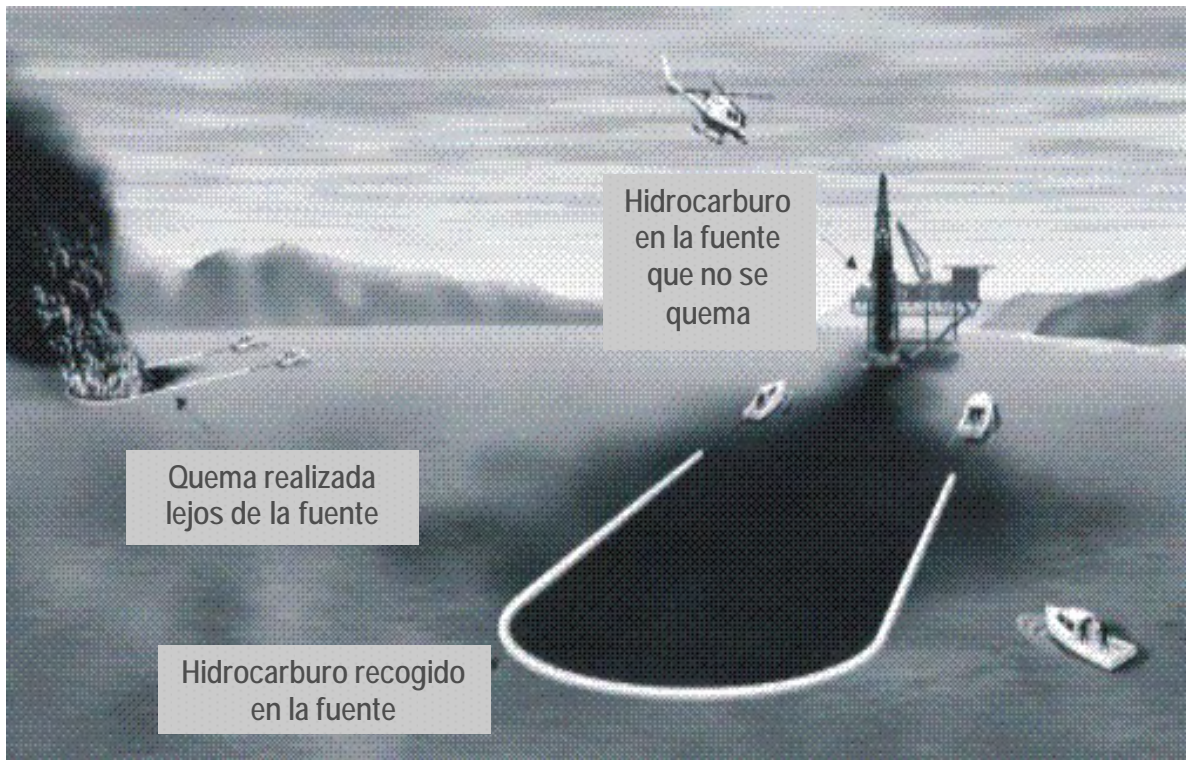




Figura 23 - Uso de la barrera remolcada para quemar y separar a la fuente del fuego



Figura 24 - Uso de barreras resistentes al fuego para proteger instalaciones turísticas

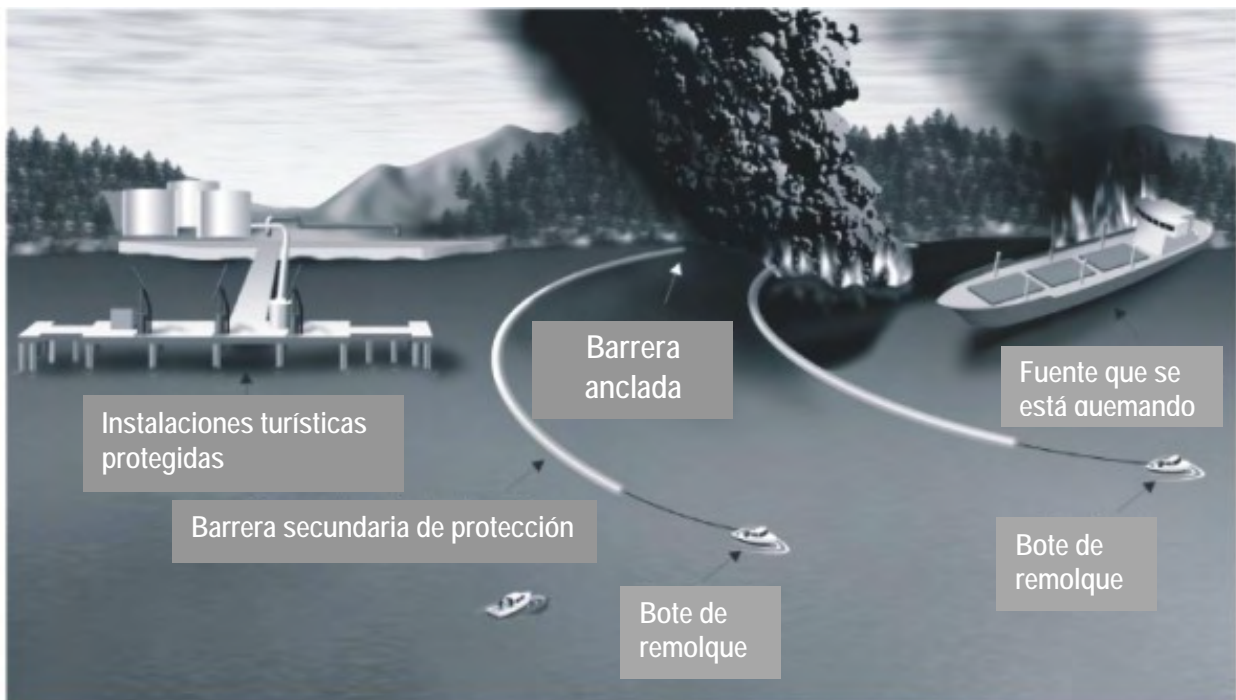




Figura 25 – Barrera anclada

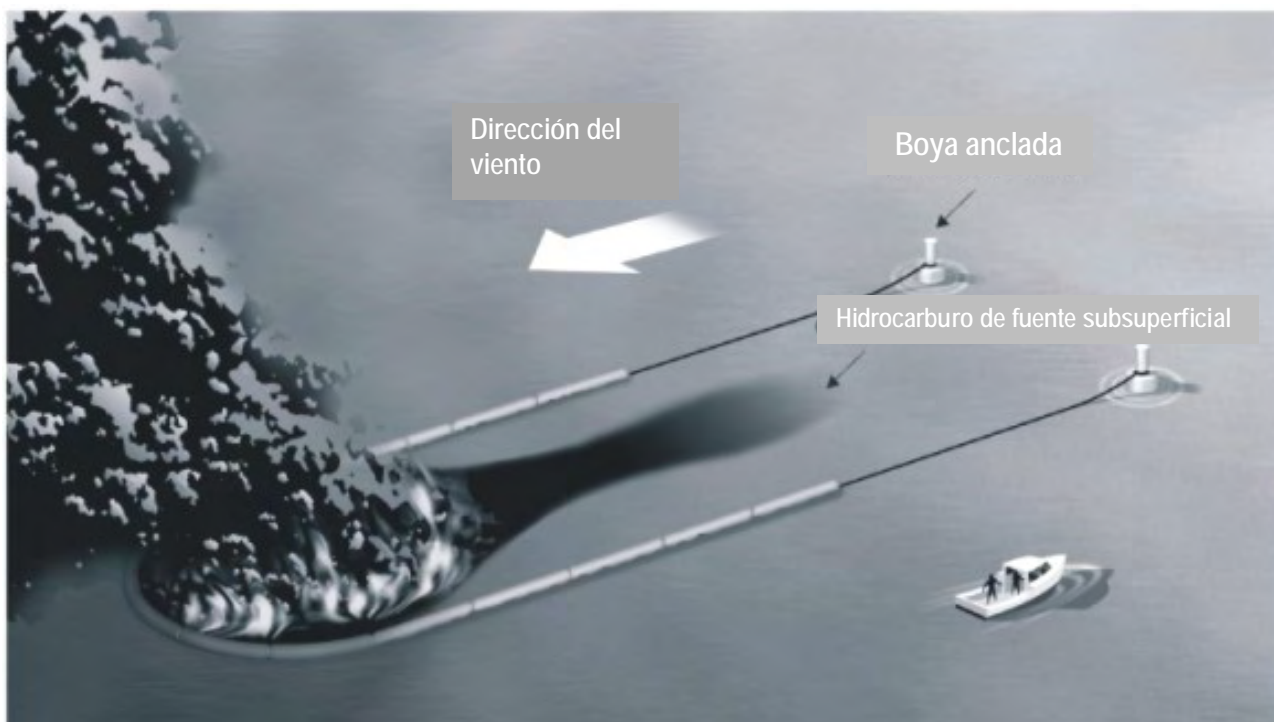


Figura 26 – Barrera de desvío

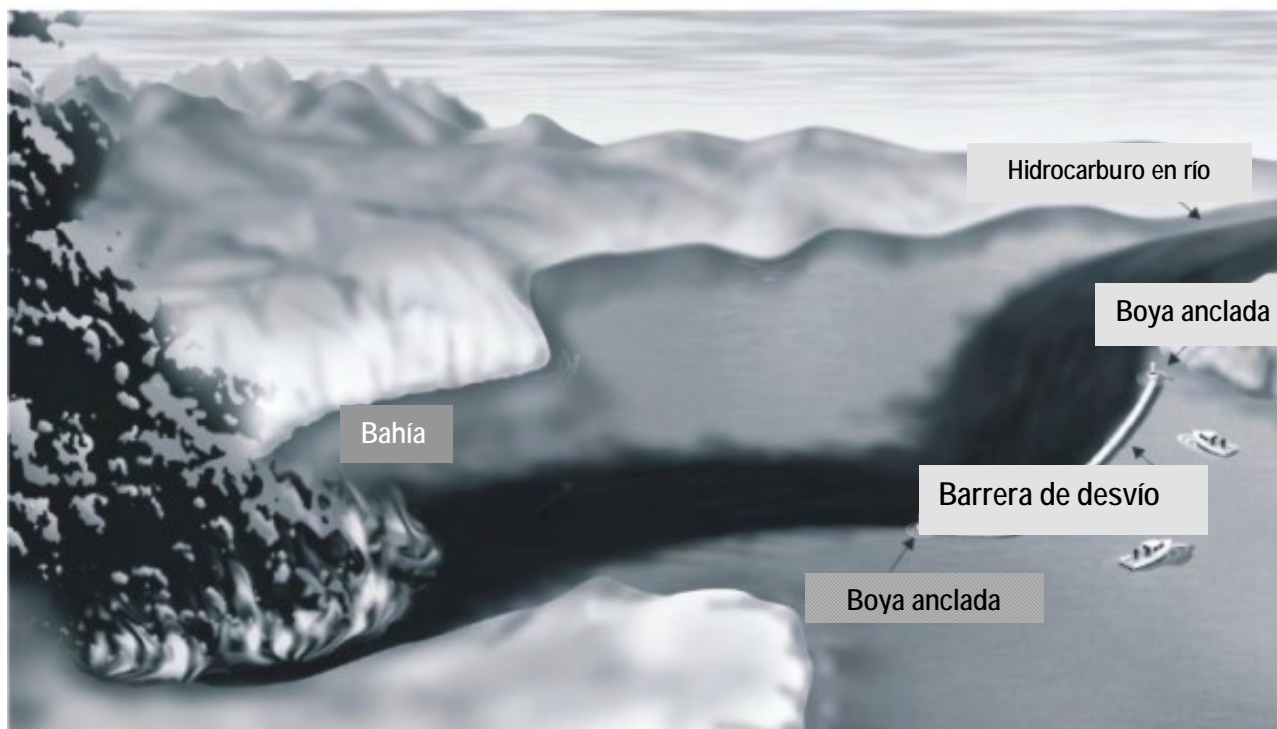




Figura 27 - Uso de barrera temporal de acero



Figura 28 - Quema no contenida





6. Actividades posteriores a la quema

6.1. 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 monitoreo 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 particulado, HPA 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.

6.2. 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: (ASTM, 1997):

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

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 velocidad 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, una mancha de hidrocarburo se quema a una velocidad de 3 a 4 mm/min, con un promedio de 3,75 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. Como se indicó en secciones anteriores, 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 quemas típicas en piletas.

6.3. Tasa de la quema

Por lo general se acepta que una mancha de crudo se quema a una velocidad de reducción del espesor de la mancha de 3 a 4 mm/min, con un promedio de 3,75 mm/min (ASTM, 2002 and Environment Canada, 1993). Esta velocidad 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 velocidad desciende a aproximadamente 1 mm/min (Twardus, 1980). Al igual que la eficacia de la quema, la tasa de la quema es casi independiente de las condiciones físicas y las propiedades del hidrocarburo, a excepción de las condiciones de los hidrocarburos pesados que se indicaron precedentemente. Sin embargo, la emulsificación del hidrocarburo puede reducir la tasa de la quema, porque el agua en el hidrocarburo aumenta la cantidad de calor requerido para la quema y, por lo tanto, reduce la tasa de propagación de la quema.

La Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los Estados Unidos (NOAA) ha desarrollado un "calculador de quema in situ" que calcula la tasa de quema y la producción de hollín en base a la información ingresada sobre el derrame. Este se encuentra disponible a través de un enlace del sitio web <http://response.restoration.noaa.gov/index.html>.



7. Precauciones de salud y seguridad durante la quema

7.1. 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 apropiados para la quema in situ, gran parte de la información requerida puede obtenerse de las asociaciones de combate al fuego.

7.1.1. Impedir el encendido y los fuegos secundarios no deseados

Una vez que comienza la operación de quema, el proceso debe monitorearse 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.

Medidas de Seguridad

- Se sugiere realizar la vigilancia de la quema desde una embarcación más grande y desde una aeronave para determinar la dirección del viento precisa, el espesor relativo de la mancha, el área de la quema del hidrocarburo y posibles situaciones de peligro.
- Las llamas se propagan de dos maneras: en la superficie y a través de la nube de vapor en el caso de un líquido volátil, lo que se denomina **retorno de la llama de vapor (vapor flashback)**. Las llamas se propagan mucho más rápido a través de los vapores que sobre la superficie.
- Las llamas se propagan en la superficie a una velocidad de aproximadamente 0,2 m/s (0,4 nudos), lo cual es menos que la velocidad habitual de remolque de la barrera de 0,2 a 0,4 m/s (0,4 a 0,8 nudos). Si la barrera es remolcada a esta velocidad y hacia el viento, es probable que las llamas no se propaguen hacia las embarcaciones de remolque. Sin embargo, es necesario tener cuidado, porque los vientos pueden cambiar de dirección.
- La quema **no** debe realizarse si los botes de remolque se encuentran en un área que contiene hidrocarburos pesados o pueden pasar por ella.
- Los combustibles volátiles como la gasolina producen suficientes vapores como para permitir que las llamas se propaguen tan rápido como 100 m/s (200 nudos). Esos combustibles no deben quemarse si el retorno de la llama de vapor presenta una amenaza para las personas, la fauna, el ambiente o la infraestructura humana.
- Las manchas encendidas pueden extinguirse liberando un extremo del remolque de la barrera, aumentando la velocidad de remolque de la barrera a velocidades superiores a la velocidad de contención (0,4 m/s o 0,8 nudos), o utilizando espumas contra incendios.



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, arrastre debajo de la barrera o pérdida sobre la parte superior de 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. 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. Otro método sugerido es disminuir la velocidad del remolque, reduciendo de ese modo la velocidad del encuentro (ASTM, 1997).

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.

7.1.2. Manejo de barreras

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 gafas.

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.

7.1.3. Seguridad de la operación de encendido

Los siguientes son algunos temas generales de seguridad relacionados con los dispositivos de encendido (ASTM, 1999a).



- 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 descritas en la Sección 7.1.3.1.
- Los dispositivos desplegados desde helicópteros no deberían requerir el uso de llamas abiertas o chispas dentro de la aeronave.

7.1.3.1. Seguridad de la helitorcha

Dado que los aspectos de seguridad relacionados con la disposición y el despliegue de la helitorcha son multifacéticos, es de suma importancia llevar a cabo una coordinación estricta entre las diversas personas que participan en la operación. Las tareas de cada persona del equipo de operación de la helitorcha se describen en el Apéndice C. Hay temas de seguridad relacionados con las operaciones de helitorcha, las operaciones a bordo del buque (si el combustible se almacena a bordo y/o la helitorcha se está desplegando desde un buque), y el almacenamiento, la mezcla, el transporte y la carga de líquidos inflamables.

Las personas que no estén debidamente entrenadas no deben participar bajo ninguna circunstancia en la operación de helitorcha. En particular, los responsables de la preparación, el despliegue y el encendido de la helitorcha deben estar debidamente entrenados en la seguridad del helicóptero y los procedimientos de puesta a tierra al transferir el combustible.

También deben ser conscientes de la volatilidad de las mezclas de combustible utilizadas y comprender que pueden ocurrir cargas estáticas al cargar combustible y mover el equipo (OMNR, 1990).

Seguridad de la helitorcha

- La helitorcha debe ser utilizada solo por operadores entrenados.
- Deben disponerse equipos y suministros en el helipuerto ante una orden determinada.
- Se necesita un equipo de seguridad contra incendios de tres personas para extinguir cualquier fuego de la antorcha no deseado.
- Cuando se encuentra en tránsito hacia el sitio de un derrame, la helitorcha debe transportarse a una velocidad no superior a 25 m/s (50 nudos).
- El piloto debe acercarse al sitio de la quema y realizar el encendido contra el viento o en forma lateral al viento.
- La mejor forma de desplegar la helitorcha es a aproximadamente 15 m de alto y a una velocidad de avance muy lenta.



La helitorcha es encendida por el piloto del helicóptero. La puerta del helicóptero del lado del piloto puede quitarse para permitirle al piloto una visualización clara de la helitorcha. El interruptor de control de la helitorcha (interruptor de palanca) debe montarse directamente en la palanca de paso cíclico en un punto en que el piloto pueda operarlo con comodidad.

La aneji3n del marco de la helitorcha al helic3ptero es crucial desde el punto de vista de la seguridad. El dispositivo debe permanecer estable al ser transportado desde el gancho de carga del helic3ptero, pero tambi3n debe separarse r3pidamente si es necesario descargarlo en caso de emergencia.

Si la helitorcha es desplegada desde una embarcaci3n donde el espacio para maniobrar un helic3ptero es limitado, deben tomarse las siguientes precauciones:

1. Cuando la helitorcha est3 pronta para levantarla y el helipuerto est3 libre de equipos, el supervisor de la helitorcha se comunica por radio con el piloto y le solicita que se ponga en posici3n y recoja la antorcha.
2. Cuando el helic3ptero regresa para reaprovisionarse de combustible, sobrevuela sobre el helipuerto de modo tal que sea posible desconectar la helitorcha. Despu3s, el helic3ptero se aleja de la embarcaci3n y se mantiene sin avanzar. Al helic3ptero no se le permite aterrizar hasta que la helitorcha y el resto del equipo y cualquier obstrucci3n sean quitados del helipuerto.

Un equipo de seguridad contra incendios integrado por tres personas, as3 como un extinguidor dedicado de incendios de 68 kg, deben estar disponibles a bordo de la embarcaci3n en todo momento. En las 3reas de mezcla y de carga debe haber dos extinguidores de incendios de qu3micos secos de 9 kg para la extinci3n de incendios de combustible, un equipo de primeros auxilios para quemaduras y un equipo de limpieza de derrames para cualquier derrame de combustible. El personal debe llevar vestimenta de protecci3n contra el fuego, gafas, una m3scara contra el polvo y guantes para mezclar y dispensar el combustible gelificado y probar el sistema.

La helitorcha debe mantenerse en buenas condiciones de funcionamiento en todo momento. La v3lvula que impide que el combustible salga de la antorcha antes de que el piloto haya liberado el interruptor de palanca puede obstruirse por polvo o arenilla y quedar parcialmente abierta. Por lo tanto, hay que verificar y limpiar la v3lvula de ser necesario antes de cada vuelo. Como precauci3n adicional, se recomienda adem3s limpiar cuidadosamente la v3lvula cada tres o cuatro reabastecimiento de la helitorcha y reemplazar el anillo en O de la v3lvula en cuanto muestre alguna se3al de deterioro. Por lo general, todas las partes del equipamiento de la helitorcha deben limpiarse en forma regular, y cualquier pieza defectuosa debe reemplazarse ante la primera se3al de desgaste o cualquier otro problema. Siempre debe haber repuestos para la antorcha disponibles en el sitio de la quema.

Todo el personal que participa en la operaci3n de la helitorcha debe ser consciente tambi3n de los peligros de la manipulaci3n de combustibles gelificados altamente inflamables. Durante la mezcla de los combustibles, cuando se anejan los barriles de combustible al sistema de la antorcha y cuando la antorcha se anexa al helic3ptero deben utilizarse procedimientos de puesta a tierra apropiados.



Cabe destacar además que el helicóptero atrae estática al volar por el aire. Por lo tanto, el helicóptero también debe ponerse a tierra en cuanto aterriza, antes de desconectar la antorcha del gancho de carga.

Los barriles de la helitorcha deben llenarse utilizando una bomba que no haga chispas en un área bien ventilada para disipar los humos. Si la mezcla se realiza en forma manual, debe utilizarse una paleta de madera o aluminio para impedir la formación de chispas. Deben seguirse los procedimientos de puesta a tierra apropiados en el área de mezclado, como se indica en la Figura 29.

Antes de desplegar la helitorcha deben tenerse en cuenta las corrientes de agua y las condiciones del viento para determinar el lugar más seguro para el encendido. También debe realizarse en este momento una prueba de pre-vuelo para probar el gancho de carga, la bomba de combustible, la descarga de propano, los encendedores y el interruptor de palanca conectado a la palanca de paso cíclico del piloto.

Antes de encender la mancha debe elegirse un lugar predeterminado para realizar un vertido de prueba de una pequeña cantidad de combustible en gel encendido. Debe verificarse nuevamente la dirección del viento y la corriente para asegurarse de que el combustible gelificado encendido no se dirija a ninguna de las embarcaciones que están operando. Si esta prueba indica que el combustible gelificado se está encendiendo y descendiendo en forma adecuada, el piloto posiciona el helicóptero sobre el lugar deseado, enciende la antorcha lentamente y abandona el área. Si está encendiendo el combustible con un punto de inflamación, es posible que el piloto deba dar vueltas sobre el área de la quema y lanzar múltiples bolas de combustible quemándose para concentrar el fuego en un solo lugar.

Una vez finalizada la sesión de encendido, el piloto desengancha el interruptor de circuito de la helitorcha para aislar el interruptor de palanca, de modo tal que no se vierta en forma accidental combustible en gel encendido. Después, el helicóptero regresa al sitio de despliegue de la helitorcha en tierra o en la embarcación. Cuando el helicóptero aterriza, el personal de recuperación debe estabilizar y asegurar la helitorcha antes de que el piloto del helicóptero desconecte el gancho de carga. Esto es especialmente importante cuando el barril de combustible gelificado está vacío, porque el sistema de la antorcha puede ser expulsado fácilmente del helipuerto por la corriente descendente de los rotores del helicóptero.

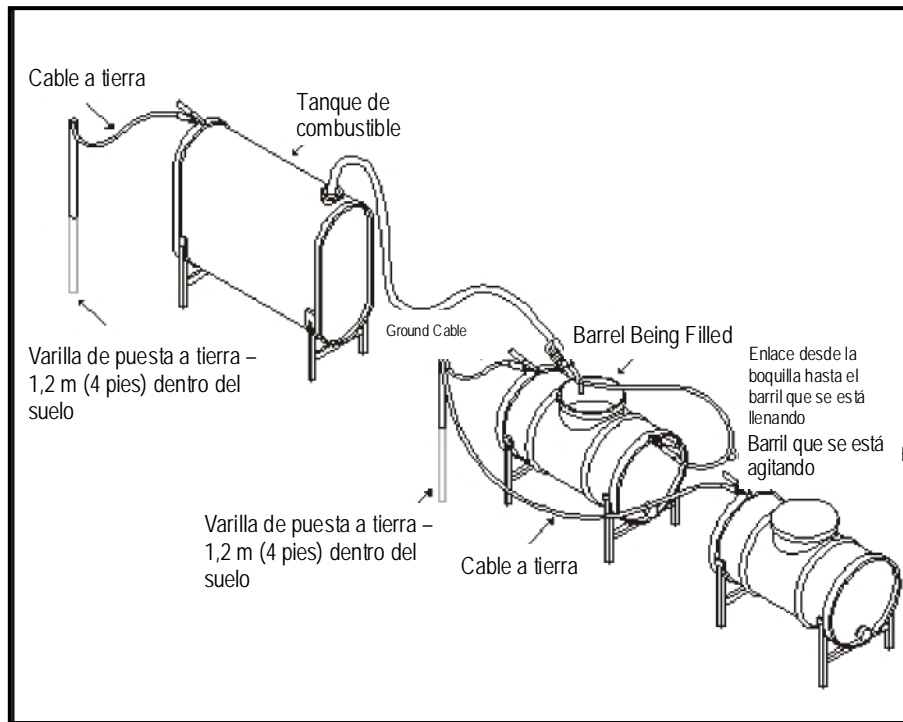
7.1.4. Exposición del personal a las operaciones de quema

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.

Figura 29 – Procedimientos de puesta a tierra y enlace para mezclar el combustible de la helitorcha
(Adaptado de OMNR, 1990)



El personal que trabaja fuera de la quema puede verse expuesto a altas concentraciones de material particulado, HPA y/o COV si el viento cambia y sopla en dirección a ellos. Por este motivo, las embarcaciones operativas no deben operar por debajo de las posiciones de la embarcación de remolque.

El personal de la helitorcha no se ve expuesto directamente a los peligros de las operaciones de quema, más allá de quedar expuesto a pequeñas cantidades de vapores del combustible utilizado para la gelificación. De ser necesario, pueden utilizarse respiradores para minimizar esta exposición. El operador de la helitorcha en el helicóptero no está físicamente expuesto a ningún peligro, aparte de aquellos normalmente asociados al vuelo.

Cuando se manipulan barreras y otros equipos, debe llevarse el equipo de protección personal apropiado. Esto incluye botas, cascos, gafas, guantes de neopreno, chalecos salvavidas, trajes resistentes a productos químicos y para condiciones climáticas adversas.



7.1.5. Requisitos de salud y seguridad

Es necesario tener extremo cuidado al quemar hidrocarburos en agua, debido al calor, los gases de combustión, el hollín y las llamas abiertas. La quema debe realizarse en forma controlada y segura, cumpliendo con las leyes y normas provinciales, estatales y federales para proteger la salud y seguridad de los trabajadores.

En los Estados Unidos, la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA, por su sigla en inglés) regula las operaciones de protección de los trabajadores (29 CFR 1910.120), es decir, control de los límites de exposición y exigencia de una evaluación de peligros para una respuesta de emergencia específica. Se requiere un curso de capacitación en operaciones con residuos peligrosos y respuesta de emergencia de 40 horas o su equivalente.

7.1.6. Capacitación para el quemado in situ

Todo el personal que participa en una quema en los Estados Unidos debe completar el curso de 40 horas de capacitación en materiales peligrosos de la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), y el personal de quema de otro país debe realizar un curso equivalente en el país correspondiente. El personal que participa en una quema debe estar familiarizado con la tecnología y los procedimientos mencionados en el presente informe.

Se recomienda que el personal con experiencia en operaciones con barrera asista por lo menos a un curso de un día sobre el uso de barreras para la quema in situ y que se utilice otro día para practicar el remolque de barreras y la liberación del hidrocarburo de las barreras, como puede requerirse en una emergencia. El personal que no esté totalmente familiarizado con el despliegue y las operaciones con barreras debe capacitarse y practicar durante al menos una semana.

Capacitación

- Los operadores que se encuentran cerca del fuego deben tomar un curso de capacitación en materiales peligrosos de 40 horas y un curso especial sobre quema.
- Los operadores de la helitorcha requieren capacitación especial.
- Los operadores del remolque de la barrera deben practicar el remolque, la protección contra el fuego y la liberación de la barrera.

Todos los integrantes del equipo de operación de la helitorcha necesitan un adiestramiento extenso. Solo una persona con gran experiencia, como el supervisor de la helitorcha, debe brindar el adiestramiento. En general, los operadores y el personal de apoyo en tierra participan en un adiestramiento de tres días que incluye varias sesiones de práctica.

7.1.7. Seguridad de las embarcaciones.

El tamaño, la estructura y el equipo de navegación de todas las embarcaciones utilizadas para la quema in situ deben ser apropiados para el viento, el estado del mar, los requisitos de transporte y las condiciones de visibilidad previstas durante la operación de quema. Para las operaciones en mar abierto, las embarcaciones deben contar con un sistema de posicionamiento confiable, como GPS, compás o girocompás, radar, sonda de profundidad, radio HF, radio VHF y teléfono.



En cumplimiento de las normas pertinentes de cada país, cada embarcación deberá contar con los equipos de seguridad apropiados al tamaño y tipo de embarcación, y al tipo de operación que se está realizando. Esto incluye botes salvavidas, balsas salvavidas, flotadores en forma de anillo, equipo de combate de incendios, chalecos salvavidas, trajes de supervivencia y luces de navegación.

Toda embarcación autorizada en el área pertinente debe contar con un certificado de inspección válido de la Guardia Costera. Se recomienda que un inspector de buques calificado o ingeniero naval realice un estudio antes de acreditar a una embarcación.

7.1.8. Seguridad de las aeronaves

Todas las operaciones de vuelo deben realizarse de acuerdo con las normas de vuelo federales. Todos los aviones relacionados con la quema in situ deben elegirse con cuidado para que sean adecuados para las tareas requeridas. Los planes de vuelo deben ser bien pensados para tomar en cuenta el viento, la visibilidad, los tipos y la altura de las nubes, cualquier presencia prevista de niebla, las precipitaciones, el estado del mar y cualquier otra condición climática pertinente.

Para las operaciones de helitorcha, el helicóptero debe tener suficiente capacidad como para transportar a un piloto, un copiloto y una helitorcha llena de combustible, y debe estar equipado con un gancho de carga para tirar de la helitorcha y descargarla. El piloto debe probar el mecanismo de descarga antes de cada operación. Por razones de seguridad, se recomienda el uso de helicópteros bimotores, en particular para las operaciones cerca de la costa. Estos helicópteros son más potentes que los que tienen un solo motor y, por lo tanto, pueden ganar altura con mayor rapidez. Si se utiliza un helicóptero monomotor, este debe estar equipado con flotadores para permitir el aterrizaje de emergencia. El helicóptero debe cumplir con las normas correspondientes a mantenimiento de helicópteros y a la operación que se está realizando.

Durante la operación de helitorcha solo deben estar en el helicóptero el piloto y el copiloto u otra persona de ser necesario para la activación del encendido. Todas las personas en el helicóptero deben llevar traje de supervivencia. Durante las operaciones cerca de la costa deben tenerse en cuenta los vientos de corriente ascendente y descendente contra los acantilados. Deben identificarse lugares para el aterrizaje de emergencia del helicóptero en forma anticipada durante el reconocimiento del sitio, para el caso de dificultad mecánica.

Se necesitan helicópteros capaces de transportar una helitorcha. Sin embargo, al disponer los servicios de helicópteros, se recomienda confirmar con el piloto y/u operador del helicóptero la capacidad de rendimiento de la aeronave y su aptitud para el uso previsto.

7.2. 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 Sección 3.4.3.1 para calcular las distancias mínimas seguras de la quema y monitoreando los niveles de partículas utilizando los métodos descritos en la Sección 4.6.



Es importante observar 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 monitoreo 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 monitoreará 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 monitoreado 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.

7.3. 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, calculadas como se indica en la Sección 3.4.3.1, 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 es reemplazar el monitoreo, constituyen una importante herramienta para evaluar el impacto del humo, tanto antes como después de la quema.

El modelo de humo ALOFT (A Large Outdoor Fire Plume Trajectory) fue creado por el Instituto Nacional de Normas y Tecnología para el Servicio de Gestión de Minerales de los Estados Unidos (McGratten, 1999). Está diseñado para ser utilizado en una PC, por lo que puede utilizarse como herramienta inmediata para predecir las zonas de seguridad. El modelo ha sido utilizado para preparar tablas de predicciones de distancias seguras para fuegos típicos. En la actualidad incorpora también los efectos de la irregularidad del terreno.

La Tabla 10 muestra las distancias de la zona de peligro para un fuego que consume 0,044 m³/s. La profundidad de la capa de mezclado mostrada en la tabla se refiere a la profundidad de la mezcla atmosférica o la capa atmosférica límite. También puede considerarse como la altura de las nubes.



Tabla 10 - Distancias de zona de peligro calculadas utilizando el modelo ALOFT (distancias en km)

Altura del terreno (m)	Profundidad de la capa de mezcla atmosférica (m)				
	0 a 100	100 a 250	250 a 500	500 a 1000	>1000
0 a 25 (terreno plano)	5	4	3	2	1
25 a 250	10	8	6	4	3
250 a 500	15	12	10	8	5
> 500	20	17	15	12	10

La Administración Oceánica y Atmosférica Nacional de los Estados Unidos (NOAA) tiene disponible una "herramienta de derrames" que ofrece una serie de elementos de ayuda para calcular la quema de un derrame de hidrocarburo. Además de calcular cuánta barrera se necesita y los tiempos de quema, estima la altura del penacho, etc. Esta herramienta puede obtenerse en línea en <http://response.restoration.noaa.gov/oilands/spilltool/>.

En la Sección 3.4.4 se describen los procedimientos para el uso de datos históricos de emisiones para calcular distancias seguras. Estos procedimientos han sido utilizados para calcular distancias seguras como se muestra en la Tabla 11. Estas distancias se calculan sobre la base de vientos de aproximadamente 5 m/s (10 nudos) y una estabilidad atmosférica D, prevalente durante los tiempos en que se realizaron los experimentos.

Tabla 11 - Distancias seguras calculadas de datos históricos de emisiones
(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Área de quema (m ²)	Distancias seguras	
	Petróleo crudo (kilómetros)	Combustible diesel (kilómetros)
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

Es importante reconocer las limitaciones de cada tipo de estimación de zona de peligro. Las diferentes condiciones climáticas pueden cambiar muchísimo las concentraciones de partículas. En muchos casos, el penacho desciende a nivel de tierra. Debe consultarse a las autoridades de meteorología para determinar los posibles cambios de viento, las inversiones atmosféricas y otros factores que pueden cambiar la trayectoria y el impacto del penacho.



8. Referencias

- ADIOS 2, Automated Data Inquiry for Oil Spills, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, 2004. <http://response.restoration.noaa.gov>
- Allen, A.A., "Alaska Clean Seas Survey and Analysis of Air Deployable Igniters", *Proceedings of the Ninth Annual Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, pp. 353-373, 1986.
- Allen, A.A., "Contained Controlled Burning of Spilled Oil during the Exxon Valdez Oil Spill", *Spill Technology Newsletter*, Vol.15 (2), 1990.
- Allen, A.A., *In-situ Burning Manual, An Economical Solution for Oil Spill Control*, American Marine Inc., Cocoa Beach, FL, 1994.
- Alyeska Pipeline Service Company, "Supplemental Information Document #1, Section 8 - Burning", *Addendum to the Prince William Sound Contingency Plan*, Alyeska Pipeline Service Company, Anchorage, AK, 1998.
- Arai, M., K. Saito, and R.A. Altenkirch, "Flame Propagation Over a Layer of Crude Oil Floating on Water", *International Chemical Engineering*, Vol. 33, No.1, pp. 129-135, 1993.
- 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, Philadelphia, 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, Philadelphia, PA, June, 1999a.
- 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, Philadelphia, PA, June, 1999b.
- Bech, C., P. Sveum, and I. Buist, "In-situ Burning of Emulsions: The Effects of Varying Water Content and Degree of Evaporation", in *Proceedings of the Fifteenth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 547-559, 1992.
- Bitting, K.B. and Coyne, P.M., "Oil Containment Tests of Fire Booms", in *Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 735-754, 1997.
- Booher, L.E. and B. Janke, "Air Emissions from Petroleum Hydrocarbon Fires during Controlled Burning", *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 58, pp. 359-365, 1997.
- Bryner, N.P., W.D. Walton, L.A. DeLaughter, W. Twilley, I. Mendelsson, Q. Lin, and J.V. Mullin, "In-situ Burning in the Marshland Environment - Soil Temperatures", *Proceedings of the Twenty-third Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 823-846, 2000.
- Bryner, N.P., W.D. Walton, W. Twilley, I. Mendelsson, Q. Lin, and J.V. Mullin, "In-situ Burning in the Marshland Environment - Soil Temperatures Resulting from Crude and Diesel Fuel Burns", *Proceedings of the Twenty-fourth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 729-754, 2001.
- Buist, I.A., W.M. Pistruzak, S.G. Potter, N. Vanderkooy, and I.R. McAllister, "The Development and Testing of a Fireproof Boom", *Proceedings of the Sixth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, 1983.
- 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, and A.B. Nordvik, "The Science, Technology and Effects of Controlled Burning of Oil Spills at Sea", MSRC Technical Report Number 94-013, 1994.
- Buist, I.A., N. Glover, B. McKenzie, and R. Ranger, "In-situ Burning of Alaska North Slope Emulsions", in *Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, DC, pp. 139-146, 1995.



- Coupal, B., "Use of Peat Moss in Controlled Combustion Techniques", Environment Canada, EPS Report 4-EE-72-1, Ottawa, ON, 39 p., 1972.
- Daykin, M.M., P.A. Kennedy, and A. Tang, "Aquatic Toxicity from In-situ Oil Burning - Newfoundland Offshore Burn Experiment (NOBE)", Emergencies Science Division, Environmental Technology Centre, Environment Canada, Ottawa, ON, 62 p., 1995.
- DeVitis, D., S. Cunneff, and J. Nash, "Test and Evaluation of Six Fire Resistant Booms at Ohmsett", U.S. Department of Transportation, U.S. Coast Guard Research and Development Center, Groton, CT, 1997.
- Elam, S.K., I. Tokura, K. Saito, and R.A. Altenkirck, "Thermal Conductivity of Crude Oils", *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 2, pp. 1-6, 1989.
- Energetex Engineering, "Arctic Field Trials of the DREV/AMOP Incendiary Devices", Environment Canada, Environmental Protection Service, Manuscript Report EE-17, Ottawa, ON, 25 p., 1981.
- Energetex Engineering, "Environmental Testing of Dome Air-Deployable Ignitor", Dome Petroleum Ltd., Calgary, AB, 18 p., 1982.
- Environment Canada, "NOBE - Newfoundland Offshore Burn Experiment", Ottawa, ON, June, 1993.
- Environment Canada, "Compilation of Physical and Emissions Data, Newfoundland Offshore Burn Experiment (NOBE) Report", Emergencies Science Division, Environmental Technology Centre, Ottawa, ON, 1997.
- Evans, D.D., G.W. Mulholland, D. Gross, H. Baum, and K. Saito, "Burning, Smoke Production and Smoke Dispersion from Oil Spill Combustion", in *Proceedings of the Eleventh Arctic Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 41-87, 1988.
- Evans, D.A., W. Walton, H. Baum, R. Lawson, R. Rehm, R. Harris, A. Ghoniem, and J. Holland, "Measurement of Large Scale Oil Spill Burns", in *Proceedings of the Thirteenth Arctic Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1-38, 1990.
- Evans, D.D., G.W. Mulholland, J.R. Lawson, E.J. Tennyson, P.A. Tebeau, M.F. Fingas, and J.R. Gould, "Burning of Oil Spills", *Proceedings of the 1991 Oilspill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, DC, 1991.
- Evans, D.D., "In Situ Burning of Oil Spills: Smoke Production and Plume Behavior", in *Proceedings of the In Situ Burning Oil Spill Workshop*, N.H. Jason (ed.), National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 867, Gaithersburg, MD, pp. 29-37, 1994.
- Fingas, M.F., *The Basics of Oil Spill Cleanup*, Second Edition, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 2000.
- Fingas, M.F. and B. Fieldhouse, "Studies of Water-in-Oil Emulsions and Techniques to Measure Emulsion Treating Agents", in *Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp 213-244, 1994.
- Fingas, M.F. and B. Fieldhouse, "Modelling of Water-in-Oil Emulsions", in *Proceedings of the Twenty-seventh Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 335-350, 2004.
- 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.
- Fingas, M.F., K. Li, F. Ackerman, P.R. Campagna, R.D. Turpin, S.J. Getty, M.F. Soleki, M.J. Trespalacios, J. Paré, M.C. Bissonnette, and E.J. Tennyson, "Emissions from Mesoscale In-situ Oil Fires: The Mobile 1991 and 1992 Tests", in *Proceedings of the Sixteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 749-821, 1993.



- Fingas, M.F., F. Ackerman, K. Li, P. Lambert, Z. Wang, M.C. Bissonnette, P.R. Campagna, P. Boileau, N. Laroche, P. Jokuty, R. Nelson, R.D. Turpin, M.J. Trespalacios, G. Halley, J. Bélanger, J.R.J. Paré, N. Vanderkooy, E.J. Tennyson, D. Aurand, and R. Hiltabrand, "The Newfoundland Offshore Burn Experiment - NOBE - Preliminary Results of Emissions Measurement", in *Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1099-1164, 1994a.
- Fingas, M.F., G. Halley, F. Ackerman, N. Vanderkooy, R. Nelson, M.C. Bissonnette, N. Laroche, P. Lambert, P. Jokuty, K. Li, W. Halley, G. Warbanski, P.R. Campagna, R.D. Turpin, M.J. Trespalacios, D. Dickins, E.J. Tennyson, D. Aurand, and R. Hiltabrand, "The Newfoundland Offshore Burn Experiment - NOBE Experimental Design and Overview", in *Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1053-1061, 1994b.
- Fingas, M.F., G. Halley, F. Ackerman, R. Nelson, M.C. Bissonnette, N. Laroche, Z. Wang, P. Lambert, K. Li, P. Jokuty, G. Sergy, W. Halley, J. Latour, R. Galarneau, B. Ryan, P.R. Campagna, R.D. Turpin, E.J. Tennyson, J. Mullin, L. Hannon, D. Aurand, and R. Hiltabrand, "The Newfoundland Offshore Burn Experiment", in *Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, DC, pp. 123-132, 1995a.
- Fingas, M.F., F. Ackerman, P. Lambert, K. Li, Z. Wang, J. Mullin, L. Hannon, D. Wang, A. Steenkammer, R. Hiltabrand, R.D. Turpin, and P.R. Campagna, "The Newfoundland Offshore Burn Experiment: Further Results of Emissions Measurement", in *Proceedings of the Eighteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 915-995, 1995b.
- Fingas, M.F., B. Fieldhouse, L. Gamble, and J. Mullin, "Studies of Water-in-Oil Emulsions: Stability Classes and Measurement", in *Proceedings of the Eighteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON pp. 21-42, 1995c.
- Fingas, M.F., F. Ackerman, P. Lambert, K. Li, Z. Wang, R. Nelson, M. Goldthorp, J. Mullin, L. Hannon, D. Wang, A. Steenkammer, S. Schuetz, R.D. Turpin, P.R. Campagna, and R. Hiltabrand, "Emissions from Mesoscale In-Situ Oil (Diesel) Fires: The Mobile 1994 Experiments", in *Proceedings of the Nineteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 907-978, 1996a.
- Fingas, M.F., K. Li, F. Ackerman, Z. Wang, P. Lambert, L. Gamble, M.J. Trespalacios, S. Schuetz,, R.D. Turpin, and P.R. Campagna, "Soot Production from In-Situ Oil Fires: Review of the Literature, Measurement and Estimation Techniques and Calculation of Values from Experimental Spills", in *Proceedings of the Nineteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 999-1032, 1996b.
- Fingas, M.F., K. Li, F. Ackerman, P.R. Campagna, R.D. Turpin, S.J. Getty, M.F. Soleki, M.J. Trespalacios, Z. Wang, J. Paré, M.C. Bissonnette, and E.J. Tennyson, "Emissions from Mesoscale In-Situ Oil Fires: The Mobile 1991 Experiments", *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 3, No. 3, pp. 123-137, 1996c.
- Fingas, M.F., K. Li, F. Ackerman, Z. Wang, P. Lambert, L. Gamble, M.J. Trespalacios, S. Schuetz,, R.D. Turpin, and P.R. Campagna, "Soot Production from In-Situ Oil Fires: Review of the Literature, Measurement and Estimation Techniques and Calculation of Values from Experimental Spills", in *Proceedings of the Nineteenth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 999-1032, 1996d.
- Fingas, M.F., B. Fieldhouse, and J. Mullin, "Studies of Water-in-Oil Emulsions: Stability Studies", in *Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1-20, 1997.



- Fingas, M.F., B. Fieldhouse, and J.V. Mullin, "Studies of Water-in-Oil Emulsions: Stability and Oil Properties", in *Proceedings of the Twenty-first Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1-25, 1998a.
- Fingas, M.F., P. Lambert, F. Ackerman, B. Fieldhouse, R. Nelson, M. Goldthorp, M. Punt, S. Whitticar, P.R. Campagna, D. Mickunas, R.D. Turpin, R. Nadeau, S. Schuetz, M. Morganti, and R.A. Hiltabrand, "Particulate and Carbon Dioxide Emissions from Diesel Fires: The Mobile 1997 Experiments", in *Proceedings of the Twenty-first Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 569-598, 1998b.
- Fingas, M.F., B. Fieldhouse, C.E. Brown, and L. Gamble, "In-Situ Burning of Heavy Oils and Orimulsion: Mid-Scale Burns", in *Proceedings of the Twenty-seventh Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 207-233, 2004.
- Fingas, M. and M. Punt, *In-situ Burning: A Cleanup Technique for Oil Spills on Water*, Emergencies Science Division, Environment Canada, Ottawa, ON, 214 p., 2000
- French McCay, D., N. Whittier, S. Sankaranarayanan, and D. Schmidt Etkin, "Modeling Fates and Impacts for Bio-Economic Analysis", in *Proceedings of the Twenty-fifth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 1051-1074, 2002.
- Frish, M., P. Nebolsine, M. DeFaccio, H. Scholaert, W. Kung, and J. Wong, "Laser Ignition of Arctic Oil Spills - Engineering Design", in *Proceedings of the Ninth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 203-221, 1986.
- Frish, M., V. Gauthier, J. Frank, and P. Nebolsine, "Laser Ignition of Oil Spills: Telescope Assembly and Testing", Environment Canada, Environmental Protection Service, Manuscript Report EE-113, Ottawa, ON, 23 p., 1989.
- Glassman, I. and J.G. Hansel, "Some Thoughts and Experiments on Liquid Fuel Spreading, Steady Burning and Ignitability in Quiescent Atmospheres", *Fire Research Abstracts and Reviews, Vol. 6 (3)*, pp. 217-334, 1968.
- Goodier, J.L. and R.J. Siclari, "Combustion: An Oil Spill Mitigation Tool Phase II: The Burning of the *MIT Burmah Agate* (Ex-Danaland)", U.S. Department of Energy Report DOE/TIC-11471, Washington, DC, 1981.
- Guénette, C.C. and J. Thornborough, "An Assessment of Two Off-Shore Igniter Concepts", in *Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 795-808, 1997.
- IPIECA, "Net Environmental Benefit Analysis", International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, London, UK, 1993.
- ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Ltd.), *Response to Marine Oil Spills*, Witherby & Co. Ltd., London, UK, 1987.
- Lambert, P., F. Ackerman, M. Fingas, M. Goldthorp, B. Fieldhouse, R. Nelson, M. Punt, S. Whitticar, S. Schuetz, A. Dubois, M. Morganti, K. Robbin, R. Magan, R. Pierson, R.D. Turpin, P.R. Campagna, D. Mickunas, R. Nadeau, and R.A. Hiltabrand, "Instrumentation and Techniques for Monitoring the Air Emissions during In-situ Oil/Fuel Burning Operations", in *Proceedings of the Twenty-first Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 529-567, 1998.
- Lavers, L., Newfoundland Department of Forestry, personal communication, 1997.
- Li, K., T. Caron, M. Landriault, J.R.J. Paré, and M. Fingas, "Measurement of Volatiles, Semi-volatiles and Heavy Metals in an Oil Burn Test", in *Proceedings of the Fifteenth Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 561-573, 1992.
- Marine Research Associates, *Technology Assessment and Concept Evaluation for Alternative Approaches to In-Situ Burning of Oil Spills in the Marine Environment*, Project Report for U.S. Minerals Management Service, Herndon, VA, 1998.



- Maybourn, R., "The Work of the IP Working Group on the Burning of Oil", *Journal of the Institute of Petroleum*, Vol. 57, pp. 12-16, 1971.
- McCourt, J., I. Buist, J. Mullin, B. Pratte, and W. Jamieson, "Continued Development of a Test for Fire Booms in Waves and Flames", in *Proceedings of the Twenty-first Arctic and Marine Oilspill Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 505-528, 1998.
- McCourt, J., I. Buist, W. Schmidt, D. Devitis, B. Urban, and J. Mullin, "OHMSETT's Propane-Fuelled Test System", in *Proceedings of the Twenty-second Arctic and Marine Oilspill Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 505-528, 1999.
- McGrattan, K.B., "Smoke Plume Trajectory Modeling", in *Proceedings of In-situ Burning of Oil Spills*, U.S. Minerals Management Service, Herndon, VA, pp. 75-83, 1999.
- McKenzie, B. "Report of the Operational Implications Working Panel", *In Situ Burning Oil Spill Workshop Proceedings*, N.H. Jason (ed.), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, pp. 11-20, 1994.
- McLeod, W.R. and D.L. McLeod, "Measures to Combat Offshore Arctic Oil Spills", in *Preprints of the 1972 Offshore Technology Conference*, pp. 141-162, 1972.
- Meikle, K.M., "An Effective Low-Cost Fireproof Boom", in *Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference*, 1983.
- Mitchell, J.B.A., "Smoke Reduction from Burning Crude Oil Using Ferrocene and its Derivatives", *Spill Technology Newsletter*, Vol. 15, pp. 11-19, 1990.
- Mitchell, J.B.A., "Smoke Reduction from Burning Crude Oil Using Ferrocene and its Derivatives", *Combustion and Flame*, Vol. 86, pp. 179-184, 1991.
- Mitchell, J.B.A., "Smoke Reduction from Pool Fires Using Ferrocene and Derivatives", in *Proceedings of the Fifteenth Arctic Marine Oilspill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 681-687, 1992.
- Mitchell, J.B.A., "Hydrocarbon Fire Technology Program: Technical Report", Esso Resources Canada Ltd., Calgary, AB, 87 p., August, 1993.
- Nelson, J., "Fractality of Soot Smoke: Implications for the Severity of Nuclear Winter", *Nature*, Vol. 339, pp. 611-613, 1989.
- Nordvik, A.B., J.L. Simmons, and T.J. Hudon, "At-Sea Testing of Fire Resistant Oil Containment Boom Designs", in *Proceedings of the Second International Oil Spill Research and Development Forum*, International Maritime Organization, London, UK, pp. 479-490, 1995.
- Office of the Federal Register, *Code of Federal Regulations*, "Protection of Environment", U.S. National Archives and Records Administration, Washington, DC, 1991.
- Ontario Ministry of Natural Resources (OMNR), "Ignition Devices - Helitorch", *Specialized Fire Equipment Manual*, March, 1990.
- Pilewskie, P. and F.P.J. Valero, "Radiative Effects of the Smoke Clouds from the Kuwait Oil Fires", *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No. D. 13, pp. 541-544, 1992.
- PROSCARAC (Prairie Regional Oil Spill Containment and Recovery Advisory Committee), "Anchor Design and Deployment Review", prepared by Paul Wotherspoon & Associates Inc., Calgary, AB, 1992.
- Punt, M., "The Performance of a Water Jet Barrier in a River", *Spill Technology Newsletter*, Vol. 15(1), 1990.
- Ross, S.L., G.P. Canevari, and Consultchem, *State-of-the-Art Review: Emulsion Breaking Chemicals*, Canadian Petroleum Association Report, Calgary, AB, 1992.
- Schulze, R. (ed.), *1997/1998 World Catalogue of Oil Spill Response Products - Sixth Edition*, World Catalog Joint Venture, Port City Press, Baltimore, MD, 1997.



- Sloan, S.L., D.F. Pol, and A.B. Nordvik, "Phase 2: At Sea Towing Tests of Fire Resistant Oil Containment Booms", Marine Spill Response Corporation, MSRC Technical Report Series 95-001, Washington, DC, 82 p., 1995.
- Smith, N.K. and A. Diaz, "In-place Burning of Crude Oils in Broken Ice", *Proceedings of the 1987 Oil Spill Conference*, American Petroleum Institute, Washington, DC, pp. 383-387, 1987.
- Snider, J. "Research Needs Associated with In Situ Burning - Report of the Environmental and Human Health Panel", in *In Situ Burning Oil Spill Workshop Proceedings*, N.H. Jason (ed.), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, pp. 3-10, 1994.
- Sorensen, C.M. and G.D. Feke, "The Morphology of Macroscopic Soot", *Aerosol Science and Technology*, Vol. 25, pp. 328-337, 1996.
- Swift, W.H., C.J. Touhill, and P.L. Peterson, "Oil Spillage Control", *Chemical Engineering Progress Symposium Series* 65(97): 265-273, 1968.
- Tennyson, E.J., "In Situ Burning Overview", in *In Situ Burning Oil Spill Workshop Proceedings*, N.H. Jason (ed.), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, pp. 21-27, 1994.
- Thompson, C.H., G.W. Dawson, and J.L. Goodier, "Combustion: An Oil Mitigation Tool", prepared by Pacific Northwest Laboratory (operated by Battelle) for U.S. Department of Energy, Division of Environmental Control Technology, Washington, DC, 554 p., 1979.
- Twardawa, P. and G. Couture, "Incendiary Devices for the In Situ Combustion of Crude Oil Slicks", National Defence Research Establishment, Valcartier, QC, 56 p., 1983.
- Twardus, E.M., "A Study to Evaluate the Combustibility and Other Physical and Chemical Properties of Aged Oils and Emulsions", Environment Canada, Environmental Protection Service, Manuscript Report EE-5, Ottawa, ON, 1980.
- Twardus, E.M. and T.A. Bruzostowski, "The Burning of Crude Oil Spilled on Water", *Archivum Combustionis*, Vol. 1, No. 1&2, pp. 49-60, 1981.
- Walker, A. H., J. Michel, G. Canevari, J. Kucklick, D. Scholz, C.A. Benson, E. Overton, and B. Shane, "Chemical Oil Spill Treating Agents: Herding Agents, Emulsion Treating Agents, Solidifiers, Elasticity Modifiers, Shoreline Cleaning Agents, Shoreline Pre-treatment Agents and Oxidation Agents", MSRC Technical Report Series Report 93-015, Marine Spill Research Corporation, Washington, DC, 1993.
- Walton, W.D., W.H. Twilley, R.H. Hiltabrand, and J.V. Mullin, "Evaluating a Protocol for Testing Fire-Resistant Oil-Spill Containment Boom", in *Proceedings of the Twenty-first Arctic and Marine Oilspill*
- Walton, W.D., W.H. Twilley, N.P. Bryner, L. DeLauter, R.H. Hiltabrand, and J.V. Mullin, "Second Phase Evaluation of a Protocol for Testing Fire-Resistant Oil-Spill Containment Boom", in *Proceedings of the Twenty-second Arctic and Marine Oilspill Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 447-466, 1999.
- Walton, W.D., "Status of Fire Boom Performance Testing", *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 8, No. 4, pp. 361-365, 2003.
- Wu, N., M. Baker, G. Kolb, and J.L. Torero, "Ignition, Flame Spread and Mass Burning Characteristics of Liquid Fuels on a Water Bed", in *Proceedings of the Twentieth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 769-793, 1997.

8.1. Algunas referencias específicas a la quema en tierra

- API (American Petroleum Institute), 1999. *Compilation and review of data on the Environmental Effects of In Situ Burning of Inland and Upland Oil Spills*. API Publication Number 4684. Prepared by Research Planning, Inc. American Petroleum Institute. Washington, DC, USA. 186p.



- API (American Petroleum Institute), 2002. *Use of In Situ Burning as an Oil Spill Response Tool: Follow-up of Four Case Studies*. API Publication Number 4724. Prepared by Research Planning, Inc. American Petroleum Institute. Washington, DC, USA. 73p.
- Eufemia, Steven J., (1994). Brunswick Naval Air Station JP-5 aviation fuel discharge in-situ burn of fuel remaining in fresh water marsh, April 6-8, 1993. Proceedings of the In Situ Burning Oil Spill Workshop. NIST Special Publication 867. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD, USA: 87-90.
- Fritz, David, 2003. *In Situ Burning of Spilled Oil in Freshwater Inland Regions of the United States*. Spill Science and Technology Bulletin (August, 2003)
- Gonzalez, M. F. and G. A. Lugo, (1994). Texas marsh burn, Removing oil from a salt marsh using in situ burning. Proceedings of the In Situ Burning Oil Spill Workshop. NIST Special Publication 867. National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD, USA: 77-85.
- Lin, Q., I.A. Mendelsohn, K. Carney, N.P. Bryner, and 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*, in Press, 2004a.
- Lin, Q., I.A. Mendelsohn, K. Carney, N.P. Bryner, and 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*, in Press, 2004b.
- Lindau, C.W., R.D. Delune, A. Jugsujinda, and E. Sajo, "Response of *Spartina Alterniflora* Vegetation to Oil and Burning of Applied Oil", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 38, No. 12, pp. 1216-1220, 1999.
- Lindau, C.W., R.D. Delune, and A. Jugsujinda, " Marsh Sensitivity to Burning of Applied Crude Oil", *Spill Science and Technology Bulletin*, Vol. 8, No. 4, pp. 401-404, 2003.
- May, Victoria L. and James R. Wolfe, (1997). Field experience with controlled burning of inland oil spills. Proceedings of the 1997 International Oil Spill Conference. American Petroleum Institute. Washington, DC, USA: 811-816.
- Mendelsohn, I. A., M. W. Hester, and J. W. Pahl, 1996. Environmental effects and effectiveness of *in situ* burning in wetlands: Considerations for oil-spill cleanup. Louisiana Oil Spill Coordinator's Office/Office of the Governor, Louisiana Applied Oil Spill Research and Development Program. Baton Rouge, Louisiana, USA. 53p.
- Pahl, James W., Irving A. Mendelsohn, and Thomas J. Hess, (1997). The application of in-situ burning to a Louisiana coastal marsh following a hydrocarbon product spill: Preliminary assessment of the site recovery. Proceedings of the 1997 International Oil Spill Conference. American Petroleum Institute. Washington, DC, USA: 823-828.
- Tunnel, John W. Jr., Beau Hardegree, and David W. Hicks, (1995). Environmental impact and recovery of a high marsh pipeline oil spill and burn site, Upper Copano Bay, Texas. Proceedings of the 1995 International Oil Spill Conference. American Petroleum Institute. Washington, DC, USA: 133-1
- 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.



9. Glosario

Absorbentes – Es una sustancia que adsorbe o absorbe otra sustancia. Específicamente, es un material orgánico natural, con base mineral, u orgánico sintético utilizado para recuperar pequeñas cantidades de hidrocarburo que se han derramado en superficies terrestres o en agua o están depositadas en las riberas.

Anti-emulsificantes e inhibidores – Son compuestos químicos utilizados para prevenir la formación de emulsiones de agua en hidrocarburo o para hacer que dicha emulsión vuelva a hidrocarburo y agua. Varias formulaciones pueden cumplir ambas funciones.

Aromáticos – Son una clase de hidrocarburos que se consideran los hidrocarburos más inmediatamente tóxicos que se encuentran en el petróleo y que están presentes en casi todos los petróleos crudos y productos del petróleo. Muchos aromáticos son, en alguna medida, solubles en agua, de este modo, se hacen más peligrosos para los organismos acuáticos. Algunos aromáticos se consideran venenos a largo plazo y, a menudo, tienen efectos cancerígenos. Los aromáticos se caracterizan por anillos que contienen benceno, que es el aromático más simple.

Asfaltenos – Son los componentes polares más grandes que se encuentran en el hidrocarburo, llamados así porque conforman el porcentaje mayor del asfalto que se usa para pavimentar caminos. Con frecuencia, los asfaltenos tienen moléculas muy grandes (o un gran peso molecular). Si hay asfaltenos suficientes en un hidrocarburo, estos afectan, en gran medida, el comportamiento del hidrocarburo cuando se derrama.

Banda – Es la parte de una barrera de contención flotante diseñada para impedir que las olas arrojen hidrocarburo por encima de la parte superior de la barrera. El término banda también se utiliza para describir la distancia de la superficie del agua a la parte superior de la barrera. También se utiliza banda para nombrar a la distancia de la cubierta a la línea de agua de una embarcación tal como un buque o una barcaza.

Barrera de burbuja – Es un método para contener hidrocarburo que consiste en un sistema de aplicación de aire submarino que crea una cortina de burbujas. Estas se elevan y desvían el hidrocarburo. El sistema se ha utilizado con cierto éxito en puertos relativamente calmos.

Barreras de contención resistentes al fuego – Estos son dispositivos flotantes, construidos para soportar altas temperaturas y flujos de calor, que se utilizan cuando se quema el hidrocarburo en agua. Estas barreras restringen el esparcimiento y movimiento de las manchas de hidrocarburo, aumentando a su vez, el espesor de la mancha para que el hidrocarburo se encienda y continúe quemándose. Los diferentes tipos de barreras comerciales resistentes al fuego son las barreras enfriadas por agua, las barreras de acero inoxidable, las barreras resistentes térmicamente y las barreras cerámicas.

Barreras improvisadas – Son barreras construidas de materiales fácilmente disponibles, tales como tirantes ferroviarios y troncos. Las barreras improvisadas se pueden utilizar como estructuras de contención temporaria hasta que las barreras comerciales más adecuadas lleguen al lugar del derrame. También se pueden utilizar conjuntamente con barreras de contención comerciales para desviar el hidrocarburo hacia donde están puestas las barreras comerciales.



Barril – Es una unidad de medida de líquido (volumétrica) para el petróleo y productos del petróleo, igual a 35 galones imperiales, 42 galones estadounidenses o aproximadamente 160 litros (L). Esta unidad de medida es ampliamente usada por la industria petrolera. Hay aproximadamente de 7 a 9 barriles (245 a 315 galones imperiales) de hidrocarburo por tonelada métrica, según la densidad del petróleo crudo o el producto del petróleo.

Brida – Cuando se usa una barrera de contención, en algunas configuraciones, con frecuencia se fija una brida o una brida cruzada, también llamada **correa**, a cada lado de la barrera, varios metros detrás de los buques de remolque para asegurarse de que la barrera mantiene la forma en U adecuada.

Bunker C – Un fuel oil muy viscoso (combustible N° 6) que se usa como combustible por las calderas marinas e industriales.

Carbonilos – Son una clase de compuestos que contienen el grupo C=O. La clase incluye a los aldehídos (formaldehído, acetaldehído, etc.) y cetonas (acetona, etc.).

Catenaria – Es la forma geométrica, similar a la parábola, que adquiere una cuerda o cadena cuando se sostiene de ambos extremos.

Compuestos orgánicos volátiles (COV) – Son compuestos orgánicos con presión de vapor lo suficientemente alta para hacer que los compuestos se evaporen a temperaturas normales.

Compuestos oxigenados – Son hidrocarburos que contienen oxígeno. Pueden ser el resultado de una combustión incompleta.

Compuestos polares – Son estructuras de hidrocarburos encontradas en el petróleo que tienen una carga molecular significativa como resultado de enlaces con compuestos tales como azufre, nitrógeno u oxígeno. La "polaridad" o carga llevada por la molécula tiene como resultado un comportamiento diferente al de los compuestos no polarizados, en algunas circunstancias. En la industria del petróleo, los compuestos polares más pequeños se llaman resinas que, en gran parte, son las responsables de la adhesión del hidrocarburo. Los compuestos polares más grandes se llaman asfaltenos porque a menudo conforman el porcentaje mayor del asfalto que se usa en la construcción carretera. (Ver también **asfaltenos, resinas**)

Correa – Cuando se usa una barrera de contención, en algunas configuraciones, generalmente se fija una correa, también llamada brida o brida cruzada, a cada lado de la barrera detrás de los buques de remolque para asegurarse que la barrera mantiene la forma en U adecuada.

Cortes livianos – Es un término que se utiliza para describir los hidrocarburos de bajo peso molecular, volátiles en el petróleo crudo y los productos del petróleo. Los cortes livianos son los primeros compuestos recuperados del petróleo crudo durante el proceso de destilación fraccional y son también las primeras fracciones de hidrocarburo derramado que se pierden por evaporación.

Densidad – Es la relación del peso de una sustancia, tal como un hidrocarburo, con el peso de un volumen igual de agua. La capacidad para flotar está íntimamente relacionada con la densidad – si una sustancia tiene una densidad menor que la de un fluido, flotará en dicho fluido. La densidad de la mayoría de los petróleos crudos y productos del petróleo refinados es menor a 1,0. Por lo tanto, estas sustancias, generalmente, flotan en el agua.



Eficacia de la quema – Cuando se realiza una quema in situ de un derrame de hidrocarburo, este es el porcentaje de hidrocarburo que la quema eliminó del agua. Es la cantidad (volumen) de hidrocarburo antes de quemarse, menos el volumen que queda como residuo, dividido por el volumen inicial de hidrocarburo.

Emulsificación – Es el proceso por el cual un líquido se dispersa en otro líquido en forma de pequeñas gotitas. A veces, las emulsiones de agua en hidrocarburo son estables y crean problemas especiales de limpieza. (Ver también **emulsión de agua en hidrocarburo**.)

Emulsión de agua en hidrocarburo – Es un tipo de emulsión en la que gotas de agua se dispersan a través del hidrocarburo. Se forma cuando el agua se mezcla con un hidrocarburo relativamente viscoso por la acción de las olas. A veces, este tipo de emulsión es estable y puede persistir durante meses o años después de un derrame. Las emulsiones de agua en hidrocarburo que contienen de 50 a 80% de agua son las más comunes, su consistencia va de una sustancia tipo grasosa a sólida y, por lo general, se las llama “mousse de chocolate”. (Ver también **emulsificación**)

Factor de aislamiento – Es la cantidad de transferencia de calor entre el hidrocarburo y el agua como resultado del hidrocarburo en la superficie del agua.

Falla de la barrera – Se refiere a la falla de una barrera de contención para contener el hidrocarburo debido a vientos excesivos, olas o corrientes, o despliegue inapropiado. Una falla de la barrera se puede manifestar en la corriente subsuperficial del hidrocarburo, salpicadura del hidrocarburo, hundimiento o deslizamiento de la barrera o rotura estructural. (Ver también **velocidad crítica, falla en el arrastre, primera ola**.)

Falla en el arrastre – Es un tipo de falla de la barrera que resulta de la velocidad excesiva de la corriente. La primera ola que se forma corriente arriba de la masa de hidrocarburo contenida dentro de una barrera se vuelve inestable y las gotas de hidrocarburo son apartadas y arrastradas o hundidas en la corriente de agua debajo de la barrera. (Ver también **Falla de la barrera, velocidad crítica**.)

Fuel oils – Son productos refinados del petróleo con densidades de 0,85 a 0,98 y puntos de inflamación superiores a 55 °C. Este grupo de productos incluye combustible para hornos, combustible diesel y combustible para calefacción residencial (combustibles N° 2), combustibles para calefacción industrial (combustibles N° 4) y diferentes combustibles bunker (fuel oils N° 5 y N° 6).

Gasolinas – Son una mezcla de hidrocarburos líquidos volátiles e inflamables que se usan principalmente para motores de combustión interna y se caracterizan por un punto de inflamación de aproximadamente 40°C y una densidad de 0,65 a 0,75.

Grupo saturado – Es un grupo de compuestos de hidrocarburo presente en los hidrocarburos y que consiste principalmente en alcanos, que son compuestos de hidrógeno y carbono con el número máximo de átomos de hidrógeno alrededor de cada carbono. El término saturado se utiliza porque los carbonos se “saturan” con hidrógeno. El grupo saturado también incluye a los cicloalcanos, que son compuestos formados por los mismos compuestos de carbono e hidrógeno pero con los átomos de carbono enlazados entre sí en anillos o círculos. Por lo general, a los compuestos saturados más grandes se los llama ceras. (Ver también **aromáticos**.)



Hidrocarburos poliaromáticos (HPA) – Son compuestos que comúnmente se encuentran en el hidrocarburo. Contienen múltiples anillos de benceno que se pueden formar por combustión. Los petróleos crudos y los hidrocarburos residuales contienen cantidades variables de estos compuestos, algunos de los cuales pueden ser tóxicos para los seres humanos y la vida acuática.

Mancha – Es el término más comúnmente utilizado para describir una película fina de hidrocarburo, por lo general de menos de $2\ \mu\text{m}$ ($0,002\ \text{mm}$) de espesor, en la superficie del agua.

Meteorización – Se refiere a una serie de procesos por los cuales las propiedades físicas y químicas del hidrocarburo cambian después de un derrame. Estos procesos comienzan cuando ocurre el derrame y continúan indefinidamente mientras el hidrocarburo sigue presente en el ambiente. Dentro de los procesos más importantes que contribuyen a la meteorización se encuentran evaporación, emulsificación, dispersión natural, disolución, foto-oxidación, sedimentación, adhesión a materiales, interacción con partículas finas de minerales, biodegradación microbiana, y la formación de bolas o mantos de brea. (Ver también **emulsificación**)

Paravanes - Son secciones de remolque de barrera de metal rígido que se unen a la boca trasera de una barrera convencional como una configuración de barrera no probada, cuando se quema hidrocarburo.

Pieza de tensión – Es parte de la barrera flotante de contención de hidrocarburo que lleva la carga que ejercen el viento, las olas y corrientes en la barrera. Las piezas de tensión se hacen, normalmente, de cable de alambre por su fortaleza y resistencia elástica.

PM-10 – Material particulado que consiste en pequeñas partículas respirables de $10\ \mu\text{m}$ (micrómetros o micrones) o menos de diámetro. Diez micrómetros es un tamaño crítico por debajo del cual los pulmones humanos se ven afectados. Para monitorear el material particulado en el penacho de humo de fuegos de hidrocarburo, por lo general, se acepta que la concentración de partículas PM-10 debe ser menor a $150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 24 horas. El material particulado es la principal preocupación por la salud pública cuando se queman hidrocarburos o productos del petróleo.

PM-2.5 – Material particulado que consiste en pequeñas partículas respirables de $2,5\ \mu\text{m}$ (micrómetros o micrones) o menos de diámetro, que son particularmente peligrosas para los pulmones humanos. Para monitorear el material particulado en el penacho de humo de fuegos de hidrocarburo, se ha propuesto un estándar de $65\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un período de 24 horas. El material particulado es la principal preocupación por la salud pública cuando se queman hidrocarburos o productos del petróleo.

Presión de vapor – Es la medida de cómo el hidrocarburo se divide entre las fases líquida y gaseosa, o de cuánto vapor hay en el espacio sobre una cantidad de hidrocarburo líquido dada, a una temperatura fija.

Probabilidad de contacto con la llama – Es la probabilidad de que el hidrocarburo entre en contacto con la llama durante la quema.

Punto de llama – Es la temperatura más baja a la que el vapor por encima de un líquido de prueba sostendrá la quema durante 5 segundos (ASTM-D92).



Punto de ebullición – Es la temperatura a la que la presión del vapor de un líquido es igual a la presión atmosférica o externa. El punto de ebullición de los petróleos crudos y productos del petróleo puede variar de 30 a 550 °C, pero tiene poca importancia práctica desde el punto de vista de la limpieza de derrames de hidrocarburo. (Ver también **punto de llama**)

Punto de fluidez – El punto de fluidez de un hidrocarburo es la temperatura más baja a la que el hidrocarburo fluirá en condiciones específicas. El punto de fluidez de los petróleos crudos varía, por lo general, de 57° a 32 °C. Los hidrocarburos más livianos con bajas viscosidades tienen puntos de fluidez más bajos. El punto de fluidez es altamente variable y depende de las condiciones de la medición.

Punto de inflamación – Es la temperatura más baja, corregida a una presión barométrica de 101,3 kPa, a la que el líquido emite suficientes vapores como para encenderse cuando se expone a una fuente de encendido tal como una llama abierta. Se considera que un líquido es inflamable si su punto de inflamación es menor a 60 °C.

Quema controlada – Se refiere a un fuego o quema que puede ser comenzado y finalizado por intervención del hombre y manejado, hasta cierto grado, en el correr de la quema.

Quema in situ – Es una técnica de limpieza de derrames de hidrocarburos que consiste en una quema controlada del hidrocarburo directamente en la superficie del agua. No incluye la quema de hidrocarburo o restos cubiertos de hidrocarburo en un incinerador.

Queroseno – Es un hidrocarburo inflamable que se caracteriza por una viscosidad relativamente baja, densidad de aproximadamente 0,8 y un punto de inflamación cercano a los 55°C. En lo que refiere a las propiedades físicas más importantes, el querosén está entre las gasolinas y los fuel oils, y se separa de estos productos durante la destilación fraccional de petróleos crudos.

Residuo – Es el material, excluyendo a las emisiones aéreas, que permanece en o por debajo de la superficie después de que se realiza una quema in situ. Por lo general, es hidrocarburo no quemado del que se eliminaron productos más livianos o volátiles.

Resinas – Son los compuestos polares más pequeños que se encuentran en el hidrocarburo. Son, en gran medida, responsables por la adhesión del hidrocarburo. (Ver también **compuestos polares**.)

Retorno de la llama – Ocurre cuando las llamas se extienden rápidamente a través de los vapores como consecuencia de la quema de hidrocarburos altamente volátiles, tales como los crudos frescos, muy livianos, gasolinas o las mezclas de estos en otros hidrocarburos.

Tasa de quema – Cuando se realiza una quema in situ de un derrame de hidrocarburo, esta es la tasa a la que se quemó el hidrocarburo dentro de un área determinada o la tasa a la que disminuye el espesor del hidrocarburo. En la mayoría de las situaciones, la tasa de quema es de aproximadamente 3,75 mm/min.

Tonelada métrica – Es una unidad de masa y peso equivalente a 1000 kilogramos. En Canadá, la tonelada métrica es la medida más utilizada para medir la cantidad de hidrocarburo por peso. Hay aproximadamente de 7 a 9 barriles (245 a 315 galones imperiales) de hidrocarburo por tonelada métrica, según la densidad del petróleo crudo o el producto del petróleo.



Tormenta de fuego - Es una tasa de quema muy rápida, que puede ocurrir en una quema muy grande, cuando grandes volúmenes de aire son conducidos hacia el fuego por la convección del propio fuego.

Velocidad crítica – Es la velocidad más baja o la velocidad de la corriente de agua que causará pérdida de hidrocarburo bajo el faldón de una barrera de contención. La velocidad crítica varía con la gravedad, viscosidad y espesor específicos de la mancha de hidrocarburo contenida por la barrera, y la profundidad del faldón y posición de la barrera en relación con la dirección de la corriente. Para la mayoría de los hidrocarburos, cuando la barrera está en ángulo recto con la corriente, la velocidad crítica es de alrededor de 0,5 m/seg (1 nudo) (Ver también **Falla de la barrera**).

Viscosidad – Es la propiedad de un fluido, gas o líquido, por medio de la cual resiste un cambio de forma, movimiento o flujo. La gasolina tiene una baja viscosidad y fluye rápidamente, mientras que la brea es muy viscosa y no fluye bien. La viscosidad del hidrocarburo está determinada, en gran medida, por la cantidad de las fracciones más livianas o más pesadas que contiene. La viscosidad aumenta a medida que el hidrocarburo se meteoriza y la temperatura disminuye; una temperatura más baja tiene como resultado una viscosidad más alta. (Ver también **cortes livianos, volatilidad**.)

Volatilidad - Es la tendencia de una sustancia sólida o líquida de evaporarse. Muchos hidrocarburos con poca cantidad de carbono son extremadamente volátiles y se evaporan rápidamente cuando se derraman. Por ejemplo, las gasolinas contienen una alta porción de compuestos volátiles que plantean un riesgo considerable de fuego o explosión, en un período corto de tiempo, cuando se derraman. Por otro lado, los combustibles bunker contienen pocos hidrocarburos volátiles, ya que los mismos se eliminan durante el proceso de refinación de destilación fraccionada.



APÉNDICE A – Hoja de evaluación de la quema in situ



Hoja de evaluación de la quema in situ

(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

Formulario llenado por _____ Fecha _____ Hora _____

Nombre del incidente (por ejemplo, buque tanque, plataforma o nombre del lugar) _____

Fecha del incidente _____ Hora del incidente _____

Tipo de incidente: varada de buque tanque ___ transferencia del buque tanque ___
 colisión del buque tanque ___ explosión del buque tanque ___
 reventón ___ otros _____

Lugar del derrame: latitud _____ longitud _____

Tipo de producto vertido _____

Volumen estimado del producto vertido _____

Área estimada cubierta por la mancha _____

¿Está todavía la fuente vertiendo el producto? sí ___ no ___

En caso afirmativo, a qué tasa de flujo estimada _____

¿Se está/n quemando la fuente y/o la mancha por sí sola/s? sí ___ no ___

Condiciones del hidrocarburo

	Actual	Pronóstico de 24 horas	Pronóstico de 48 horas
fecha y hora			
rango de espesor			
emulsificación (% de la mancha y contenido de agua)			
meteorización (%)			
tipo de mancha (marcar una)			
▪ una única mancha grande			
▪ parches grandes			
▪ varios parches pequeños			
▪ fajas finas			
▪ otros			



Descripción de la trayectoria estimada del derrame (también adjuntar mapas que muestren la posición estimada actual, a las 24 horas y a las 48 horas)

Ubicación de la zona terrestre más cercana al sitio del derrame _____
Distancia del sitio del derrame _____

Ubicación de área(s) terrestre(s) que se espera que estén afectadas por la mancha dentro de las primeras 48 horas después del incidente del derrame.

Ubicación	Distancia desde el derrame	Fecha y hora estimadas del derrame
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Nombre y ubicación de las comunidades cercanas al sitio del derrame [dentro de los 100 km (60 millas)]

Nombre de la comunidad	Ubicación.	Distancia desde el derrame
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Nombre y ubicación de los sitios habitados cercanos al sitio del derrame [dentro de los 100 km (60 millas)]

Nombre del sitio habitado	Ubicación.	Distancia desde el derrame
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Ubicación y tipo de área(s)/ población(es) ambientalmente sensible(s) [dentro de los 100 km (60 millas)]

Tipo de área o población	Ubicación.	Distancia desde el derrame
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____



Ubicación y tipo de otras áreas que podrían ser afectadas (por ejemplo, parques, sitios arqueológicos, estructuras antropogénicas) [dentro de 100 km (60 millas)]

Tipo de área	Ubicación.	Distancia desde el derrame
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

Condiciones del tiempo y del mar

	Actual	pronóstico de 24 horas	pronóstico de 48 horas
fecha y hora			
temperatura del aire			
temperatura del agua			
velocidad del viento			
dirección del viento			
cielos (marcar los que corresponda):			
▪ claro			
▪ parcialmente nublado			
▪ nublado			
▪ lluvioso			
▪ con niebla			
▪ tormentoso			
marea (marcar uno)			
▪ calma			
▪ subiendo			
▪ bajando			
velocidad de la corriente dominante			
dirección de la corriente dominante			
estado del mar (marcar una)			
▪ calmo			
▪ picado			
▪ con oleaje			
Olas (marcar uno)			
▪ < 0,3 m (1 pie)			
▪ 0,3 - 1 m (1 a 3 pies)			
▪ > 1 m (3 pies)			

Proyección de la marea

Próxima marea alta _____ (fecha) _____ (hora)
 Próxima marea baja _____ (fecha) _____ (hora)



Ubicación del depósito más cercano de equipos de respuesta a derrames de hidrocarburos

Ubicación _____ Distancia desde el derrame _____

Ubicación del equipo de respuesta específico (indicar si no se requerirá equipo específico)

Equipos	Descripción y cantidad necesaria	Ubicación	Tiempo requerido para el despliegue
buques			
aeronaves de detección remota			
helicópteros			
remolcadores			
barrera resistente al fuego			
barrera convencional			
dispositivos de encendido			
desnatadores			
absorbentes			



APÉNDICE B – Equipos para quema in situ



Equipos para quema in situ

La lista de equipos para una quema in situ que figura a continuación no es completa, sino que es una referencia para que el lector comience su propia investigación.

Barreras resistentes al fuego

American Marine (3M) Fire Boom - <http://www.elastec.com/fire.html>

Auto Boom™ Fire Model - <http://www.oilstop.com/FireBoom.htm>

Hydro-Fire Boom - <http://www.elastec.com/hydro.html>

PocketBoom® - <http://www.appliedfabric.com/firebarriers.htm>

PocketBoom® - <http://www.appliedfabric.com/firebarriers.htm>

SeaCurtain FireGard™ Boom Systems - <http://www.kepnerplastics.com/firegard1.html>

Se invita al lector a consultar *The Oil Spill Equipment and Pollution Clean Up Contractors Directory* (<http://www.cleanupoil.com/equipment.htm>) o *The World Catalog of Oil Spill Response Products* (Publicados anualmente).



APÉNDICE C – Tareas del equipo de operación de la helitorcha



Tareas del equipo de operación de la helitorcha

(Fingas, M.F. y M. Punt, 2000)

El **Supervisor de la Helitorcha** es el responsable de los siguientes aspectos de las operaciones de encendido:

- coordinar todas las operaciones de encendido, supresión y apoyo;
- mantener informado al Comandante en Escena de la quema in situ sobre los requisitos de encendido, la disponibilidad del equipo de encendido y cualquier problema relacionado con las operaciones de encendido;
- asegurar que todo el personal que participa en la operación de la helitorcha está capacitado adecuadamente en todos los aspectos de la operación y seguridad, está en pleno conocimiento de sus tareas y está informado sobre los próximos planes de encendido.
- disponer el transporte de la tripulación encargada de la mezcla y la unidad de la helitorcha hacia el sitio de la quema;
- asegurar que las antorchas y los accesorios están en condiciones de ser utilizados;
- asegurar que los planes de operación y seguridad se cumplan;
- asegurar que el equipo apropiado, incluso el equipo de seguridad, está disponible y el personal lo utiliza durante todas las operaciones de quema;
- asegurar que todos los documentos de bienes peligrosos se llenen adecuadamente y que los símbolos de los artículos peligrosos que correspondan estén en todos los vehículos que transportan artículos peligrosos;
- asegurar que hay suficiente gasolina, Sure FIRE y propano en el sitio, antes de iniciar la quema;
- informar al piloto del helicóptero de encendido sobre las operaciones de encendido planificadas y la lista de verificación de la aeronave/piloto;
- certificar la lista de verificación y asegurar que sea incorporada en el juego de accesorios de la helitorcha;
- diseñar el plan de encendido, incluyendo la ubicación y disposición del área de mezcla/carga;
- mantener a todo el personal no autorizado fuera del área de mezcla/carga;
- asegurar que se establezca un área resistente al fuego cerca del sitio de mezcla/carga para la eliminación y quema de combustible gelificado no usado;
- mantener contacto por radio entre el área de mezcla/carga y el piloto del helicóptero de encendido y operador del enganche;
- supervisar la mezcla de combustible hasta obtener el gel deseado;
- documentar la relación de combustible con agente de gelificación utilizado, y los resultados obtenidos;
- supervisar la carga y el desplazamiento de los barriles llenos de combustible del sitio de la mezcla al sitio de carga;
- supervisar la limpieza del sitio después de la quema y la remoción de todo el combustible y agente de gelificación no utilizado;
- realizar un seguimiento de los recipientes de propano y combustible utilizado, y aconsejar al operador del enganche cuándo cambiar los recipientes de propano y
- hacer el informe posterior a la quema.

El supervisor de la helitorcha también debe estar familiarizado con lo siguiente:

- Gasoline Handling Act (ley sobre el manejo de las gasolinas);
- los peligros de la electricidad estática cuando se trabaja con combustibles;



- las técnicas apropiadas de puesta a tierra cuando se transfieren combustibles y se trasladan contenedores de combustibles;
- la extinción de fuegos de gasolinas y eléctricos;
- el uso y colocación de extinguidores de fuego;
- el tratamiento de quemaduras y otras heridas;
- el uso de botiquines de primeros auxilios y para tratamiento de quemaduras, y de sistemas de lavado de ojos; y
- las prácticas de seguridad asociadas con helicópteros, que incluyen el lanzamiento adecuado de señales manuales.

El Oficial de Seguridad informa directamente al supervisor de la helitorcha de todos los aspectos relacionados con la seguridad de las operaciones de encendido y debe asegurar que todos los elementos de seguridad están en su lugar y que se realizan todas las prácticas de seguridad. Se requiere que esta persona esté familiarizada con lo siguiente:

- Gasoline Handling Act (ley sobre el manejo de las gasolinas);
- los peligros de la electricidad estática cuando se trabaja con combustibles;
- las técnicas apropiadas de puesta a tierra cuando se transfieren combustibles y se trasladan contenedores de combustibles;
- la extinción de fuegos de gasolinas y eléctricos;
- el uso y colocación de extinguidores de fuego;
- el tratamiento de quemaduras y otras heridas;
- el uso de botiquines de primeros auxilios y para tratamiento de quemaduras, y de sistemas de lavado de ojos; y
- las prácticas de seguridad relacionadas con helicópteros.

El Piloto del Helicóptero de Encendido es responsable de:

- volar el helicóptero y operar la helitorcha en el aire;
- asegurar que el helicóptero está en condiciones de ser utilizado, es capaz de realizar las tareas asignadas y tiene servicio de 50-amp disponible para la operación de la helitorcha;
- ser informado en profundidad y entender cabalmente el plan de encendido, la operación de la helitorcha y las normas y procedimientos de radio a ser utilizados durante las operaciones de encendido;
- conocer la ubicación de todas helipuertos en los alrededores de la quema y la ubicación de sitios de aterrizaje alternativos;
- llenar y firmar la lista de verificación de la aeronave/piloto;
- realizar un vuelo de ensayo sobre el área de la quema antes de comenzar las operaciones de encendido;
- dirigir la operación de encendido desde el helicóptero de encendido;
- comunicar cualquier problema al supervisor de la helitorcha;
- asegurar que no gotea combustible fuera del área de quema prevista; y
- analizar el comportamiento del fuego, el patrón de encendido, la intensidad de encendido y la eficacia de la helitorcha con el supervisor de la helitorcha.



El piloto debe capacitarse y estar informado de todos los aspectos de la operación y seguridad relacionados con el sistema de helitorcha que se utilizará durante la quema. Normalmente, implicará una sesión de capacitación con un representante de la compañía que fabrica la helitorcha. Si el representante de la compañía no está disponible, la capacitación debe ser realizada por el supervisor de la helitorcha, quien debe estar bien informado sobre los aspectos de la operación y seguridad de la helitorcha. Esta capacitación debe incluir información sobre los problemas que pueden surgir mientras se opera una helitorcha en el aire. El piloto debe estar también familiarizado con los procedimientos para mezclar y cargar combustible.

El Operador del Enganche es responsable de:

- armar y probar las helitorchas;
- mantener el equipo, realizar inspecciones y el mantenimiento del equipo;
- verificar la posición del gancho del helicóptero (i.e., si debe ser paralelo o en ángulo recto con el marco de la antorcha y ajustar adecuadamente los conectores de los cables al montaje de anillos en forma de pera;
- conectar y desconectar las antorchas desde el helicóptero;
- mantener contacto por radio con el piloto y el supervisor de la helitorcha durante las operaciones de enganche;
- ayudar a transportar los barriles llenos de combustible desde el área de mezcla al área de carga; y
- controlar y cambiar los tanques de propano de la helitorcha cuando sea necesario.

Los Mezcladores de Combustible son responsables de las siguientes tareas:

- establecer las áreas de mezcla y carga;
- mezclar adecuadamente el combustible con el agente de gelificación siguiendo las instrucciones del supervisor de la helitorcha;
- llevar los barriles llenos al área de carga;
- ayudar en la recuperación de la antorcha después de ser utilizada; y
- asistir al operador del enganche cuando sea necesario (los mezcladores de combustible deben estar familiarizados con las tareas del operador de enganche); y
- limpiar el sitio.



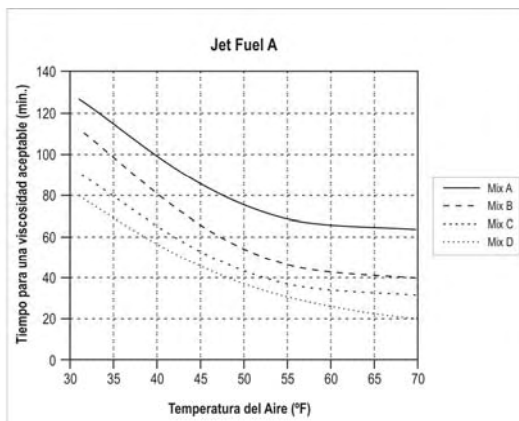
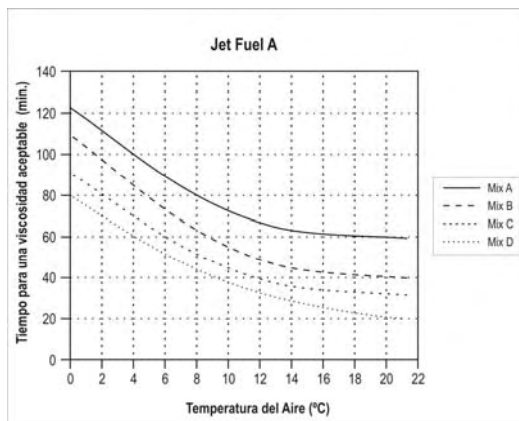
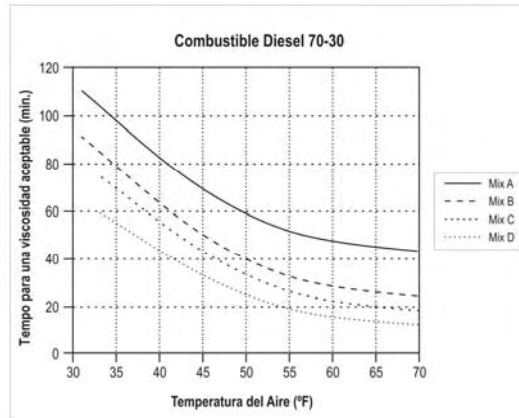
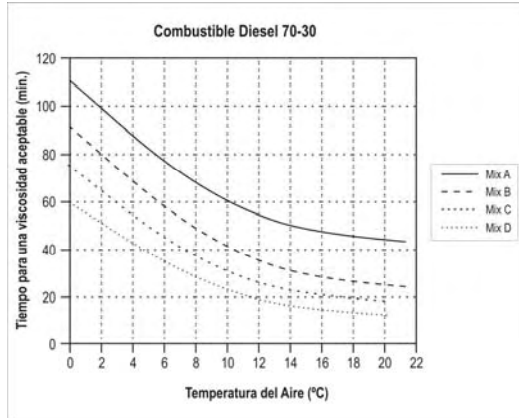
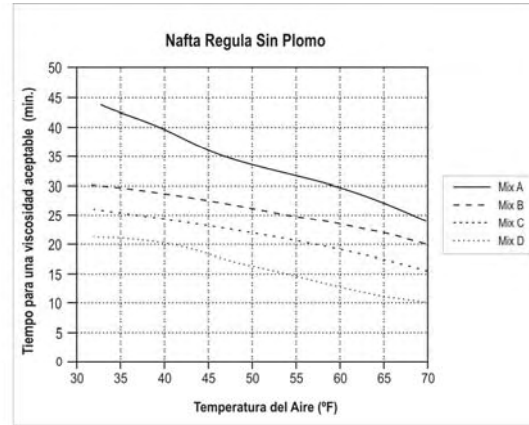
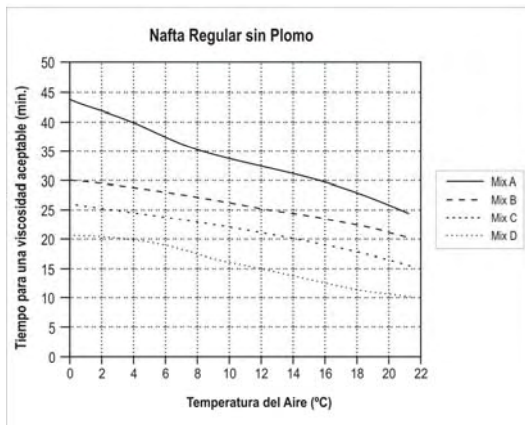
APÉNDICE D – Cuadros de mezcla de combustibles gelificados para la helitorcha



Coefficientes de Gel SUREFIRE (Fingas, M. y M. Punt, 2000)

Usando la siguiente tabla, seleccionar un coeficiente de mezcla adecuado, luego ubicar la gráfica por el tipo de combustible a ser gelificado. El tiempo en que el combustible gelificado alcance la viscosidad aceptable puede ser determinado por el tipo de mezcla y la temperatura del aire.

Mezcla	Coeficiente de mezcla (peso de SureFire /volumen de combustible)		
	g/L	lb / gal EEUU	lb / gal Imp
A	5,9	0,05	0,059
B	7,9	0,066	0,079
C	9,9	0,083	0,099
D	11,9	0,1	0,119





APÉNDICE E – Lista de verificación de los equipos necesarios en la quema in situ



Lista de verificación de los equipos necesarios en la quema in situ

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
- Bidas
- 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

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

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>

