

USO DE BARRERAS EN LA RESPUESTA A LA CONTAMINACIÓN POR HIDROCARBUROS

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

3



Introducción

Las barreras se utilizan habitualmente para rodear y contener hidrocarburos derramados en el mar y para desviar su paso de recursos sensibles o hacia un punto de recolección. El éxito de las operaciones con barreras puede encontrarse limitado por el rápido esparcimiento de los hidrocarburos flotantes y los efectos de las corrientes, mareas, viento y olas. Un diseño eficaz de las barreras y una respuesta bien planificada y coordinada pueden reducir estos problemas, aunque en algunas circunstancias el uso de cualquier barrera podría resultar inapropiado.

Este documento describe los principios de diseño de las barreras y los dos modos principales de operación, concretamente el remolque por embarcaciones en el mar y el amarre en aguas poco profundas o en aguas costeras.

Principios de diseño

Las barreras son obstáculos flotantes diseñados para realizar una o más de las siguientes funciones:

- **Concentración y contención de los hidrocarburos:** rodear los hidrocarburos flotantes para evitar su esparcimiento sobre la superficie del agua y aumentar su grosor para facilitar la recolección;
- **Desviación:** desviar los hidrocarburos hasta un punto de recolección adecuado de la costa para su posterior retirada, por ejemplo mediante camiones aspiradores, bombas u otros métodos de recolección;
- **Protección:** desviar los hidrocarburos de emplazamientos biológicamente sensibles o económicamente importantes como por ejemplo, entradas de puertos, tomas de agua de centrales eléctricas, instalaciones de acuicultura o reservas naturales.

Existen barreras de una gran variedad de tamaños, materiales y diseños con el fin de satisfacer las exigencias de las diversas situaciones y contextos. Su gama puede variar de modelos pequeños, baratos y ligeros para el despliegue manual en puertos (*Figura 1*), a unidades grandes, caras y robustas para uso mar adentro, lo que podría requerir el uso de carretes, grúas y embarcaciones de tamaño adecuado para manejarlas. Existen barreras con una gran variedad de longitudes con acoplamientos para permitir la combinación de secciones hasta obtener la longitud total deseada. Los acoplamientos también proporcionan puntos de remolque y anclaje. Además de los carretes, podría requerirse una gran variedad de equipamiento auxiliar, como por ejemplo eslingas de remolque, sopladores de aire y anclas.

La característica más importante de una barrera es su capacidad de contención o desvío de hidrocarburos, que viene determinada por su comportamiento en relación con el movimiento del agua. Todas las barreras suelen incorporar las siguientes características para mejorar su comportamiento:

- francobordo para evitar o reducir el escape por encima;
- faldón subsuperficial para evitar o reducir el escape de hidrocarburos por debajo de la barrera;
- flotación en forma de aire, espuma u otro material flotante;
- miembro de tensión longitudinal (cadena o alambre) para resistir las fuerzas del viento, olas y corrientes;
- lastre para mantener el aspecto vertical de la barrera.

La mayoría de los diseños de barreras se clasifican en dos amplias categorías:

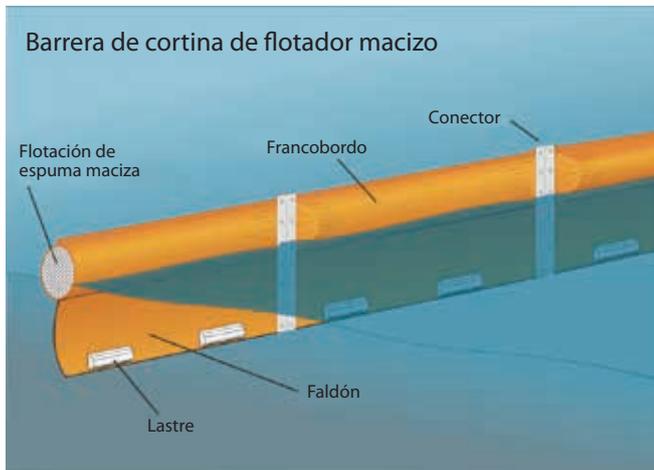


▲ *Figura 1: barrera de valla que desvía los hidrocarburos de los amarres*

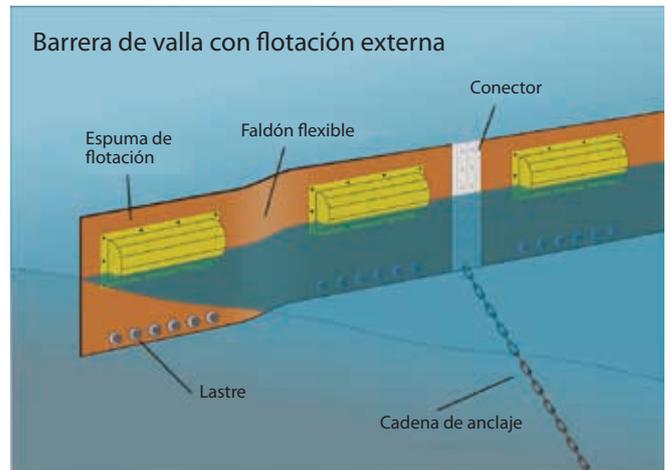
Barreras de cortina – que proporcionan un faldón subsuperficial continuo o pantalla flexible que se sostiene mediante una cámara de flotación rellena de aire o de espuma, normalmente de sección transversal circular (*Figuras 2a y 2c*).

Barreras de valla – generalmente con una sección transversal plana que se mantiene verticalmente en el agua mediante un elemento flotante externo o integral, lastre y apuntalamientos (*Figura 2b*).

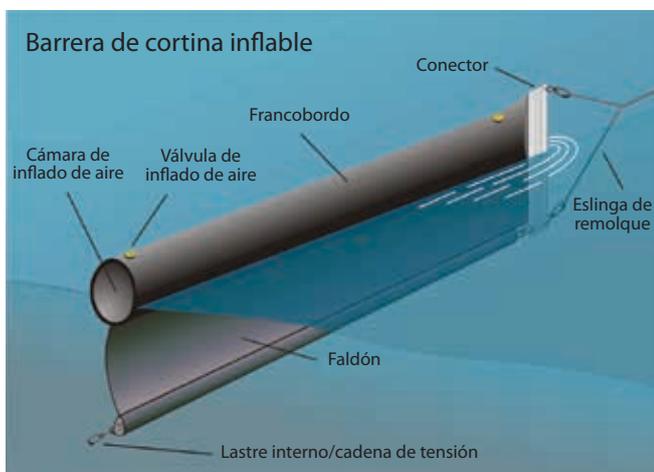
También existen barreras de sellado con el litoral y playas en las que el faldón se sustituye por cámaras rellenas de agua para permitir que la barrera se asiente sobre una línea de costa expuesta durante la marea baja (*Figura 2d*). La barrera ignífuga se construye específicamente para resistir las altas temperaturas generadas por la combustión de hidrocarburos y puede ser de tipo valla o cortina, con las posibilidades y limitaciones asociadas a estos dos diseños en la contención de los hidrocarburos.



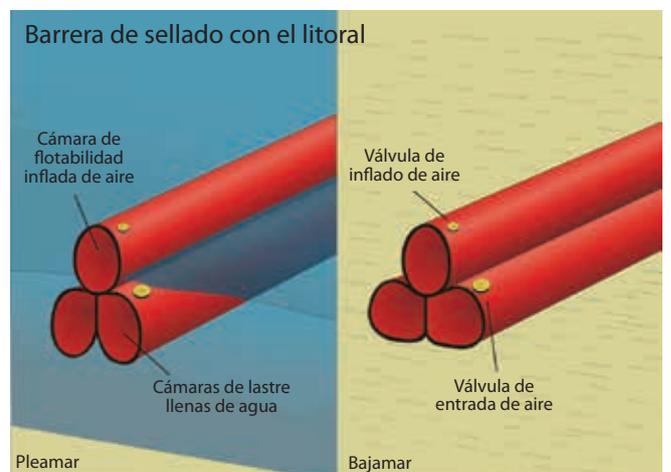
▲ *Figura 2a: barrera de cortina de flotador macizo con lastre externo.*



▲ *Figura 2b: barrera de valla de flotación externa con flotación externa y lastre. Los puntos de amarre se ubican a intervalos a lo largo de su longitud inferior.*



▲ *Figura 2c: barrera de cortina inflable con un lastre y cadena de tensión combinados en un alojamiento integral fijado en la parte inferior del faldón.*



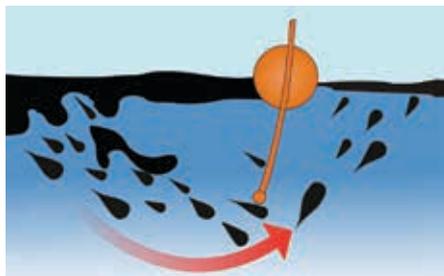
▲ *Figura 2d: barrera de sellado entre mareas. Alojamiento de inflado de aire superior para permitir flotación, alojamientos rellenos de agua inferiores para proporcionar lastre y asegurar un correcto sellado con el sustrato durante la marea baja.*

Las barreras deben ser suficientemente flexibles para acompañar el movimiento de las olas aunque suficientemente rígidas para retener la máxima cantidad posible de hidrocarburos. Algunos diseños de barreras de cortina de flotador macizo o de valla muestran unas características deficientes en el seguimiento de las olas, lo que provoca que el francobordo se hunda por debajo de la superficie o que el faldón se sitúe entre las crestas cuando pasa una ola y permita el escape de hidrocarburos. Por lo tanto, el uso de estos tipos de barreras debe limitarse a aguas calmas.

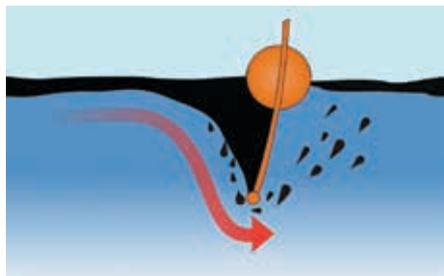
Aunque se han desarrollado sistemas de barreras para uso en aguas con corrientes fuertes y otros sistemas para remolque a velocidades relativamente elevadas, la mayoría de los diseños convencionales de barreras no son capaces de contener los hidrocarburos cuando se enfrentan a velocidades del agua que superan ampliamente los $0,5 \text{ ms}^{-1}$ (1 nudo) actuando perpendicularmente a la corriente. En la práctica, la velocidad de escape para la mayoría de las barreras se encuentra alrededor de $0,35 \text{ ms}^{-1}$ (0,7 nudos) independientemente de la profundidad del faldón. La forma de escape de los hidrocarburos y su relación con la velocidad del agua, depende en gran medida del tipo de hidrocarburos y del diseño de la barrera. Los hidrocarburos de baja viscosidad se escapan a velocidades menores que

los hidrocarburos de mayor viscosidad. En cuanto al primer tipo, las turbulencias en la ola refractada, provocadas por corrientes elevadas, hacen que se desprendan gotas de la parte inferior de la capa de hidrocarburos que, a continuación, pasan por debajo de la barrera. Este proceso se denomina "arrastre" (Figura 3a). Los hidrocarburos de baja viscosidad también son propensos a "fallos de drenaje" (Figura 3b), donde las corrientes elevadas provocan que se desprendan gotas de la acumulación de hidrocarburos en la superficie de la barrera, para desplazarse verticalmente hacia abajo y, posteriormente, por debajo del faldón. Resulta menos probable que los hidrocarburos más viscosos resulten arrastrados en el agua y puedan formar capas más gruesas en la superficie de la barrera. A un cierto espesor de acumulación crítica los hidrocarburos serán arrastrados por debajo de la barrera (Figura 3c).

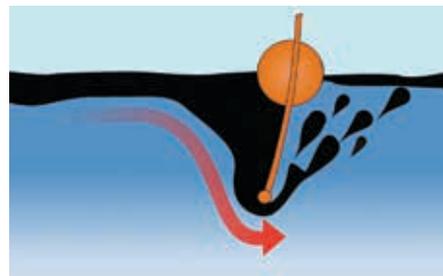
Aparte de las corrientes de ríos y de las mareas, el viento y las olas pueden generar movimientos del agua que superen ampliamente la velocidad de escape, además de provocar el escape por encima los hidrocarburos contenidos (Figura 3d). Las corrientes muy elevadas pueden provocar que la barrera se sumerja, particularmente si no se proporciona una flotación suficiente (Figura 3e), o que pierda la verticalidad, lo que permitiría el escape de hidrocarburos (Figuras 3f y 4). El



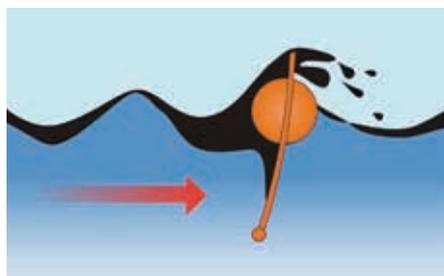
▲ Figura 3a: arrastre.



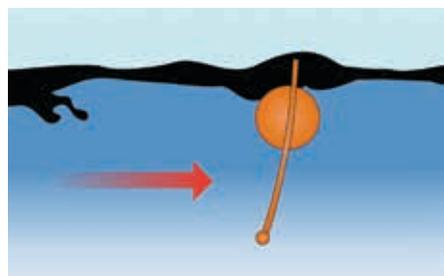
▲ Figura 3b: fallo de drenaje.



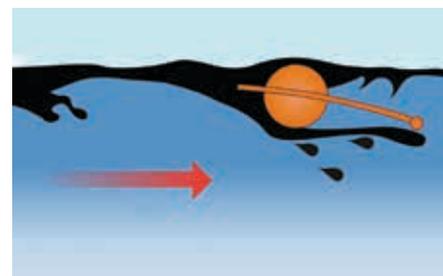
▲ Figura 3c: acumulación crítica.



▲ Figura 3d: escape por encima.



▲ Figura 3e: inmersión.



▲ Figura 3f: pérdida de verticalidad.

▲ Figura 3: modos de fallo de las barreras. Las flechas indican la dirección de la corriente. (Según diagrama incluido en *Oil Spill Science and Technology*, gentileza de Merv Fingas).

escape de hidrocarburos podría ser inducido por turbulencias a lo largo de una barrera, y por lo tanto sería recomendable utilizar un perfil uniforme sin salientes. El tamaño y la longitud de las secciones de la barrera representan factores importantes que se deben considerar. El tamaño óptimo de una barrera guarda una considerable relación con el estado del mar en el que se utilizará. Como regla general, debe seleccionarse la altura mínima del francobordo para evitar el escape por encima de los hidrocarburos. La profundidad del faldón debe tener dimensiones similares. Un francobordo demasiado alto podría provocar problemas de resistencia al viento, por lo que el francobordo actuaría como una vela. El aumento de la profundidad del faldón puede hacer que la barrera sea más propensa a fallos de drenaje debido al aumento de la velocidad del agua que pasa por debajo de la barrera. Las secciones cortas de la barrera pueden resultar más fáciles de manejar y pueden proteger la integridad de la barrera en su totalidad si fallara una sección, aunque estas ventajas deben ponderarse con respecto a la incomodidad y dificultad para conectar las secciones de forma eficaz. Las conexiones interrumpen el perfil de la barrera y, siempre que sea posible, no deben coincidir con el punto de las concentraciones más densas de hidrocarburos. El diseño de los conectores debe permitir que se aprieten y aflojen fácilmente durante el despliegue y cuando la barrera se encuentre en el agua.

Los fabricantes ofrecen en el mercado muchos tipos diferentes de conectores de barreras. Aunque el predominio de conectores estándar de Unicon o ASTM (American Society for Testing and Materials) ha reducido la variedad, la gran cantidad de diseños disponibles puede provocar dificultades al unir barreras de diferentes orígenes y debe prestarse atención cuando se soliciten barreras de diferentes proveedores.

Otras características importantes son la resistencia a la tracción, facilidad y velocidad de despliegue, fiabilidad, peso y coste (Tabla 1). Resulta fundamental que una barrera sea suficientemente robusta y duradera para su finalidad prevista, ya que con frecuencia tiene que soportar los efectos de una manipulación inexperta, torsiones, desechos grandes y pesados

y la abrasión de rocas, muros de diques o coral (Figura 5). Se requiere resistencia estructural para que la barrera soporte las fuerzas del agua y del viento cuando se produzca el remolque o amarre. Evidentemente, la facilidad y velocidad de despliegue, combinadas con la fiabilidad, resultan muy importantes en una situación en la que las condiciones evolucionen con rapidez y pueden influir en la elección realizada.

Algunas barreras de bajo coste se diseñan para un solo uso, después del cual pueden incinerarse o devolverse al fabricante para su reciclaje. Es posible reutilizar repetidas veces muchas de las barreras más caras y robustas si se despliegan y mantienen correctamente. Normalmente, se requiere limpiar las barreras después del uso, lo cual puede resultar difícil para



▲ Figura 4: la corriente fuerte ha provocado que la barrera pierda verticalidad, lo que permite el escape de hidrocarburos por debajo del faldón.

Tipo de barrera	Método de flotación	Almacenamiento	Propiedad de seguimiento de las olas	¿Amarrada o remolcada?	Facilidad de limpieza	Coste relativo	Uso preferente
Barrera de cortina	Inflable	Compacta cuando se desinfla	Buena	Ambas	Sencilla	Alto	Costero o mar adentro
	Espuma maciza	Voluminosa	Razonable	Amarrada	Fácil / Sencilla	Rango intermedio a bajo	Aguas costeras protegidas, por ejemplo, puertos
Barrera de valla	Flotadores de espuma externos	Voluminosa	Deficiente	Amarrada	Difícil/Intermedia; pueden quedar hidrocarburos atrapados debajo de la flotación externa o en las uniones de las cámaras	Bajo	Aguas protegidas (p.ej. puertos, puertos deportivos)
Barrera de sellado	Cámara superior inflable, cámaras inferiores rellenas de agua	Compacta cuando se desinfla	Buena	Amarrada	Intermedia; pueden quedar hidrocarburos atrapados en la unión de las cámaras	Alto	A lo largo de orillas intermareales protegidas (sin rompientes)

▲ *Tabla 1: características de tipos de barrera comunes.*

algunos diseños (Figura 6). Habitualmente se emplea limpieza con vapor o disolventes, aunque es importante comprobar que el tejido de la barrera sea compatible con los productos químicos cuando se utilice este segundo método de limpieza. La retirada, mantenimiento y almacenamiento adecuados resultan importantes para prolongar la vida útil de una barrera y asegurar que siempre se encuentre preparada para el uso en breve plazo. Algunas barreras, particularmente los modelos autoinflables, son propensas a sufrir daños por abrasión si no se retiran con cuidado. Deben encontrarse a mano kits de reparación de emergencia para solucionar cualquier daño de poca importancia que, de no repararse, podría inutilizar el uso de una sección o incluso la longitud completa de la barrera. A

menudo resulta difícil reparar los daños graves en el tejido de la barrera y es posible que se tenga que sustituir la sección completa. El almacenamiento correcto de las barreras es importante para minimizar la degradación a largo plazo del material de la barrera debido a altas temperaturas, rayos ultravioletas o moho, aunque este problema no suele ser tan importante con materiales más avanzados, como por ejemplo poliuretano o neopreno. Las barreras inflables requieren un espacio de almacenamiento reducido cuando se desinflan, mientras que las barreras de flotador macizo son voluminosas. Debe considerarse este hecho al transportar barreras al emplazamiento o si el espacio de almacenamiento es limitado, por ejemplo a bordo de una embarcación.



▲ *Figura 5: una barrera puede dañarse con facilidad una vez desplegada. Se requiere prestar atención especial para asegurar que se mantenga su eficacia durante el ciclo de las mareas.*



▲ *Figura 6: la limpieza de hidrocarburos atrapados detrás de los flotadores externos de la barrera de valla puede resultar particularmente difícil.*

Fuerzas ejercidas sobre las barreras

Para estimar la fuerza aproximada F (kg) ejercida sobre una barrera con un área subsuperficial A (m^2) por una corriente con velocidad V (ms^{-1}), puede aplicarse la siguiente fórmula:

$$F = 100 \times A \times V^2$$

Por lo tanto, la fuerza aproximada que actúa sobre una longitud de 100 metros de barrera con un faldón de 0,6 metros en una corriente de $0,25 ms^{-1}$ (0,5 nudos) sería:

$$F = 100 \times (0,6 \times 100) \times (0,25)^2 \approx 375 \text{ kg (fuerza)}$$

En el gráfico de la Figura 7 puede observarse que, si se duplicara la velocidad de la corriente, la carga se multiplicaría por cuatro. La fuerza aproximada ejercida por el viento directamente sobre el francobordo de la barrera también puede ser considerable. Para estimar esta resistencia al viento, puede emplearse la fórmula anterior con el argumento de que, aproximadamente, una corriente de agua y una velocidad del viento 40 veces superior generan presiones equivalentes. Por ejemplo, la fuerza aproximada que actúa sobre una longitud de 100 metros de barrera con un francobordo de 0,5 metros en un viento de $7,5 ms^{-1}$ (15 nudos) sería:

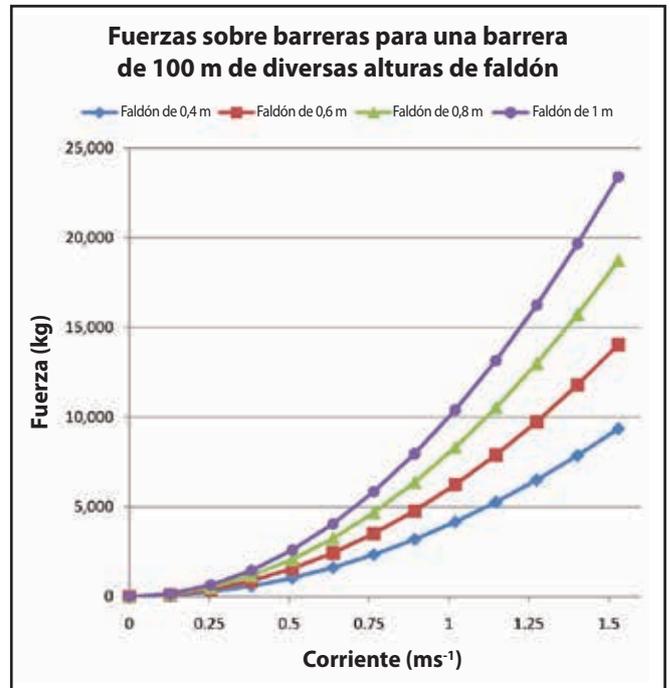
$$F = 100 \times (0,5 \times 100) \times (7,5/40)^2 \approx 175 \text{ kg (fuerza)}$$

En los ejemplos anteriores, las fuerzas combinadas de la corriente y el viento totalizarían aproximadamente 550 kg si actuaran en la misma dirección sobre una barrera rígida. En la práctica, la barrera se posicionaría en un cierto ángulo con respecto al flujo formando una curva, lo que modificará la magnitud y dirección de las fuerzas (consulte también la *Tabla 2* en la página 9). Sin embargo, estos cálculos proporcionan una orientación sobre las fuerzas y ayudan en la selección de embarcaciones de amarre o remolque. Cuando se realice el remolque de una barrera, debe introducirse su velocidad a través del agua como V en la fórmula que se indica al comienzo de esta sección.

Normalmente, las fuerzas que actúan sobre las barreras procedentes de olas que no estén rompiendo o marejadas son insustanciales. La barrera puede seguir el movimiento superficial del agua con pocas consecuencias si cuenta con el grado de flexibilidad necesario. Sin embargo, cuando una ola rompe contra una barrera, la carga instantánea resultante puede romper la barrera si la resistencia a la tracción y la resistencia del material son insuficientes.

Despliegue de barreras

La operación de despliegue de barreras puede plantear dificultades y posibles peligros. Las malas condiciones climatológicas y del mar imponen limitaciones en las operaciones, y la manipulación de equipos mojados y contaminados por hidrocarburos en embarcaciones sometidas a cabeceo y balanceo resulta compleja y puede poner al personal en riesgo. Incluso en condiciones ideales y de calma, es importante planificar y controlar correctamente las operaciones para minimizar estos riesgos y los posibles daños en la barrera. Debe elaborarse una estrategia adecuada dentro del proceso de planificación de contingencias. Antes de que se produzca un siniestro, deben tenerse plenamente en cuenta las condiciones locales, emplazamientos de despliegue, tipos de barreras y longitudes disponibles, configuraciones de barrera adecuadas y la disponibilidad de barcos de trabajo y de otros recursos. Además, debe considerarse la instalación de puntos de amarre de barreras fijos cuando resulte apropiado y se indicará su posición en un plan de contingencia. La planificación resulta particularmente relevante en el caso de



▲ *Figura 7: fuerzas ejercidas sobre una longitud de 100 metros de barrera con diversas profundidades de faldón; se muestra un aumento exponencial con respecto al incremento de la corriente.*

terminales petroleras e instalaciones similares, donde puede anticiparse el origen y, muy probablemente, el tamaño del derrame. Deben realizarse ejercicios periódicos de despliegue de barreras para que el personal de respuesta se familiarice plenamente con los procedimientos operativos.

Barreras remolcadas

El esparcimiento rápido de los hidrocarburos sobre un área extensa plantea un reto considerable para las operaciones de remolque de barreras en el mar. Con la intención de evitar el esparcimiento y contener los hidrocarburos para maximizar la tasa de encuentro de los skimmers, podrían remolcarse barreras largas, en forma de U, V o J mediante dos embarcaciones (*Figura 8*). Por ejemplo, barreras remolcadas de 300 metros puede permitir un ancho de barrido de hasta 100 metros. Disponer de dispositivos de recolección adecuados, y en cantidades suficientes, almacenados a bordo resulta esencial para el éxito general de la operación. Los skimmers pueden desplegarse desde una de las embarcaciones o desde una tercera embarcación situada detrás de la barrera (*Figura 9*). En la actualidad, rara vez se despliegan sistemas combinados de contención y recolección, con skimmers incorporados en la superficie de la barrera, porque solo tienen capacidad para recolectar una gama limitada de hidrocarburos debido a su complejidad. En el documento de ITOPIF Uso de skimmers en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos se trata el uso de skimmers con más detalle.

Los hidrocarburos pueden escapar más fácilmente por debajo de las conexiones inflexibles situadas entre secciones de la barrera. En consecuencia, para minimizar el escape de hidrocarburos, resulta importante asegurar que no exista ningún conector en el vértice de la barrera cuando se realice el remolque de una barrera dividida en secciones en una configuración en U, V o J. En el caso de una configuración en U, el uso de un número impar de secciones de barrera mitigaría este problema. Las barreras no deben conectarse directamente a los remolcadores para evitar tensiones bruscas o tirones. En lugar de esto, deben emplearse líneas de remolque



▲ *Figura 8: barrera inflable desplegada en una configuración en U entre dos embarcaciones para contener petróleo crudo pesado. La recolección de los hidrocarburos conllevará el éxito de la operación.*

con longitud suficiente entre los extremos de la barrera y el remolcador. Típicamente, líneas con una longitud mínima de 50 metros resultarían adecuadas para remolcar una barrera de 300 metros de longitud.

La observación es el mejor método para evaluar el rendimiento de la barrera. La pérdida de hidrocarburos por debajo de la barrera se evidenciará como glóbulos o gotas subiendo detrás de la barrera. Es posible que se observen brillos incluso cuando la barrera ofrezca un buen rendimiento. Las formaciones de remolinos debajo de la barrera indican que el remolque se realiza demasiado rápido.

Para maximizar el rendimiento, las embarcaciones deben mantener las barreras remolcadas en la configuración correcta y navegar a velocidades muy bajas, inferiores a la velocidad de escape. Esto implica que cada uno de los remolcadores requerirá al menos la mitad de la potencia total necesaria para remolcar la barrera a la velocidad máxima que permita realizar la retención de hidrocarburos, y debe tener la capacidad de maniobrar adecuadamente a bajas velocidades. Como orientación, cada caballo de potencia nominal de un motor



▲ *Figura 10: sistema de recolección con una única embarcación que emplea una barrera de cortina corta desplegada desde un catamarán de recolección de hidrocarburos, en petróleo crudo muy emulsionado.*



▲ *Figura 9: uso de una barrera de cortina con una configuración en V mediante dos remolcadores con una embarcación de recolección independiente en el vértice.*

intraborda corresponde a una capacidad de tracción de 20 kg. Las unidades de propulsión gemelas, los propulsores de proa y popa y las hélices de paso variable son recursos valiosos. Además, se requiere disponer un área de trabajo abierta y baja en la cubierta de popa con cabrestante, dispositivos de elevación o un carretel de barreras para manipular barreras voluminosas y pesadas. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que la exposición de la cubierta en estas embarcaciones puede crear condiciones peligrosas para la tripulación en condiciones de mar picado.

Debe identificarse el punto de remolque ideal a bordo de la embarcación mediante pruebas y es posible que sea necesario modificarlo según el rumbo y la dirección del viento. Por ejemplo, un buque de una sola hélice que realice el remolque desde la popa experimentará dificultades para maniobrar, y será preferible remolcar desde un punto más adelantado del barco. Debe mantenerse una buena comunicación entre los dos remolcadores para que ambos se desplacen a la misma velocidad y de manera controlada y coordinada. También se podría utilizar una aeronave equipada con comunicaciones aire-mar para coordinar



▲ *Figura 11: aunque la barrera es suficientemente flexible para seguir el movimiento de las olas, se ha elevado del agua en el punto de fijación al casco; esto puede permitir el escape de hidrocarburos desde el vértice.*



▲ *Figura 12: barrera inflable anclada alrededor de los restos de un buque parcialmente hundido para contener cualquier posible fuga de combustibles líquidos.*



▲ *Figura 13: barrera de cortina desplegada delante de la toma de agua de refrigeración de una central eléctrica.*

el movimiento y las actividades de las embarcaciones y para orientarlos hacia las áreas más gruesas de hidrocarburos.

Una única embarcación puede desempeñar las diversas funciones de contención, retirada, separación y almacenamiento. Puede emplearse una barrera flexible conectada a un tangón (Figura 10) o a un brazo de barrido rígido para contener y permitir la retirada de hidrocarburos. Con todos los sistemas de contención y recolección basados en la embarcación, pueden escaparse hidrocarburos de la barrera si se encuentra conectada rígidamente a la embarcación en condiciones de marejada (Figura 11). Los sistemas con una única embarcación son más flexibles que los métodos más complejos con varias embarcaciones, aunque la anchura o ancho de barrido de encuentro con los hidrocarburos se reduce al ser similar a la manga de la embarcación. Si el ancho de barrido es demasiado grande, la configuración puede complicarse y ser propensa a daños bajo condiciones meteorológicas adversas. Esta limitación sobre el ancho de barrido puede resultar menos importante cuando los hidrocarburos flotantes se hayan separado en hileras estrechas.

Las limitaciones sobre el rendimiento de la barrera, combinadas con limitaciones adicionales sobre el uso de skimmers, implican que las operaciones de contención y recolección en el mar solo ofrezcan resultados parcialmente satisfactorios en la mayoría de los casos.

Barreras amarradas

En circunstancias excepcionales, puede resultar apropiado realizar el anclaje de barreras para contener hidrocarburos derramados cerca de su origen, como por ejemplo un buque con fugas (Figura 12). Sin embargo, las aguas pueden estar excesivamente expuestas y las corrientes pueden ser demasiado fuertes para que las barreras amarradas sean efectivas y puede resultar difícil realizar el anclaje de barreras en aguas más profundas. Además, situar barreras cerca del origen puede generar un riesgo de incendio e interferir en los intentos de contención del flujo de hidrocarburos o de rescate de la embarcación. Incluso en condiciones de calma, grandes descargas instantáneas de hidrocarburos pueden inundar fácilmente una barrera, restándole toda su eficacia. Esto se cumple especialmente en el caso de los hidrocarburos ligeros, que normalmente se disipan de forma natural y con más eficacia sin el uso de barreras.

Con más frecuencia, las barreras se despliegan cerca de la orilla para proteger áreas sensibles como por ejemplo estuarios, marismas, manglares, zonas de recreo y tomas de agua (Figura 13). En la práctica, puede que no sea posible proteger

todos estos lugares. Por lo tanto, debe dedicarse una mucha atención a la planificación para identificar en primer lugar las áreas que se pueden proteger con barreras de forma eficaz y, en segundo lugar, establecer prioridades para su colocación.

Un reconocimiento aéreo puede resultar muy útil para identificar emplazamientos potencialmente adecuados para el uso de barreras, incluidos los puntos de acceso. Es posible que sea necesario hallar una solución intermedia entre requisitos contradictorios en la selección de una ubicación y método de despliegue. Por ejemplo, aunque se desee proteger un río completo, el estuario puede ser demasiado ancho o las corrientes demasiado fuertes para conseguirlo, especialmente si existe una influencia apreciable de las mareas. La fuerza de la aportación de flujos de ríos o estuarios puede anular la necesidad de desplegar barreras para evitar que los hidrocarburos se aproximen desde el mar.

Cuando sea necesario, puede buscarse una ubicación más adecuada aguas arriba, considerando la necesidad de acceso para desplegar la barrera y retirar los hidrocarburos atrapados. Si no se retiran los hidrocarburos a su ritmo de llegada a la posición costera, se acumularán y se desplazarán hacia el centro del río, donde las corrientes más fuertes pueden arrastrarlos por debajo de la barrera.

A menudo es preferible utilizar barreras para desviar hidrocarburos hacia aguas relativamente tranquilas (Figura 14), donde puedan ser recolectados, en lugar de intentar realizar la contención. Como se muestra en la Tabla 2, resulta viable desviar hidrocarburos flotantes incluso en una corriente de $1,5 \text{ ms}^{-1}$ (3 nudos), donde una barrera situada en posición perpendicular al flujo no podría contenerlos. Siguiendo este principio, puede protegerse un río si se coloca una barrera de forma oblicua con respecto a la dirección del flujo. Para mantener un canal de navegación o desviar hidrocarburos de un lado de un río a otro para facilitar la retirada, pueden escalonarse dos secciones de barreras desde bancos opuestos considerando la inversión del flujo de las mareas.

El amarre correcto de la barrera resulta fundamental porque el rendimiento depende de que se mantenga correctamente el ángulo de desviación con respecto a la fuerza de la corriente predominante. Es posible que se requieran puntos de anclaje frecuentes para mantener este ángulo y evitar la formación de alojamientos en la barrera que atraparían hidrocarburo, aunque el despliegue de múltiples amarres puede resultar inviable en una emergencia. Puede emplearse la fórmula para determinar



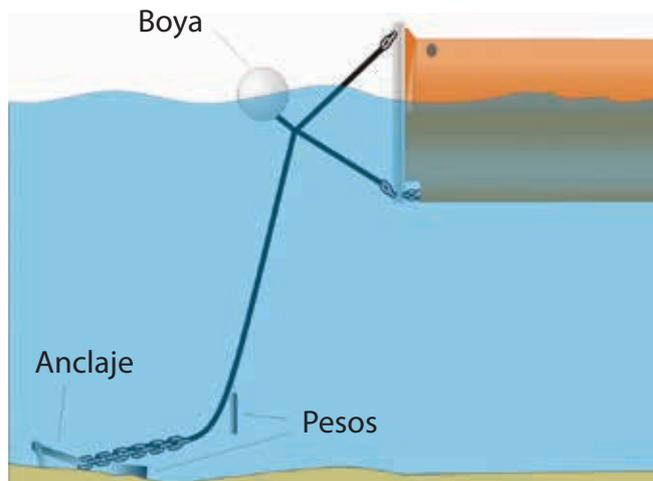
▲ *Figura 14: barrera utilizada como un espolón para desviar hidrocarburos hacia la orilla para su recolección (© Norwegian Coastal Administration).*

fuerzas que se indica en la página 6, junto con las Tablas 2 y 3, como orientación sobre el tamaño mínimo y el número de amarres necesarios para mantener una barrera en una corriente de fuerza conocida, teniendo también en cuenta el probable efecto máximo del viento. Mientras que un anclaje tipo Danforth es eficaz en fondos de arena y lodo (Figura 15), un anclaje de barco de pesca o de ganchos es preferible en fondos rocosos. Si se dispone de tiempo, pueden fraguarse bloques de hormigón para proporcionar puntos de amarre cómodos y fiables, aunque su peso en el aire debe triplicar al menos la carga esperada para compensar su flotabilidad en el agua de mar. Se necesitaría utilizar un barco de trabajo con dispositivos de elevación para manipular amarres pesados.

Independientemente del tipo de amarre que se utilice, es importante seleccionar la longitud de las líneas de amarre para que se adapten a la profundidad esperada del agua, marejadas y amplitud de las mareas (Figura 16). Si las líneas son demasiado cortas, la barrera no se moverá correctamente en el agua y los tirones que las olas provoquen en las líneas pueden soltar los amarres o dañar las barreras. Por otra parte, si las líneas son demasiado largas resultará difícil controlar la configuración. Una longitud de cadena pesada entre el anclaje y la línea mejora considerablemente la capacidad de sujeción de un anclaje, y el uso de una boya intermedia entre la barrera y el anclaje contribuirá a evitar la inmersión del extremo de la barrera. De igual forma, un peso colgado de las líneas de amarre evita que floten sobre la superficie cuando exista holgura.

Fuerza de la corriente (nudos)	(m/s)	Ángulo máx. (grados)
0,7	0,35	90
1,0	0,5	45
1,5	0,75	28
2,0	1,0	20
2,5	1,25	16
3,0	1,5	13

▲ *Tabla 2: ángulos máximos de despliegue con respecto a la dirección del flujo a diferentes fuerzas de corriente para barreras con tensión en la parte inferior para evitar el escape de hidrocarburo. Los cálculos se basan en una velocidad de escape de 0,7 nudos (0,35 m/s) a 90°.*



▲ *Figura 15: medidas típicas de amarre de barreras. Se utilizaría el mismo sistema a intervalos regulares a lo largo de la barrera.*

Los amarres magnéticos permiten conectar la barrera directamente a un costado de la embarcación. Los amarres deslizantes permiten el movimiento vertical de una barrera durante el ciclo de las mareas cuando se conectan a un punto predeterminado, como por ejemplo en la entrada de un puerto.

A menudo, cuando se despliega una barrera desde una línea de costa, se pueden emplear objetos fijos en la orilla, como árboles o rocas. En una costa sin características especiales, varias estacas (Figura 17) o un objeto enterrado, como un tronco, sirven como un punto de amarre excelente. Las barreras de sellado con el litoral con lastre de agua son más adecuadas para el despliegue en este entorno, ya que su diseño permite realizar la contención durante el ciclo de las mareas. Sin embargo, debe prestarse atención al colocar estas barreras antes de aplicar el lastre, puesto que resultan difíciles de manipular por parte del personal en tierra una vez rellenas (Figura 18). Estas barreras se utilizan con frecuencia junto con barreras de cortina.

El resultado de las consideraciones anteriores puede combinarse en un plan de barreras específico para el emplazamiento que identifique puntos de amarre, puntos de retirada de hidrocarburos, rutas de acceso y la longitud y tipo de barrera para la ubicación particular. Antes de incluir estos planes en los planes de contingencia locales, deben someterse a pruebas prácticas de verificación bajo diversas condiciones de las mareas, para confirmar con certeza que las medidas ofrecerán los resultados esperados.

Los vientos, las corrientes y las mareas están sujetos a cambios, por lo tanto también lo estará la configuración de una barrera. Resultará necesario realizar comprobaciones

Peso del anclaje (kg)	Fuerza de sujeción (kg fuerza)		
	Lodo	Arena	Arcilla
15	200	250	300
25	350	400	500
35	600	700	700

▲ *Tabla 3: fuerza de sujeción de anclajes tipo Danforth en lodo suelto, arena o grava y arcilla.*



▲ *Figura 16: el uso de una línea de amarre de longitud insuficiente ha provocado que la barrera quede suspendida durante la marea baja, lo que permite el paso de hidrocarburos por debajo. Será necesario efectuar el ajuste regular de las líneas para mantener la barrera en una posición eficaz durante el ciclo de las mareas. El uso de amarres deslizantes ofrecería mejores resultados en este escenario.*

y reajustes frecuentes de los amarres y deberán retirarse inmediatamente los hidrocarburos y desechos contenidos; de lo contrario, el rendimiento y las ventajas que proporcionaría la barrera disminuirán considerablemente. Es importante permitir margen para la expansión y contracción del aire en barreras inflables cuando la temperatura del aire sea caliente de día y fría de noche. Esto puede requerir liberar aire durante el día y volver a inflar la barrera de noche. Las barreras pueden sufrir daños provocados por la navegación de embarcaciones, especialmente de noche, y la adopción de medidas de precaución, como informar a los marinos y balizar las barreras con luces de advertencia, puede ayudar a evitar estos daños. Las barreras con colores brillantes son más visibles durante el día y se detectan con más facilidad mediante luces por la noche.

Además de utilizar barreras para interceptar o desviar hidrocarburos, éstas pueden emplearse en áreas protegidas, donde los hidrocarburos se hayan acumulado de forma natural, para evitar que se desplacen si las condiciones cambiaran (Figura 19).



▲ *Figura 18: despliegue en un estuario de una barrera de sellado con el litoral. Las cámaras inferiores de lastre de agua permiten que la barrera se asiente sobre la orilla durante la marea baja. En este caso, se conectan secciones de la barrera de sellado con el litoral a secciones de barrera de cortina inflable.*



▲ *Figura 17: estacas de amarre para mantener la barrera en posición en una costa sin árboles u otros anclajes naturales.*

Esto no solo minimiza el alcance de la contaminación, sino que también permite la retirada controlada los hidrocarburos atrapados. Las barreras también pueden ayudar en la limpieza de la costa mediante la contención de los hidrocarburos retirados de playas y rocas, por ejemplo con operaciones de lavado con agua o a presión. Al quedar retenidos en la barrera, los hidrocarburos se pueden concentrar y desplazar hacia dispositivos de retirada. En algunas circunstancias, pueden emplearse barreras sencillas y desechables con adsorbente para recolectar películas finas de hidrocarburos, aunque debe controlarse estrechamente su uso. El uso de materiales adsorbentes se trata en un documento técnico de ITOFF.

Sistemas alternativos

Se han instalado barreras de burbujas de forma permanente para proteger puertos, donde las corrientes son relativamente bajas y las barreras flotantes obstaculizarían el movimiento de las embarcaciones. Se genera una cortina ascendente de burbujas cuando se bombea aire en una tubería perforada



▲ *Figura 19: hidrocarburos semisólidos retenidos contra la costa mediante una sección de barrera inflable para facilitar la recolección.*



▲ *Figura 20: barrera improvisada construida con redes y paja. Aunque no es esperable que resista más de un ciclo de las mareas, puede servir para reducir la contaminación de la costa por la llegada de hidrocarburos flotantes.*



▲ *Figura 21: barrera construida con caparzones de ostras, sujeta mediante estacas y redes.*

situada en el fondo marino. Las burbujas de aire crean una contracorriente sobre la superficie que retienen los hidrocarburos contra un flujo de agua de $0,35 \text{ ms}^{-1}$ (0,7 nudos). Sin embargo, su eficacia se limita a películas finas de hidrocarburos en condiciones de calma, puesto que incluso un viento leve puede provocar el escape de hidrocarburos. Incluso sistemas sencillos requieren el uso de un número considerable de compresores para suministrar suficiente aire. Es imprescindible realizar comprobaciones periódicas de estos sistemas para asegurar que los orificios de aire en las tuberías perforadas no estén bloqueados por limo u organismos marinos.

Cuando el equipo construido expresamente no esté disponible, se puede contener o retirar hidrocarburos con sistemas improvisados, fabricados con los materiales disponibles en el lugar. Pueden fabricarse barreras ancladas

alternativas a partir de madera, bidones de aceite, mangueras contra incendios infladas, neumáticos de caucho o redes de pesca rellenas de paja (*Figura 20*). En aguas poco profundas, pueden clavarse estacas en el fondo para soportar pantallas o esterillas fabricadas de arpillera, cañas, bambú u otros materiales similares (*Figura 21*). En estos casos, la barrera u obstáculo también puede actuar como adsorbente para asistir en la recolección de los hidrocarburos.

En playas arenosas largas, pueden construirse bancos de arena en aguas poco profundas con excavadoras para interceptar el movimiento de los hidrocarburos a lo largo de la costa o para evitar que estos se introduzcan en estuarios estrechos o lagunas. Sin embargo, estas medidas deben emplearse con cautela porque requieren un esfuerzo considerable, pueden ser retiradas con rapidez por corrientes o mareas sucesivas y podrían dañar la estructura o ecología de la playa.

Puntos clave

- Determinar las prioridades de protección que permitan utilizar las barreras disponibles con la máxima eficacia.
- Decidir si es posible proteger las áreas seleccionadas mediante barreras remolcadas o amarradas.
- Obtener tanta información como sea posible sobre corrientes, mareas y vientos.
- Calcular las fuerzas que probablemente se ejercerán sobre las barreras.
- Revisar los diseños de barreras disponibles y seleccionar el mejor para las condiciones del uso esperado.
- Considerar la fiabilidad, facilidad, velocidad de despliegue y las medidas necesarias para el almacenamiento, mantenimiento y reparación adecuados.
- Seleccionar embarcaciones adecuadas para el remolque y considerar la logística necesaria para apoyar las operaciones en el mar.
- Identificar ubicaciones para el despliegue correcto de las barreras y desarrollar y verificar planes de barreras para incluirlos en los planes de contingencia nacionales y locales.
- Impartir formación exhaustiva al personal y mantener sus habilidades mediante ejercicios prácticos.
- Valorar las limitaciones de las barreras en la contención de hidrocarburos y comprender la necesidad de improvisar según sea necesario.

DOCUMENTO DE INFORMACIÓN TÉCNICA

- 1 Observación aérea de derrames de hidrocarburos en el mar
- 2 Destino de los derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 3 Uso de barreras en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos
- 4 Uso de dispersantes para el tratamiento de derrames de hidrocarburos
- 5 Uso de skimmers en la respuesta a la contaminación por hidrocarburos
- 6 Reconocimiento de hidrocarburos en costas
- 7 Limpieza de costas contaminadas por hidrocarburos
- 8 Uso de materiales adsorbentes en la respuesta a derrames de hidrocarburos
- 9 Eliminación de hidrocarburos y desechos
- 10 Liderazgo, control y gestión de derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 11 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el sector de la pesca y acuicultura
- 12 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en las actividades sociales y económicas
- 13 Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino
- 14 Muestreo y monitorización de derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 15 Preparación y presentación de reclamaciones de contaminación por hidrocarburos
- 16 Planificación de contingencias para derrames de hidrocarburos en el medio marino
- 17 Respuesta a siniestros relacionados con productos químicos en el medio marino

ITOPF es una organización sin ánimo de lucro constituida en nombre de los armadores de todo el mundo y sus aseguradoras para fomentar la respuesta eficaz a los derrames marinos de hidrocarburos, productos químicos y otras sustancias peligrosas. Los servicios técnicos incluyen respuesta a emergencias, asesoramiento en materia de técnicas de limpieza, evaluación de daños, análisis de reclamaciones, asistencia en la planificación de la respuesta a derrames y la prestación de servicios de capacitación. ITOPF es una fuente de información integral sobre contaminación marina por hidrocarburos y este documento pertenece a una serie basada en la experiencia del personal técnico de ITOPF. La información que se incluye en este documento puede reproducirse con la autorización expresa previa de ITOPF. Para obtener información adicional póngase en contacto con:



ITOPF Ltd

1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7566 6999
Fax: +44 (0)20 7566 6950
24hr: +44 (0)20 7566 6998

E-mail: central@itopf.org
Web: www.itopf.org