

**REMEDIACION DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO LA
TECNOLOGIA DE NANO PARTICULAS.**

**CHRISTIAN ANDRES CAÑIZALES TORRES
JULIAN RICARDO REY CALA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANAGA**

2014

**REMEDIACION DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO LA
TECNOLOGIA DE NANO PARTICULAS**

**CHRISTIAN ANDRES CAÑIZALES TORRES
JULIAN RICARDO REY CALA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO DE PETROLEOS**

**Director
ING. OSCAR VANEGAS ANGARITA**

**Calificadores:
HARVING DIAZ CONSUEGRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA INGENIERIA DE PETROLEOS
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Primero a Dios por brindarme la fortaleza para continuar a pesar de las adversidades.

A mis padres quienes tuvieron la paciencia suficiente y me brindaron todo el apoyo, el soporte de manera incondicional para así lograr concluir mis metas.

A mi familia por estar presentes y brindarme su ayuda a través de este proceso.

Y a mis amigos por estar hay con sus consejos ante cualquier problema.

CHRISTIAN ANDRES CAÑIZALES TORRES.

DEDICATORIA

A dios por permitir cumplir cada meta anhelada para mi vida.

A mi familia por el constante apoyo que a pesar de los obstáculos estuvieron presentes y contribuyeron a esa voz de aliento que en momento fueron necesarios para continuar este proceso y ahora poderlo ser realidad.

A mi madre por ese apoyo incondicional hace posible que sea quien soy hoy en día, y por ser quien la que me da la fortaleza de seguir surgiendo en cada meta propuesta en mi vida.

A mis amigos que en algún momento cuando me sentía derrotado me decían fuerza para adelanté ni un paso atrás, gracias a esas palabras me dieron fortaleza de continuar.

JULIAN REY CALA.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la sabiduría y las cosas necesarias para proyectar y alcanzar las metas propuestas en la vida de la mejor manera posible.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la oportunidad de llevar a cabo nuestros estudios.

A la escuela de Ingeniería de Petróleos y a sus docentes por contribuir en la formación profesional y personal de cada uno de nosotros.

Al ingeniero Oscar Vanegas Angarita nuestro director por la confianza depositada durante el proceso, así como el apoyo y consejos constructivos los cuales fueron de vital importancia para la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	19
1. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL PETROLEO.....	21
1.1 GENERALIDADES.....	21
1.2 CARACTERISTICAS, PROPIEDADES Y COMPOSICION DEL PETROLEO	22
1.3 CARACTERISTICIAS FISICOQUIMICAS ASOCIADAS A RIESGO	24
1.4 CAUSAS QUE PRODUCEN DERRAMES DE CRUDOS	25
2. COMPORTAMIENTO DE CRUDO EN DISTINTOS MEDIOS	27
2.1 COMPORTAMIENTO DEL CRUDO EN TIERRA	27
2.1.1 Evaporación.	27
2.1.2 Infiltracion.....	28
2.1.3 Biodegradacion	28
2.1.4 Adherencia Superficial.....	28
2.2 COMPORTAMIENTO DEL CRUDO EN CUERPOS DE AGUA.....	29
2.2.1 Esparcimiento	29
2.2.2 Evaporación	30
2.2.3 Emulsificación	30
2.2.4 Dispersión	30
2.2.5 Disolución.....	31
2.2.6 Fotolisis	31
2.2.7 Biodegradación	31
2.2.8 Oxidación Atmosferica.....	32
2.2.9 Hundimiento	32
2.2.10 Intemperización.....	32
2.2.11 Resurgimiento.....	32
3. PRINCIPALES MEDIOS DE TRANSPORTE	34
3.1 OLEODUCTOS	34

3.1.1 Características de las Tuberías	35
3.1.2 Flujo de fluidos por tubería	36
3.1.3 Mantenimiento.....	36
3.2 BARCOS PETROLEROS.....	37
3.2.1 Características barcos petroleros	39
3.2.2 Reseña histórica de barcos accidentados	41
3.2.3 Marea negra.....	56
4. EFECTOS DE DERRAME DE CRUDO.....	57
4.1 COMPONENTE ABIOTICO.....	57
4.1.1 Aire.....	58
4.1.2 Agua.....	58
4.1.3 Componente geologico.....	61
4.2 COMPONENTE BIOTICO	61
4.2.1 Flora.....	62
4.2.2 Fauna.....	64
4.3 COMPONENTE SOCIOECONOMICO	70
4.3.1 Índice de sensibilidad ambiental.....	70
4.4 COMPONENTE HUMANO.....	73
5. METODOS CONVENCIONALES PARA EL CONTROL Y RECOLECCION DE DERRAMES	75
5.1 METODO MECANICO	75
5.1.1 Barreras de contención	77
5.1.1.1 Tipos de barrera.....	79
5.1.1.2 Criterios de selección para barreras de contención.....	89
5.1.1.3 Fallas y límites de las barreras.....	90
5.1.2 Equipos o elementos recolectores.....	92
5.1.2.1 Dispositivos de inducción..	93
5.1.2.2 Dispositivos de compuerta.	98
5.1.2.3 Dispositivos oleófilicos.	102
5.1.3 SORBENTES	106

5.2	METODO QUIMICO	109
5.2.1	Dispersantes	110
5.3	METODO FISICOS	119
5.4	METODO BIOLOGICOS	121
5.4.1	Bioremediacion.....	121
5.4.1.1	Técnicas de bioremediacion.....	122
6.	METODO DE CONTROL DE DERRAMES POR MEDIO DE LA TECNOLOGIA DE NANOPARTICULAS	126
6.1	NANOTECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA PETROLERA.....	126
6.2.1	Nanomateriales	130
6.2.1.1	Aerogeles.....	131
6.2.1.2	Nano dispersantes.	135
6.2.1.3	Organoarcillas hidrofóbicas.....	137
6.2.1.4	Materiales magnéticos	137
6.2.1.5	Membranas nanocables.....	142
6.2.1.6	Nanoestructuras de carbono	145
6.2.1.7	Almohadillas de algodón absorbentes (fibertect).....	150
6.3	APLICABILIDAD ANTE LA INDUSTRIA.....	152
7.	CONCLUSIONES	157
8.	RECOMENDACIONES	160
	BIBLIOGRAFIA.....	161

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales componentes estructurales del crudo	23
Figura 2. Proceso que tiene lugar tras un derrame de hidrocarburo	33
Figura 3. Clasificación de la contaminación por superpetroleros.....	38
Figura 4. Buque petrolero	40
Figura 5. Accidente de Jakob Maersk	42
Figura 6. Accidente del Olmpyc Bravery	43
Figura 7. Incendio del Buque Urquiola	44
Figura 8. Accidente de Amoco Cádiz.....	46
Figura 9. Accidente del petrolero Exxon Valdez.....	47
Figura 10. Mega Borg	47
Figura 11. Mar Egeo	48
Figura 12. Hundimiento del Buque Erika.....	49
Figura 13. Buque Jessica	50
Figura 14. Incendio del Superpetrolero Limburg	51
Figura 15. Explosión del Buque Tanque Vicuña	52
Figura 16. Buque Encallado.....	55
Figura 17. Ave ensuciada de petróleo.....	59
Figura 18. Procesos involucrados en la transformación del crudo derramado en el mar	60
Figura 19. Limpieza de Ave Empetro lada	69
Figura 20. Hombre afectado por derrame de crudo	73
Figura 21. Uso de barreras de contención	77
Figura 22. Nomenclatura de una Barrera.....	79
Figura 23. Barrera de cortina de flotador macizo	80
Figura 24. Barrera de flotación inflable a presión	81
Figura 25. Barrera de flotación auto inflable.....	83
Figura 26. Barrera de Valla.....	84

Figura 27. Barrera de valla con órgano de tracción externa	85
Figura 28. Barrera de sellado con el litoral	86
Figura 29. Barrera neumática	88
Figura 30. Inclinación de la barrera en la dirección de la corriente.....	90
Figura 31. Falla de la barrera (1) salpicaduras, (2) drenaje, (3) arrastre	91
Figura 32. Molinete de inducción	94
Figura 33. Hidrociclón/Torbellino	95
Figura 34. Plano sumergido	96
Figura 35. Compuerta de avance.....	98
Figura 36. Compuerta básica.....	99
Figura 37. Compuerta de fuerza	100
Figura 38. Compuerta auto-niveladora.....	101
Figura 39. Fregadora de cuerdas.....	103
Figura 40. Cepillo oleofílico	104
Figura 41. Discos oleofílicos	105
Figura 42. Actuación del dispersante	111
Figura 43. Aplicación de dispersantes desde aeronaves	116
Figura 44. Aplicación desde embarcaciones.....	117
Figura 45. Derrame de petróleo y químicos	119
Figura 46. Aerogeles de sílice hidrofóbico	131
Figura 47. Aero gel Derivado de Cascara de Arroz.....	135
Figura 48. Nano dispersantes	136
Figura 49. Nanopartículas hidrofóbicas de núcleo cubierto magnético de Fe_2O_3	139
Figura 50. Nanopartículas cubierta de hidrocarburos con propiedades magnéticas	139
Figura 51. Membranas nano cables.....	143
Figura 52. Robot Sea Swarm.....	144
Figura 53. Grafito exfoliado.....	145
Figura 54. Esponjas de nanotubos de carbono	146
Figura 55. Óxido de grafito exfoliado térmicamente	148

Figura 56. Material de carbono reactivo 149
Figura 57. Almohadillas de algodón 151

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de cortina de flotador macizo	80
Tabla 2. Barrera de flotación inflable a presión	82
Tabla 3. Ventajas y Desventajas Barrera de flotación auto inflable	83
Tabla 4. Ventajas y Desventajas Barrera de Valla	84
Tabla 5. Ventajas y Desventajas Barrera de valla con organo de traccion externa	85
Tabla 6. Ventajas y Desventajas Barrera de sellado con el litoral	87
Tabla 7. Ventajas y Desventajas Barrera neumática.....	88
Tabla 8. Elección de barrera para distintas condiciones de operación	89
Tabla 9. Ventajas e inconvenientes Molinete de inducción	94
Tabla 10. Ventajas e inconvenientes Hidrociclón/Torbellino	96
Tabla 11. Ventajas e inconvenientes Plano sumergido	97
Tabla 12. Ventajas e inconvenientes Compuerta de avance.....	98
Tabla 13. Ventajas e inconvenientes compuerta básica	100
Tabla 14. Ventajas e inconvenientes compuerta de fuerza	101
Tabla 15. Ventajas e inconvenientes compuerta auto niveladora.....	102
Tabla 16. Ventajas e inconvenientes fregadora de cuerdas	103
Tabla 17. Ventajas e inconvenientes Cepillo oleofilico	104
Tabla 18. Ventajas e inconvenientes Discos oleofilicos	106
Tabla 19. Capacidad de absorción de los sorbentes.....	107
Tabla 20. Aplicaciones de materiales sorbentes	108
Tabla 21. Tipo de dispersantes.....	113
Tabla 22. Tipo y uso de hidrocarburo y dispersantes	114
Tabla 23. Capacidad de absorción de materiales nanotecnológicos.....	156

RESUMEN

TITULO: REMEDIACION DE DERRAMES DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO LA TECNOLOGIA DE NANOPARTICULAS *

AUTORES: CHRISTIAN ANDRES CAÑIZALES TORRES**

JULIAN RICARDO REY CALA

PALABRAS CLAVES: Remediación de derrames, Nanotecnología, Nano partículas, Biodegradacion, Nanomateriales

DESCRIPCION

La tecnología de nanopartículas en los últimos años ha tenido un avance significativo donde depende directamente de la forma, procedimiento y fin para lo que se da la manipulación de la materia en la escala nano. Estos materiales utilizados son llamados nanomateriales, los cuales pueden obtenerse del medio ambiente con sus características naturales o también pueden ser generados de forma sintética a los cuales se les atribuye características especiales. A su vez los nanomateriales pueden ser subdivididos en nanopartículas, nanocapas y nanocompuestos

En la industria petrolera se han involucrado prácticas para la remediación de derrames de hidrocarburos utilizando métodos convencionales para el control y recolección de este, dicha aplicación ha consistido en aplicación de químicos o sorbentes que nos permitan la recuperación o biodegradación disminuyendo el daño ambiental ocasionado.

En este trabajo se analizará y comparará el uso de métodos convencionales y nanotecnología usada para la remediación de derrames y cuanta efectividad tiene cada uno de estos, en recuperar la mayor cantidad de crudo y el menos perjudicial para el medio ambiente a la hora de ser aplicado.

Finalmente se plasma una serie de comparaciones recopiladas en los estudios realizados del uso de nano partículas y los métodos convencionales para así concluir y determinar que viabilidad tendrían desde los diferentes puntos de vista el uso de nano partículas en la remediación de derrames de hidrocarburos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Ing. Oscar Vanegas
Angarita Calificadores: Harving Díaz Consuegra

ABSTRACT

TITLE: SPILL OIL REMEDIATION USING NANOPARTICLE'S TECHNOLOGY*

AUTHORS: CHRISTIAN ANDRES CAÑIZALES TORRES**

JULIAN RICARDO REY CALA

KEYWORDS: Oil Spill Remediation, Nanotechnology, Nanoparticles, biodegradation, Nanomaterials.

DESCRIPTION

Nanoparticle technology in recent years has made a significant progress which depends directly on the form, method and purpose for which the manipulation of matter at nanoscale. These materials are called nanomaterials, which can be obtained from their natural environment with its own characteristics or can also be generated synthetically which attribute some special features. Nanomaterials in turn can be subdivided into nanoparticles, nanofilms and nanocomposites.

The oil industry have been involved in different practices for oil spill remediation using conventional methods for the control and recovery of this, those methods has involved the application of chemicals or sorbents that allow us the recovery or biodegradation lowering the possible environmental damage.

In this document we analyze and compare the use of conventional methods and nanotechnology used for remediation of spills and how effectively is each of these to recover as much oil and the less harmful to the environment when it is applied.

Finally a succession of compiled comparisons in the studies of the use of nanoparticles and conventional methods was made, thus conclude and determine that viability of those methods from different points of view to the use of nanoparticles for oil spill remediation.

* Bachelor Thesis

**Facultad de Ingeniería Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director Ing. Oscar Vanegas Angarita Calificadores: Harving Díaz Consuegra

INTRODUCCION

En las últimas décadas la tecnología de nano partículas ha generado un avance significativo en los distintos campos donde se ha aplicado, tanto así que está se va desarrollando cada vez con más rapidez, así la ciencia y la tecnología comenzaron a exigir mucho más con el pasar de los años, interactuando en todos los niveles tales como: económico, científico, político, educacional, etc. Convirtiéndose en un papel fundamental en cualquier modelo de desarrollo, donde se debe establecer de forma muy precisa los límites entre la interacción científica, tecnológica y humana. La nanotecnología ofrece revolucionar las tecnologías multidisciplinarias, permitiendo a la sociedad maximizar la eficacia en procesos tanto productivos como sociales. Nanotecnología se define como el campo de las ciencias aplicadas dedicado al control y el manejo de la materia a una escala de nanómetros, indicando una escala atómica y molecular.

El reciente derrame de aceite en el Golfo de México es ampliamente conocido por ser uno de los más grandes desastres oceánicos en derrames en la historia mundial. De nuevo los derrames han aumentado las preocupaciones mundiales acerca de cómo impactan en el medio ambiente, tales como los derrames causados ya sea en accidentes mar adentro, o durante carga o descarga en puertos. Similar preocupación se da en las plataformas costa afuera de extracción de crudo, como dado el reciente acontecimiento ya mencionado, este tipo de derrames generan estragos a la ecología marina (aves marinas, mamíferos, algas, corales, etc.) además del peligro al bienestar de la población humana localizada cerca de las zonas costeras. Por otra parte la pérdida económica sufrida por las compañías petroleras es enorme, tal fue el caso de BP que el costo invertido por responsabilidad del derrame del Golfo de México estaba alrededor de 8 mil millones de dólares.

Numerosas soluciones se han propuesto para tratar los problemas generados por derrames de hidrocarburos, estos incluyen el uso de microorganismos tales como bacterias que digieren el aceite, también el uso de barreras mecánicas, sorbentes que remueven el aceite del agua a través de absorción o adsorción o dispersantes químicos como detergentes etc. Estas técnicas convencionales no son adecuadas para resolver el problema de derrames masivos. En los últimos años la nanotecnología ha emergido como una fuente potencial a solucionar los diferentes problemas sobresalientes en el mundo. Aunque la aplicación de nanotecnología para la limpieza de derrames se encuentra en etapas primarias, ofrece una interacción sana con el medio ambiente donde este no se ve afectado debido a las acciones industriales y tecnologías que el ser humano realiza, ha crecido tanto el interés que en último par de años buscan encontrar nuevas formas las cuales sean adecuadas y viables para la limpieza de derrames por medio de nano materiales.

1. CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL PETROLEO

1.1 GENERALIDADES

Cuando el petróleo por cuestiones accidentales, operacionales, entre otras o incluso intencionales tales como terrorismo, es vertido en el medio ambiente, origina lo que llamamos derrame de crudo, denominándose una descarga sin control de un volumen de fluido de manera imprevista y accidental no deseada, la cual produce una contaminación ambiental ya sea terrestre o acuática.

Los derrames de crudo pueden suceder en tierra ya sea solo suelos, o alcanzando cuerpos de agua, tales como vertientes, ríos, quebradas, lagos e incluso océanos. O en mares cuando el siniestro ocurre costa afuera.

Estos accidentes pueden ocurrir por distintos fenómenos tales como:

- Manipulación de crudo en plantas recolección, sistemas de refinamiento, torres de perforación, oleoductos etc. Que por problemas operacionales conllevan a un accidente produciendo derrames.
- Colisión de barcos petroleros o problemas en plataformas tanto en superficie, como en el lecho marino.

Los accidentes ocurridos en operaciones petroleras pueden ser catalogados en distintos grupos tales como incendio, explosión, emisión entre otros, donde los derrames son considerados en la categoría de emisión, también se encuentra escape de gases, donde estos pueden ser analizados según el tipo de fuga que se produzca, así puede ser por dos opciones primero se podrá producir debido a un derrame del equipo en donde se deberá evaluar el caudal, la duración y el área que

abarque el derrame respecto a esa fuga, para lo cual se podrá definir si este puede generar ignición o no, en que caso que no se produzca ignición este se denotara como un agente contaminante al ambiente, mientras que cuando se produzca ignición tendrá características factibles para un posible incendio de la zona afectada. Cuando no se produce derrame en el equipo, este se dirigirá directamente a su ignición, por lo cual se produce un incendio en el área confinada llamado “Boil Over”².

En secciones posteriores explicaremos a profundidad las causas que implican a los derrames de hidrocarburos a nivel mundial.

1.2 CARACTERISTICAS, PROPIEDADES Y COMPOSICION DEL PETROLEO

El petróleo o crudo normalmente denominado aceite es un líquido que dependiendo de su composición y tanto temperaturas o presiones a las que esté presente puede variar su viscosidad además es un líquido oleoso, con altas características volátiles, también tiende a variar su color entre incoloro a negro, además está compuesto por una mezcla de hidrocarburos con pequeñas trazas de otros compuestos tales como agua, oxígeno, nitrógeno, azufre etc.

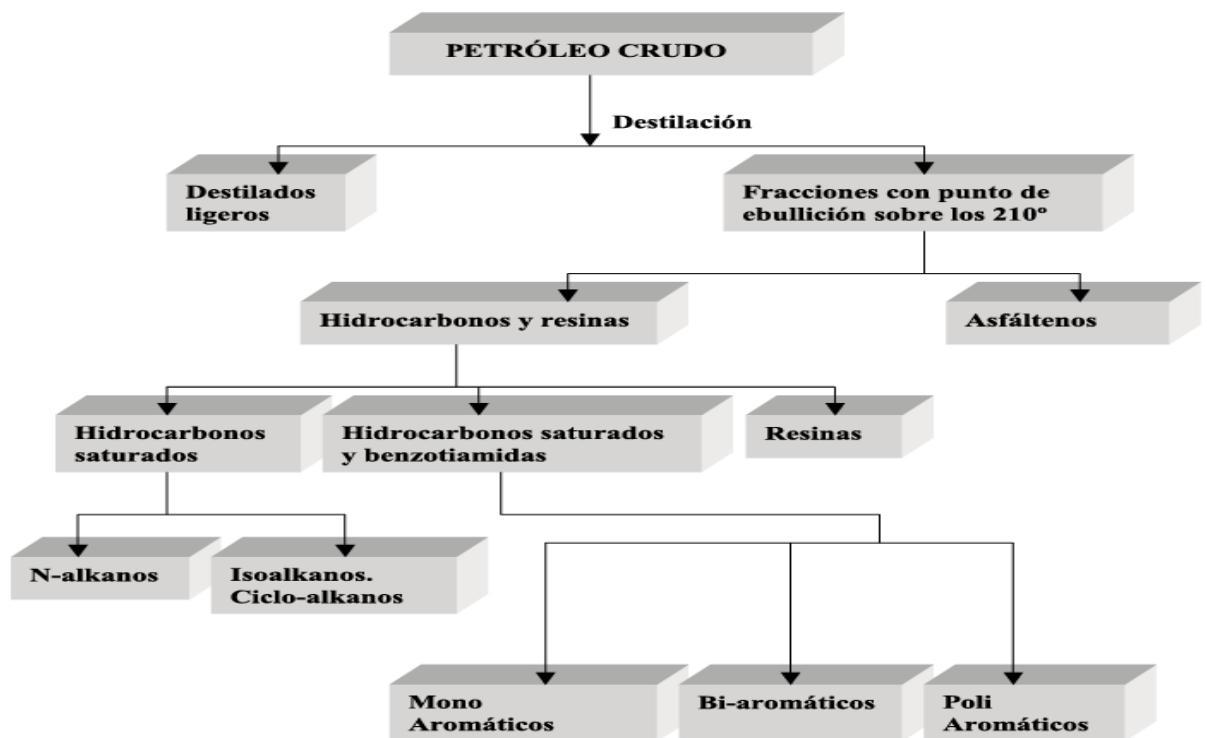
En el ambiente petrolero se refiere a la palabra crudo como al petróleo sin ser aun tratado en refinería. Estos crudos al ser combinación de hidrocarburos con su propio peso y estructura molecular están contemplados en tres grupos los cuales son aromáticos, naftenos, y parafinicos.

Estos hidrocarburos pueden ser procesados en distintas formas desde asfaltos utilizados en carreteras, pasando por plásticos comúnmente usados hasta los

² Stroch de García, j.m “manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras”. Madrid, McGraw Hill, volumen I 1998.

aceites con mayor volatilidad, en donde está comprendida la gasolina común. Además de estos también están los hidrocarburos gaseosos los cuales dependiendo de la presión a la que se manejen pueden llegar a ser líquidos también, debido a que este se encuentra debajo de su punto de saturación. Aun así este en yacimiento puede ser encontrado tanto en forma de gas como líquido por lo anteriormente mencionado.

Figura 1. Principales componentes estructurales del crudo³



Mediante un proceso de destilación el petróleo (crudo) se clasifica en destilados ligeros y fracciones que alcanzan temperatura de 210 grados en su punto de ebullición, de lo cual se forman asfáltenos, hidrocarburos y resinas.

³ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Los hidrocarburos y resinas son clasificados en tres tipos: Resinas, hidrocarburos saturados de donde se forman (N-alcenos e isoalcenos), hidrocarburos saturados y benzotiamidas que forman tres clases de aromáticos que son (Mono, Bi y Poli).

Aun así el crudo dependiendo de sus características como su API que puede variar dependiendo de cada yacimiento explotado el cual no siempre tendrá como finalidad combustibles como gasolinas si no que puede ser usado para otros procesos industriales.

1.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS ASOCIADAS A RIESGO

Las principales características del petróleo que conllevan a riesgos ambientales son:

- a. **Volatilidad:** Esta se puede apreciar debido a la evaporación que el crudo presenta esto debido a sus componentes livianos, el cual al aumentar la temperatura en el medio en que este crudo se encuentra, este empieza a liberar sus componentes livianos en forma gaseosa creando una capa de vapor superficial que puede reaccionar ante cualquier fuente de ignición.
- b. **Densidad y actividad superficial:** Nos muestra la tendencia que tienen los hidrocarburos ante otros medios líquidos a hundirse o dispersarse a través de él.
- c. **Solubilidad:** Los crudos de alto peso molecular son insolubles en agua. Pero algunos productos internos como bencenos o incluso los naftenos pueden ser solubles en un cuerpo de agua lo cual genera un ambiente tóxico en el cuerpo de agua en el cual este presente.

- d. Toxicidad:** Esto se produce debido a los hidrocarburos con cadenas aromáticas a bajo punto de ebullición son letales a cualquier tipo de organismos tanto terrestre como marino. Mientras que los parafinicos presentan menos toxicidad la cual incluso puede ser no toxica para seres vivos.
- e. Biodegradabilidad:** Esta se encuentra en función del peso molecular de sus componentes y las características de este, por lo cual esta tasa de biodegradación depende del contenido de nutrientes (nitrógeno fosforo) oxígeno disuelto, salinidad área superficial del derrame, composición y tamaño de la población microbiana los cuales pueden crear toxicidad en el agua, además de distintos problemas con los seres en los que se encuentre en contacto.

1.4 CAUSAS QUE PRODUCEN DERRAMES DE CRUDOS

Se presentan distintas formas en que el crudo pueda ser derramado en el medio ambiente, los cuales son:

- Reventones por perforaciones de pozos o mal proceso de producción.
- Operaciones de carga o descarga en terminales.
- Accidentes de barcos petroleros. En ocasiones son causados o inesperados.
- Trabajos en refinerías.
- Atentados a infraestructuras petroleras.
- Rebosamiento de tanques.
- Desastres por fuerzas naturales (terremotos, temblores, avalanchas, tormentas, etc.).causan eventos inesperados alterando el medio.
- Pequeñas fugas en oleoductos. En ocasiones debido al falta del mantenimiento a las tuberías o equipos que lo conforman
- Filtración natural del petróleo procedente de depósitos submarinos esta filtración resulta muy difícil de estimar.

- Fallas humanas. Por ejemplo en los grandes superpetroleros seguida por problemas de infraestructura en equipos, materiales

En campos petroleros se puede dividir en:

- **Causas operativas:** se producen debido a la falla de equipos donde se almacena el crudo ya sea estático o en transporte.
- **Causas no operativas:** esta se produce debido a fuerzas naturales, tales como terremotos, avalanchas, tormentas, etc., además también se cuentan los atentados terroristas.

2. COMPORTAMIENTO DE CRUDO EN DISTINTOS MEDIOS

Cuando ocurre un derrame de hidrocarburos, este tiende a generar una serie de cambios en sus propiedades tanto físicas como químicas que tenderá a modificar su comportamiento y características.

2.1 COMPORTAMIENTO DEL CRUDO EN TIERRA

El comportamiento de este depende de la topografía del terreno, la permeabilidad presente en el suelo, la evaporación, la vegetación presente en el terreno y las propiedades físico-químicas del petróleo tales como densidad, viscosidad, etc.

El comportamiento de un derrame de petróleo en tierra es definido principalmente por los siguientes procesos:

2.1.1 Evaporación.

Este proceso determina por mayor parte los cambios de volumen del petróleo en un caso de derrame se estima que entre un 30% y 50% de volumen de petróleo derramado se pierde debido al proceso de evaporación, este se encuentra en función de las propiedades físico-químicas del aceite, la temperatura y duración a la que el petróleo está expuesto, donde este petróleo crudo está conformado por distintos componentes, de los cuales las fracciones livianas que son las más volátiles se evaporan más rápidamente que las fracciones pesadas las cuales conlleva más tiempo.

2.1.2 Infiltracion.

Mientras en un derrame el petróleo, este se distribuye horizontalmente sobre la superficie del suelo, una parte de este petróleo tiende a filtrarse en el terreno debido a la gravedad. El alcance de la filtración depende del contenido de agua en el suelo, la permeabilidad que posea este, y las propiedades físicas del petróleo derramado. La filtración de petróleo en un terreno es un proceso lento, ya que se ha determinado que para crudos pesados puede alcanzar una profundidad máxima de 50 cm en las primeras 48 horas del derrame y si el terreno posee capas con texturas más finas la profundidad puede ser menor, dado que el volumen que puede retener el suelo depende del tamaño y la distribución de las partículas del suelo.

2.1.3 Biodegradacion

Este proceso que se da en el petróleo depende de la aireación, fertilidad, acidez del suelo, temperatura y la naturaleza de los componentes del petróleo, después de un tiempo de adaptación de los microorganismos del suelo inician la degradación del aceite para lo cual se requiere fluidos como oxígeno, nitrógeno, fósforo, entre otros elementos.

2.1.4 Adherencia Superficial

Debido a la adherencia entre el petróleo y zonas que presentan vegetación en el suelo en caso de un derrame, este queda impregnado sobre esta zona vegetal, la porción de petróleo adherido es función de la topografía del suelo, la densidad de la capa vegetal, y la viscosidad del crudo que se ha derramado.

2.1.5 Distribución Horizontal

La distribución depende inicialmente de la topografía de la zona afectada.

La acumulación, las pérdidas de petróleo y el tiempo de flujo están relacionados con el tipo de suelo, la vegetación presente, el clima, las propiedades físico-químicas del petróleo, la topografía entre otros.

2.2 COMPORTAMIENTO DEL CRUDO EN CUERPOS DE AGUA

En el momento de un derrame el crudo al entrar en contacto con un cuerpo de agua sufre distintos cambios debido a los procesos por los cuales se ve afectado (figura.6), los principales son los siguientes:

2.2.1 Esparcimiento

El peso del crudo será el factor que mayor empuje le dará para esparcirse en el agua, por lo cual un derrame de grandes e instantáneas proporciones se esparcirá más rápidamente que un derrame que se produce lentamente. Inicialmente las fuerzas gravitacionales son las que juegan un papel principal en el esparcimiento del crudo, pero luego de un tiempo de “estabilidad” la tensión superficial debido a la cual se formara una delgada capa entre agua y aceite, el cual entre más delgada cubrirá un área mayor, esto debido al desbalance de fuerzas entre la tensión superficial del agua, la tensión superficial de aceite, y la tensión interfacial de ambos fluidos, donde la tensión superficial del aceite tiende a ser mayor que las otras dos, por lo cual tiende a esparcir el aceite sobre la superficie del agua.

2.2.2 Evaporación

Este depende de distintos factores ambientales presentes en el momento del derrame, donde los más importantes serán la temperatura y la velocidad del viento, aunque también están otras variables tales como la radiación y la agitación del agua, y el área superficial que alcance el derrame. Además también depende de que tan volátil sea el crudo derramado, ya que este nos indicara la tasa de evaporación que puede presentar el derrame, donde normalmente se evaporara más rápido las fracciones ligeras y con mayor índice de volatilidad, mientras que las fracciones pesadas se demoraran más tiempo. Igualmente la tasa de evaporación dependerá de la temperatura del ambiente y la presión del vapor, donde la tasa se acelera debido a los vientos y por la acción del oleaje.

2.2.3 Emulsificación

La emulsión se define como una mezcla de dos líquidos no miscibles, como lo son el crudo y el agua. Donde el líquido que se fracciona en pequeñas gotas, que se denomina la fase dispersa mientras que el líquido que rodea es pequeñas gotas será la fase continúa. Al momento de producirse la emulsificación del petróleo en un cuerpo de agua como el mar, algunos de sus componentes tienden a acumularse en la interface petróleo-agua donde estos actúan como agentes creadores de una capa compuesta de asfáltenos, resinas y ceras que se oponen a la unión de variados fragmentos del petróleo derramado.

2.2.4 Dispersión

La dispersión dependerá altamente del oleaje, debido a que los crudos livianos y con baja viscosidad se dispersaran lentamente al estar presentes a un oleaje moderado, mientras que ante la presencia de un oleaje fuerte, el crudo con alto grado de emulsificación se dispersara con mayor velocidad.

2.2.5 Disolución

La disolución se presenta cuando la mayor parte de los componentes presentes en el crudo con bajo peso molecular se separan de la masa total de crudo y se disuelven en el medio acuoso que en este caso será el agua, normalmente este proceso es prolongado, debido a que los procesos de degradación microbiana y oxidación generan compuestos polares que al tener afinidad con el medio se disuelven en el agua.

2.2.6 Fotolisis

Este proceso ocurre debido a la descomposición química del petróleo debido al efecto de la luz solar, donde el petróleo absorbe los rayos ultravioleta debido a la prolongada exposición, donde estos rayos perturban los electrones de los enlaces químicos del petróleo produciendo mayores niveles de energía en las moléculas, esta excitación en las moléculas reaccionan rápidamente irradiando la energía absorbida produciendo calor por medio de energía vibratoria superficial en el crudo.

2.2.7 Biodegradación

Radica en la destrucción o transformación de la materia orgánica, donde este proceso es de gran importancia en caso de derrames debido a que transforma materia del petróleo ya sea por oxidación, o por microorganismos que consumen el petróleo, donde estos organismos se alimentan del crudo que les proporciona una fuente tanto de energía como carbono, así los microorganismos pueden transformar el crudo en alcoholes más solubles, en CO₂, agua y ácidos por medio de reacciones catalizadas por enzimas.

2.2.8 Oxidación Atmosferica

Esta oxidación aumenta la rapidez de la disolución de hidrocarburos y produce emulsificación debido a la generación de moléculas surfactantes, esto ocurre ya que el crudo se ve atacado por el oxígeno del ambiente, más que todo a los parafinicos y aromáticos debido a la lateralidad de sus cadenas.

2.2.9 Hundimiento

Al generarse un derrame este produce una capa de crudo sobre la superficie, esta puede “partirse” de tal manera que deja rezagadas partes más pequeñas las cuales pueden seguir a flote o hundirse a media o total profundidad, donde esto se produce debido a dos factores, primero la viscosidad del crudo será lo suficientemente alta para generar el rompimiento de la mancha en partes más pequeñas, segundo es debido a que el crudo puede tener mayor densidad que el agua, por lo cual en crudo tendera a ubicarse en la parte inferior mientras que el agua estará en la parte superior.

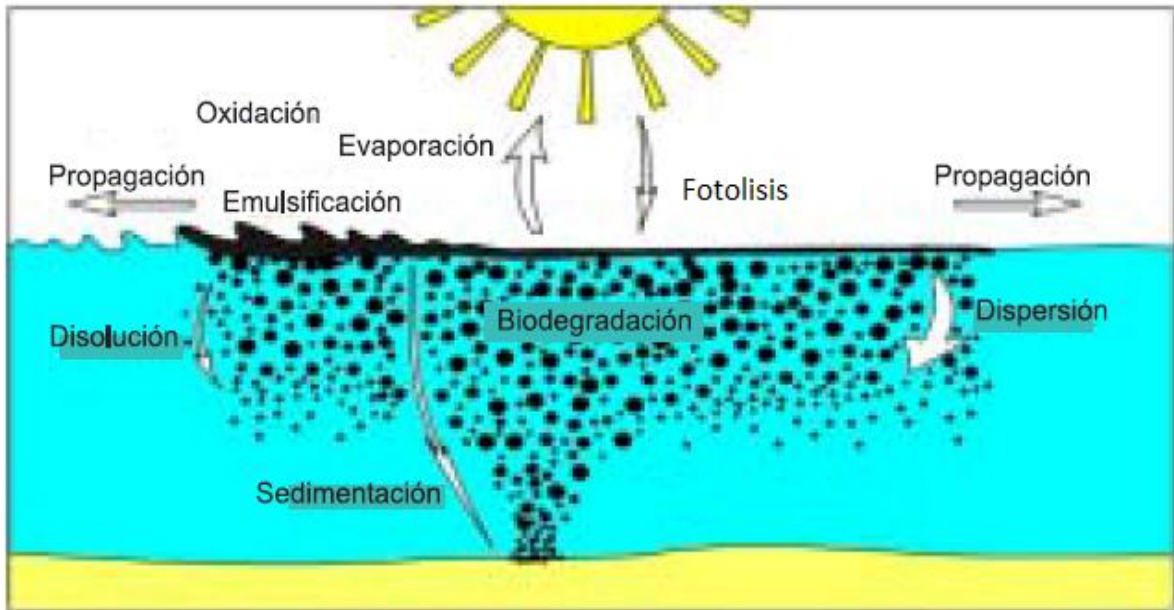
2.2.10 Intemperización

El petróleo derramado comienza a perder gran parte de sus componentes solubles y volátiles el cual puede ser de gran riesgo para la vida marina ya sea tanto en el ambiente, como depositado en el fondo.

2.2.11 Resurgimiento

Debido a la oxidación anaeróbica, el petróleo que se encuentra en fondo, puede regresar a superficie, esto se produce debido a los cambios climáticos sobre el mar, ya sea por tormentas o altas temperaturas hasta el simple cambio del día a la noche y viceversa.

Figura 2. Proceso que tiene lugar tras un derrame de hidrocarburo⁴



Debido a estos procesos que ocurren en un derrame, se produce gran complejidad para la recolección de hidrocarburos en el mar ya que dependiendo del tipo de hidrocarburo derramado (características físico-químicas), el comportamiento en el que se encuentre el crudo, es decir el o los procesos anteriormente mencionados en los que se encuentre el hidrocarburo al momento de actuar, y en los que posiblemente este se podrá encontrar y sumándole las condiciones operacionales, generar los mayores inconvenientes para su proceso de contención y recolección, lo que extiende a mayor tiempo el derrame afectando el medio ambiente.

⁴ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

3. PRINCIPALES MEDIOS DE TRANSPORTE

Aunque todos los medios de transporte son buenos para conducir este producto (buques, carro tanques, el ferrocarril o la tubería), en la actualidad los oleoductos y los buques-tanques son los medios por excelencia para el transporte de crudo. El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento es su traslado hacia los centros de refinación o a los puertos de embarque con destino a la exportación.

3.1 OLEODUCTOS

En la parte inicial del oleoducto una "estación de bombeo" impulsa el petróleo y, dependiendo de la topografía por donde éste pase, se colocan estratégicamente otras estaciones para que le permitan superar sitios de gran altura. Los oleoductos disponen también de válvulas que permiten controlar el paso del petróleo y atender oportunamente situaciones de emergencia.

El despacho y recibo diario de grandes volúmenes de petróleo pesado, extra-pesado, mediano o liviano, hoy en día se hace a través de los oleoductos que van desde los campos petrolíferos hasta las refinerías y/o terminales. Estos oleoductos pueden salvar cortas, medianas o grandes distancias, incluso pueden ir de un país a otro.

Los oleoductos transportan crudos de manera ininterrumpida, todo el día, todo el año facilitando el intercambio mercantil. Por otro lado ofrecen precios con los que otros medios de transporte no pueden competir.

La tecnología moderna ha permitido que existan oleoductos submarinos que garantizan el transporte a tierra desde los yacimientos que se encuentran costa fuera. Estos oleoductos son muy seguros aun cuando se trata de recorrer grandes distancias.

Cuando se conectan varios oleoductos entre sí se forma un sistema o red de oleoductos que brinda un servicio de transporte regional, nacional o internacional.

3.1.1 Características de las Tuberías

Para cada oleoducto hay un determinado tipo o clase de tubería para su construcción, depende del caso en concreto, las dos características más comunes de un oleoducto son su longitud y su el diámetro externo. Para identificarlo geográficamente se suelen definir los puntos extremos (desde donde empieza hasta donde termina).

Durante el proceso de diseño se toman en cuenta una variedad de factores que corresponden al funcionamiento eficaz del oleoducto.

Se requiere de una buena calidad de acero para los tubos teniendo en cuenta sus especificaciones, tales como la capacidad, la resistencia que puede soportar teniendo en cuenta las fuerzas que se le lleguen aplicar.

La competencia de la tubería es muy importante debido a que el flujo del petróleo por ella se logra una presión a lo largo del oleoducto. Por tanto, la tubería debe resistir también presiones internas porque de lo contrario estallaría.

3.1.2 Flujo de fluidos por tubería

En la mayoría de los casos el diseño de tuberías consiste en encontrar el diámetro interno de la tubería que permitiría cierto flujo requerido a una presión dada la cual está en función de la densidad y de la viscosidad del fluido. Donde se selecciona el diámetro de la tubería y se estima la velocidad para el flujo esperado. Con esta velocidad asumida y el flujo requerido se estima la caída de presión en la tubería y por ende la presión requerida en la bomba.

En el diseño y construcción del oleoducto, está el efecto combinado con los aumentos generales de precios de materiales, equipo, herramientas, transporte y remuneraciones al personal, se traduce en los incrementos de costos por kilómetro de oleoducto.

3.1.3 Mantenimiento

Las tuberías de gas y líquidos tienen los mismos objetivos de mantenimiento y programación. “El propósito de todo programa de mantenimiento de ductos, es maximizar y prolongar el tiempo de vida del sistema, mientras se toma en cuenta la seguridad pública y del medio ambiente”.

Las tuberías forman una parte integral de la Industria del Transporte de Petróleo y Gas (el transporte de agua también utiliza tuberías de acero) y es un método efectivo para transportar estos valiosos bienes energéticos desde ubicaciones remotas (offshore – onshore – campo a través – mercado) a los mercados potenciales.

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes es necesario el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de la fuerza humana, logrando así que se reduzcan costos, tiempo de paro de los equipos de trabajo.

Para ejecutar lo anterior se hace una división de tres grandes tipos de mantenimiento:

- Mantenimiento correctivo: se efectúa cuando las fallas han ocurrido; su proximidad es evidente.
- Mantenimiento preventivo: se efectúa para prever las fallas con base en parámetros de diseño y condiciones de trabajo supuestas.
- Mantenimiento predictivo: se efectúa para prever las fallas con base en parámetros de diseño y condiciones de trabajo supuestas.

Cabe resaltar que el mantenimiento de la ruta del oleoducto es muy importante para mantener en condiciones adecuadas sus instalaciones y el medio ambiente. La maleza o las inconsistencias que no se reparen a tiempo pueden provocar fugas e incendios los cuales pueden dificultar los trabajos de contingencia y reparación.

Para evitar accidentes que puedan ser ocasionados por terceros, es necesario que cuando el oleoducto está enterrado se señalen debidamente aquellas partes de su ruta o cruces que puedan ser objeto de excavaciones o vayan a formar parte de algún proyecto.

3.2 BARCOS PETROLEROS

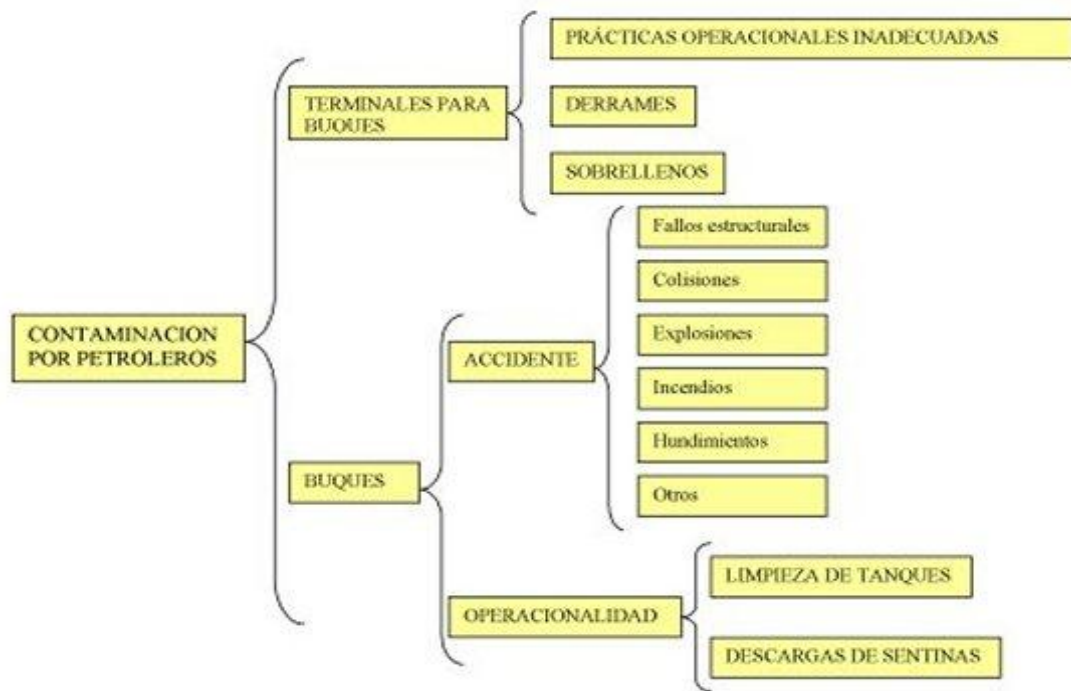
Un petrolero es un buque cisterna de construcción especial, que ha sido diseñado para el transporte de crudo o productos derivados del petróleo.

El transporte de hidrocarburos por vía marítima es realmente moderno. Comienza a finales del siglo XIX en cantidades insignificantes, pero poco a poco las grandes

potencias se fueron equipando de barcos dedicados al transporte de crudo. A pesar de que los grandes petroleros nacieron en las últimas décadas ya en 1911 en los astilleros ingleses tenían en construcción buques destinados al transporte de crudo aumentando más la demanda de barcos de esta clase.

El aumento de la flota petrolera mundial y la tendencia al gigantismo de la década de los 70 evidenciaron la contaminación del medio ambiente marino. Cuantos mayores son los petroleros, peores son las consecuencias en caso de accidente, además son de más difícil maniobra y remolque, por lo que se acrecientan los riesgos.

Figura 3. Clasificación de la contaminación por superpetroleros⁵



Actualmente se construyen petroleros con doble casco y con tanques de lastre separados, lo que elimina el problema de tratamiento de mezclas oleosas, que

⁵ Revistanaval.com/archivo-2001-2003/petroleros_i.htm

quedan reducidas a las propias del lavado con crudo de los espacios de carga. El descubrimiento de que el propio crudo era el mejor fluido para limpiar no sólo el crudo residual, sino también las incrustaciones que se originan en los tanques de carga al cabo de un cierto tiempo de explotación.

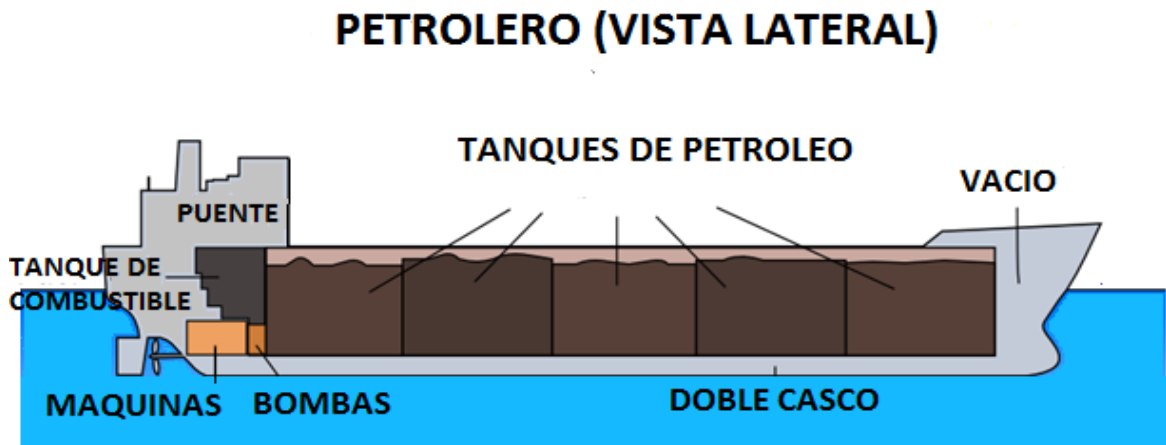
3.2.1 Características barcos petroleros

Los petroleros o superpetroleros son los monstruos del océano, diseñados para el transporte de petróleo los buques petroleros se caracterizan por ser de las embarcaciones más grandes debido a que están adaptadas para la carga de hasta 2 millones de barriles de este combustible. Cabe destacar que cada año se transportan más de 2.000.000.000 (2 mil millones) de toneladas métricas de petróleo.

Muchas veces deben pasar meses en alta mar y por eso las medidas de seguridad que se toman generalmente son muy estrictas.

Uno de los factores primordiales a la hora de poner en circulación uno de estos gigantes, es haberlo dotado de la mejor tecnología al alcance del astillero que lo fabrica. De hecho, la Organización Marítima Internacional, OMI, ha adoptado medidas más rigurosas sobre la construcción de petroleros, incluyéndose la utilización del doble casco y otros métodos alternativos, así como un programa de sustitución progresiva de los petroleros existentes. Actualmente los petroleros de nueva construcción, por imperativo de la legislación vigente del Convenio Marpol, deberán de llevar protegidos los tanques de carga, con tanques de lastre o espacios que no sean tanques de carga o combustible. Es decir, contarán con doble casco, opcionalmente se podrá plantear el proyecto del buque con cubierta intermedia.

Figura 4. Buque petrolero⁶



Una de la principal característica es que el crudo gravita sobre el fondeo de su estructura, a diferencia de otros buques de carga normal donde esta suele ser soportada por cubiertas que van en bodegas. Estos buques poseen una estructura más fuerte que el resto de barcos comunes debido al peso y las características de la mercancía que transportan.

Sobre la cubierta no existen grandes escotillas, sino únicamente pequeñas aberturas o registros, que permiten el acceso a los tanques para su inspección, así como el sistema de tuberías que comunica los diferentes tanques entre sí con las bombas.

Además, los petroleros cuentan con un sistema de ventilación especial ya que se producen vapores de petróleo y en las cámaras de bombas, estos gases resultan más pesados que el aire y es necesario expulsarlos de estos espacios.

⁶ <http://mundoexportar.files.wordpress.com/2013/12/estructura-de-petrolero.png>

A la hora de la carga se ha de tener en cuenta que el crudo puede aumentar su volumen un 1% por cada 10 °C que aumente, por lo que nunca se ha de llenar por completo.

3.2.2 Reseña histórica de barcos accidentados

El superpetrolero (Torrey Canyon) viajaba el 18 de marzo de 1967 golpeo con el arrecife de Seven Stones (archipiélago de las Scilly), situado al suroeste de las islas de Cornwall, en Inglaterra, cuando se dirigía al puerto inglés de Milford Haven.

El violento impacto rasgó y abrió seis de sus tanques, dejando al resto maltrecho. Se derramaron 120.000 toneladas de crudo al medio marino, provocando una gran marea negra que llegó al litoral de Cornwall, la isla de Guernesey y las costas de Francia.

La mancha de hidrocarburo alcanzo unas dimensiones de 70 km de largo por 40 km de ancho y provocó la muerte de más de 20.000 aves.

La tragedia aumentó debido a los métodos utilizados en las tareas de limpieza. El desconocimiento y la falta de experiencia hicieron que se utilizaran demasiadas cantidades de detergentes en las operaciones de limpieza, que afectaron al medio ambiente marino y a sus poblaciones.

Esta fue la primera de las grandes catástrofes conocidas por la población. Causó un gran eco en la sociedad y propició la formación de un Comité Jurídico especial dentro de la OMI (Organización Marítima Internacional).

- **1975**

El 29 de enero, el petrolero danés "Jakob Maersk" golpea con un bajo de arena a la entrada del puerto de Leixoes (Portugal) provocando en cuestión de segundos una gran explosión en la sala de máquinas. El buque, cargado con crudo iraní, se incendia y arde durante varios días. Los dos primeros días las llamas llegan a alcanzar 100 metros de altura impidiendo cualquier tipo de actuación sobre él.

El petrolero se parte en tres, hundiéndose dos partes aunque la proa sigue flotando alcanzando la costa y derramando el crudo en la misma. De las 88.000 toneladas que transportaba, aproximadamente la mitad ardieron, un 30% se dispersaron en el mar y el resto alcanzó la costa.

Figura 5. Accidente de Jakob Maersk⁷



⁷ <http://www.cedre.fr/es/accidentes/jakob/jakob.php>

- **1976**

El 24 de enero, este petrolero Olmpyc Bravery cargado con 250.000 toneladas de crudo, se partió en dos frente a la costa norte de Quessant (Francia). El accidente provocó el vertido de 1.200 toneladas.

Figura 6. Accidente del Olmpyc Bravery⁸



Saint Peter

El 4 de febrero, de nuevo el petrolero “Saint Peter” de bandera liberiana, cargado con 33.300 toneladas de crudo se incendió hundiéndose en tan solo un día a 720 metros de profundidad en la bahía Ancón (ecuador) siendo protagonista de uno de los desastres más grandes en el océano pacífico.

⁸ <http://www.miliarium.com/Bibliografia/Monografias/MareasNegras/CatastrofesHistoricas.asp>

Urquiola

El 12 de mayo de 1976 el buque petrolero Urquiola procedente del Golfo Pérsico, quedó embarrancado en A Coruña. Una mala señalización de una aguja rocosa hizo que este gran buque que llevaba su carga a la empresa Petrolífera, sufriera el accidente.

El Urquiola no sufrió muchos daños en este primer momento y pidió ser llevado a puerto.

Los organismos competentes tomaron la decisión de que el petrolero abandonase el canal y se alejase 200 millas de las costas españolas. En estas maniobras el Urquiola sufrió más daños y un incendio que provocó una gran humareda negra. El capitán del barco murió en este incendio al permanecer en el barco en el último momento. En esta catástrofe se derramaron 100.000 toneladas que llegaron hasta las rías de Betanzos, El Ferrol y Ares.

Las tareas de limpieza en estos desastres consistieron en instalar un dique que frenara el avance del petróleo a la vez que pequeños equipos de trabajo intentaban recoger el crudo. También se utilizaron detergentes para disolver el petróleo.

Figura 7. Incendio del Buque Urquiola⁹



⁹ <http://www.histarmar.com.ar/InfGral-4/BTURquiola.htm>

Boehlen

El 15 de octubre de ese mismo año, el petrolero alemán "Boehlen" cargado con 9.500 toneladas de crudo se hunde tras una fuerte tormenta frente a la Isla Sein derramando 7.000 toneladas de su carga.

Argo Merchant

El 15 de diciembre el petrolero "Argo Merchant" de 196 m de eslora en medio de una tormenta se encalla en unos bajos en Nantucket Island (Massachusetts). Seis días después se parte en dos y se hunde con 27.000 toneladas de combustible. A los efectos de la tempestad se le añadieron otros factores que dieron como resultado su hundimiento, la inexperiencia de la tripulación, y giroscopio averiado.

- 1978

El 16 de marzo de 1978 el petrolero Amoco Cádiz, que se dirigía a las costas de Limebay y Rotterdam, embarrancó en las costas francesas de Bretaña. Se derramaron más de 200.000 toneladas de petróleo, convirtiéndose en una de las grandes catástrofes de la historia. Este buque tanque fue construido tres años antes en los astilleros españoles. El vertido cubrió la bahía de Portsall.

En el Canal la Mancha, de hidrocarburo se registraron miles de aves contaminadas, al igual que fauna marina. Por ello se vieron gravemente afectadas las actividades económicas asociadas al mar en esa zona. Esta catástrofe también será recordada por ser el primer caso en el que la justicia condena a una empresa petrolífera, y obliga a la misma a indemnizar por los daños causados.

Figura 8. Accidente de Amoco Cádiz¹⁰



- **1989**

El 24 de marzo de 1989 el petrolero Exxon Valdez, con una carga de 1.48 millones de barriles de crudo, derramó en Alaska 41.600 toneladas de hidrocarburo.

Esta tragedia está rodeada de mucha polémica, puesto que se cuenta que en el momento de partir el Exxon Valdez con destino a California, el capitán Hazelwood, se encontraba ebrio.

Esta situación provocó que el barco se pusiese en manos del piloto, el cual sacó el barco hasta el final de la bahía, después el capitán retomó el mando del petrolero y marcó el rumbo. Al poco tiempo se encontraron con icebergs pero que no revestían peligro. El capitán los sorteó disminuyendo la velocidad y desviando el barco. Después de rodear los bloques de hielo el tercero en el mando tomó el barco. El petrolero se desvió y fue a para a los arrecifes de Bligh, donde chocó y se derramaron miles de toneladas de crudo. Para la limpieza de la marea negra se utilizaron aspiradores, mangueras de agua caliente a presión, se trasladó el crudo que aún contenía el Exxon Valdez a otro petrolero.

¹⁰ http://www.cedre.fr/es/accidentes/amoco_cadiz/amoco.php

Figura 9. Accidente del petrolero Exxon Valdez¹¹



- **1990**

El 8 de junio de 1990 el petrolero Mega Borg tuvo un accidente en el que el barco se incendió. Se derramaron 20,5 millones de litros de crudo a 60 millas del sureste de Gavelstone. Este accidente ocurrió mientras el Mega Borg descargaba crudo en otro petrolero.

Figura 10. Mega Borg¹²



¹¹ [http:// www.iespana.es/natureduca/cont_mareas_historia2.htm](http://www.iespana.es/natureduca/cont_mareas_historia2.htm)

¹² [http:// www.cetmar.org/documentacion/mareas_negras_catastrofes.htm](http://www.cetmar.org/documentacion/mareas_negras_catastrofes.htm)

- **1992**

El 3 de diciembre de 1992 el petrolero de bandera griega Mar Egeo, procedente del Mar del Norte y con destino la refinería Repsol en A Coruña, sufría un accidente en las costas gallegas. Derramó más de 80.000 toneladas de crudo al medio marino. La marea negra afectó: Las Rías del Burgo, Ares, Betanzos y El Ferrol. Este barco poseía doble casco por lo que estaba considerado como "Tanque verde". Había superado satisfactoriamente todas las inspecciones y revisiones a las que fue sometido. Nada hacía suponer el trágico destino de este petrolero y la catástrofe que provocaría en las costas españolas.

Figura 11. Mar Egeo¹³



- **1999**

El 12 de diciembre el petrolero "Erika" se partió en dos en las costas de la Bretaña francesa. Derramó más de 50 mil toneladas de hidrocarburo al medio marino. Fue uno de los desastres más llamativos por la espectacularidad de las imágenes, además de los graves daños que produjo en el medio ambiente.

¹³ <http://www.miliarium.com>

Las condiciones climatológicas adversas provocaron esta catástrofe medio ambiental. Otras fuentes apuntan a las pésimas condiciones en las que se encontraba el buque.

Este petrolero pertenecía a la empresa Total FinaElf y fue denunciada por Greenpeace por no proveer de los instrumentos necesarios para hacer frente al desastre.

Una jueza culpó a esta empresa por contaminación marítima y complicidad en la puesta en peligro de la vida ajena. Este desastre provocó que la Unión Europea endureciera las medidas de seguridad para los superpetroleros, estas medidas son conocidas como Erika 1 y Erika 2, o la directiva Erika.

Figura 12. Hundimiento del Buque Erika¹⁴



- **2001**

El 16 de enero del 2001, buque Jessica encalló cerca de las Islas Galápagos, concretamente en la Bahía de los Náufragos de la isla de San Cristóbal. Se derramaron 900.000 litros de búnker y diésel.

¹⁴ <http://www.amarre.com/html/emergencias/catastrofes/catastrofe.php>

Este accidente se debió a una serie de negligencias y fallos humanos. También se discute sobre la irresponsabilidad de la Armada ecuatoriana por otorgar el permiso de navegación al Jessica.

Otro dato curioso es que el Jessica no poseía seguro de responsabilidad civil porque las autoridades ecuatorianas sólo exigen tener este tipo de seguro a los barcos que transportan más de 2.000 toneladas de combustible. Pero lo que este buque sí tenía que cumplir es la normativa internacional sobre seguridad, la cual dice que este tipo de barcos debe tener doble casco, algo que el Jessica no tenía porque era mono-casco.

El gobierno del Ecuador declaró el estado de emergencia en las islas Galápagos al ver que el vertido amenazaba con llegar a la costa de este archipiélago, considerado como uno de los sitios de mayor interés desde el punto de vista medio ambiental por la singularidad de sus especies y la fragilidad del ecosistema.

Figura 13. Buque Jessica¹⁵



¹⁵ http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_3532000/3532633.stm

- **2002**

El 6 de octubre el superpetrolero de doble casco "*Limburg*", de 330 metros cargado con 57.000 toneladas de crudo pesado, sufre un atentado a 3 km. de la terminal de d'Ash Shihs provocando un incendio que tardo 36 horas en ser sofocado

Figura 14. Incendio del Superpetrolero Limburg¹⁶



Prestige

El 18 de noviembre el petrolero Prestige se parte en dos a 133 millas del cabo Fisterra-A Coruña (Norte de España), y se hunde con 77.000 toneladas en sus tanques, el crudo que transportaba es de tipo pesado (del tipo nº2 según la clasificación francesa, por su contenido en azufre o M-100 según la clasificación rusa). Se emplea en la combustión industrial (centrales térmicas, hornos, cementeras) y el suministro de barcos propulsados por motores diesel lentos, de gran potencia.

¹⁶<http://www.containershipping.nl>

Provoco un enorme desastre ecológico, se calcula que el vertido de crudo alcanza las 64.000 toneladas que afectaron las mareas negras a la costa de Galicia (900 km.), Norte de España y SO de Francia.

- **2004**

El 15 de noviembre, el buque tanque "*Vicuña*", sufre una explosión en el puerto de Para nagua (Brasil) mientras realizaba las labores de descarga de metanol, tras la explosión se parte en dos y una de ellas se hunde. El balance final es la muerte de 4 tripulantes, el derrame de 400 toneladas de combustible para su consumo IFO180 y más de 4.000 toneladas de metanol, de esta parte se evaporaron, ardieron con la explosión o se diluyeron en el agua de la Bahía de Para nagua afectando a poblaciones de peces, aves, tortugas, delfines.

Figura 15. Explosión del Buque Tanque *Vicuña* Figura¹⁷



- **2005**

Agosto-septiembre, los huracanes Katrina y Rita ambos de fuerza 5, provocaron el mayor desastre medioambiental de los EEUU comparable con el accidente

¹⁷ <http://www.cetmar.org>

del *Exxon Valdez* en Alaska, asolando la zona del Golfo. Durante este período de tiempo se produjeron 595 vertidos químicos y de hidrocarburos a las aguas marinas o ríos que luego los transportarían al mar. Los vertidos de hidrocarburos alcanzaron los 9 millones de galones, sólo en la refinería de Nueva Orleans se vertieron cerca de 1 millón de galones almacenados en un tanque de la Murphy petróleo.

- **2006**

El 27 de febrero, el buque tanque "*Grigoroussa I*" de 52.967 toneladas con bandera de Liberia y construido en 1987, colisiona con un muelle a 40 kilómetros de Suez provocando un derrame de 3.000 toneladas de crudo pesado de las 58.000 que transportaba a las aguas del Canal.

Ocean Seraya

El 30 de mayo, el carguero *Ocean Seraya* de 230 metros de eslora, con bandera de Panamá y manejado por una compañía de Singapur, encalla en los bajos Oyster Rock (Isla de Devgad, Karwar, India) El buque procedía de Karachi y navegaba en lastre, tras encallar se abre una brecha en el casco lo que provoca que comience a perder parte de las 640 toneladas de combustible y 40 de gasoil para consumo propio que transportaba. Durante la operación de salvamento se recuperan 226 toneladas y el resto se derrama al mar. El buque con el mal tiempo y el embate de las olas se parte en dos.

- **2007**

El 11 de noviembre, el petrolero de río "*Volgoneft-139*" construido en 1978, se parte en dos en aguas del estrecho de Kerch debido a una fuerte tormenta, provocando el derrame de más de 2.000 toneladas de crudo de las 4.800 que transportaba, afectando a 50 km. de costa y matando a 30.000 aves marinas, este desastre ecológico es comparable según diversas fuentes rusas al del "*Prestige*" pese a ser

un derrame 30 veces menor. Los buques de transporte de río no están preparados para resistir fuertes tormentas en aguas abiertas y los petroleros convencionales no pueden navegar por los ríos. Al desastre ecológico ocasionado por el crudo vertido hay que sumarle, que al menos otros 4 barcos de carga se hundieron como consecuencia de la tormenta, 3 de estos transportaban azufre, el "Volnogorsk", el "Najichevan" y el "Kovel" entre todos suman más de 6.000 toneladas. Las que se encuentran en el fondo marino y otro con restos de metal.

- **2009**

El 10 de febrero el petrolero Kashmir de 45.000 toneladas y cargado con 30.000 toneladas. Colisiona con el portacontenedores "*Sima Buoy*" de 20.250 toneladas ambos salían del puerto de Jebel Ali, en Emiratos Árabes Unidos. El derrame no ha podido ser cuantificado aún aunque el incendio producido en el momento de la colisión minimizó notablemente el vertido al océano.

Gulser Ana

El 25 de agosto, el carguero "*Gulser Ana*" se hundía en Faux Cap al sur de Madagascar, transportaba 39.000 toneladas de fosfatos, 568 toneladas de combustible, 66 toneladas de diesel y 8 toneladas de lubricante la mayor parte de los cuales acabarán lentamente en el Océano Índico. El accidente tuvo lugar en una zona de reproducción de ballenas y corredor migratorio en plena sesión migratoria, la marea negra cubrió 30km. de playas y afectó a 20.000 personas que fueron compensadas con 73.000 euros. Este buque tenía prohibida la entrada a puertos europeos por sus constantes fallos detectados en las inspecciones portuarias.

- **2010**

El 28 de mayo, el petrolero "*MT Bunga Kelana 3*" de Malasia y el carguero "*MV Waily*" con bandera de San Vicente colisionan en el estrecho de Singapur. El buque tanque transportaba 63.054 toneladas de crudo ligero de la petrolera Petronas a la

refinería de Malaca, en la colisión sufrió daños en uno de sus tanques de carga, provocando un vertido de petróleo de unas 2.500 toneladas y afectando un radio de 7 km.

- **2011**

El 05 de octubre, el portacontenedores "*Rema*" de 47.000 toneladas, con bandera de Liberia y armadora griega encalla en los arrecifes de Astrolabe (Nueva Zelanda) a 14 millas de Tauranga, con unas 1.900 toneladas de fuel, aceite y gasoil a bordo según datos de los oficiales del buque, se estima que la grieta abierta ha permitido la fuga de 700 toneladas de combustible, otras 1.000 permanecen intactas. Recogiéndose hasta diciembre 200 aves muertas y 92 que están siendo tratadas en el centro de recuperación de emergencia, pingüinos e incluso tiburones se ven afectados por el vertido. El día 8 de enero de 2012 el buque se parte en dos.

Figura 15. Buque Encallado¹⁸



¹⁸ http://www.cetmar.org/documentacion/mareas_negras_catastrofes.htm

3.2.3 Marea negra

Se trata de un derrame de hidrocarburo en el medio marino. Es una de las formas más graves de contaminación, pues no solo invade el habitat de numerosas especies marinas, sino que en su dispersión alcanza igualmente la costa y las playas, destruyendo la vida a su paso o alterándola gravemente, a la vez que generan grandes costos e inversión en la limpieza y regeneración de las zonas afectadas.

Los efectos negativos de los vertidos de petróleo son: carencia de oxigenación, a causa de la película de petróleo que flota encima del mar; muerte de organismos marinos a causa de la toxicidad directa; desestabilización de la flotabilidad; pérdida del poder termoaislante de los animales provocada por la impregnación de las plumas y el pelo.

La evolución de una mancha de petróleo responde a unos parámetros comunes: los elementos más volátiles se evaporan durante el primer día; una parte reducida se disuelve y la pueden asimilar los organismos; la parte más hidrófoba origina unas emulsiones conocidas con el nombre de “mousse de chocolate”, que más tarde se oxida; una parte precipita al fondo con los sedimentos y queda enterrada; una parte es degradada por microorganismos presentes al mar.

4. EFECTOS DE DERRAME DE CRUDO

Los derrames de petróleo tienen una serie de efectos en el medio ambiente y la economía. En un nivel básico, el petróleo puede dañar el medio acuático, la vida marina y las plantas y animales en la tierra. Un derrame de petróleo también puede arruinar la infraestructura y la economía de una zona en particular, y los efectos a largo plazo pueden sentirse por décadas.

4.1 COMPONENTE ABIOTICO

El petróleo contamina el suelo por su presencia y su permanencia en él. Esto depende del tipo de suelo lo cual es un producto de su composición y textura (tamaños de las partículas que lo forman) ya que según las características del suelo el petróleo se adherirá o penetrará con mayor o menor fuerza y por lo tanto permanecerá mayor o menos tiempo en ese ambiente. En general se puede afirmar que:

En suelos arcillosos o rocosos (suelos de grano fino); el petróleo no penetra con facilidad, penetra en poca cantidad y a poca profundidad y por ende se retira mediante recojo y/o lavados de manera rápida, por ejemplo, las playas arcillosas de la selva.

En suelos con alto contenido de materia orgánica el petróleo se adhiere fuertemente a las partículas y restos vegetales de tal manera que permanece por más tiempo en el ambiente por ejemplo, en suelos de manglares y pantanos.

4.1.1 Aire.

La existencia de una película en la interfase agua-aire tiene por consecuencia la perturbación de los intercambios gaseosos, lo que provoca una disminución del proceso de auto depuración por la disminución de la capacidad de re-oxigenación del medio.

Hay tres formas en que el petróleo viaja por el aire:

- A través del olor,
- En los humos cuando se quema si no hay suficiente oxígeno se genera una combustión incompleta dando como producto moléculas de tipo CO₂, NO₂, SO₂ son gases que amenazan la calidad del aire.
- Cuando hay un huracán.

4.1.2 Agua

Cuando se vierte petróleo en el mar, la mancha de aceite se extiende en una superficie cada vez mayor hasta llegar a formar una capa muy extensa, de un espesor muy delgado. Se estima que en el transcurso de 1½ horas, 1 m³ de petróleo puede llegar a formar una mancha de 100 m de diámetro y 0,1 mm de espesor. Una gran parte del petróleo (sobre el 60%) se evapora.

Un solo galón de petróleo en el agua puede crear una mancha que se extiende por varias hectáreas, en los primeros tres días un derrame de petróleo puede cubrir 580 millas cuadradas.

El petróleo evaporado es descompuesto por foto-oxidación en la atmósfera. Del crudo que queda en el agua, una parte sufre foto-oxidación, otra parte se disuelve

en el agua (esto es lo más peligroso), y lo que queda forma una gelatina de agua y aceite que se convierte en bolas densas, semisólidas, con aspecto asfáltico.

Los efectos del petróleo sobre los ecosistemas marinos dependen de varios factores, entre los que se cuentan: tipo de petróleo (crudo o refinado), cantidad, distancia del sitio contaminado con la playa, época del año, condiciones atmosféricas, temperatura media del agua y corrientes oceánicas.

Figura 16. Ave ensuciada de petróleo¹⁹



Las aves que se posan en el agua pueden llegar ensuciarse de petróleo, lo que hará que sea imposible para ellas volar. Las criaturas contaminadas con petróleo pueden llegar a ser tóxicos para otras formas de vida más grandes y que las consumen, así hay una reacción en cadena, muy brutal y muy difícil de parar.

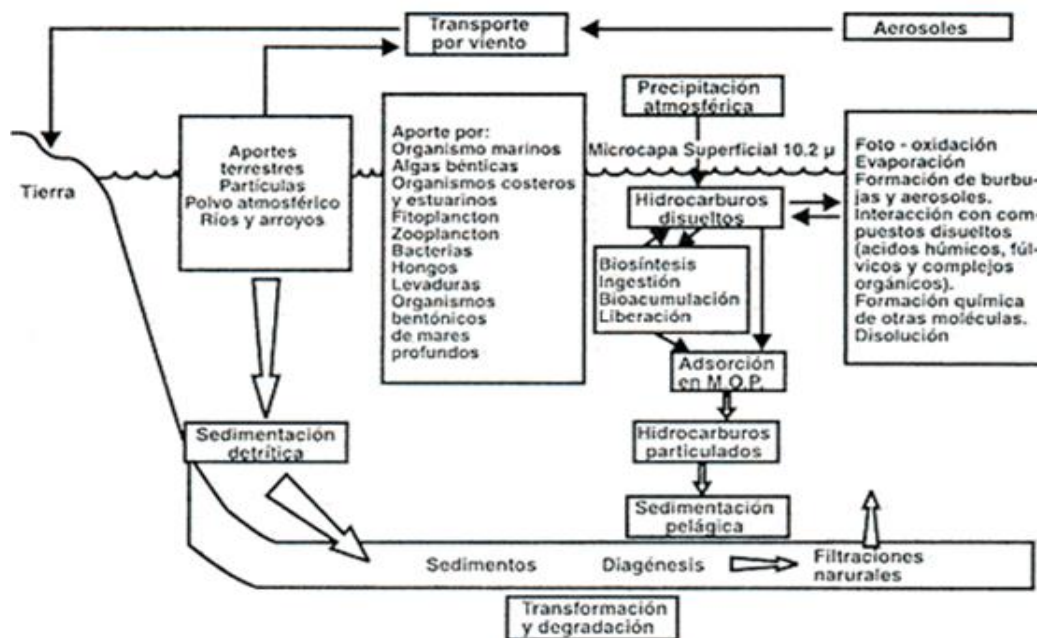
Las algas en el agua tienden a ser fuente de alimento para muchos seres vivos. También evitan que otras formas de las bacterias dañinas sean capaces de crecer. Cuando se produce un derrame de petróleo, las algas pueden ser destruidas, lo que

¹⁹ <http://www.contaminacionpedia.com/wpcontent/uploads/2013/04/contaminacion-por-petroleo>

se traduce en falta de alimento para algunos seres vivos, y al mismo tiempo, riesgo de muerte debido a las bacterias y los aumentos de parásitos para otras formas de vida acuática.

Un río afectado por un derrame de crudo pierde toda su capacidad de sostener flora y fauna acuática, muchas de las sustancias que contiene el crudo se depositan en los sedimentos y son de difícil degradación y fácilmente bioacumulables. Se calcula que metales pesados como el vanadio puede permanecer en los sedimentos de los ríos por lo menos unos 10 años.

Figura 17. Procesos involucrados en la transformación del crudo derramado en el mar²⁰



Cuando suceden derrames en el mar, existe un promedio de recuperación del crudo, cuando las condiciones de limpieza son óptimas del 10-15%, por lo que

²⁰ <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/507/cap10.html>

esto tienen generalmente efectos a largo plazo ya que el crudo permanece en los sedimentos, constituyendo una fuente continua de contaminación.

4.1.3 Componente geológico

Los derrames de petróleo afectan directamente al ambiente costero y ocasionan:

- Interferencia en procesos eco sistémicos como la fotosíntesis y la respiración.
- Interferencia en el ciclo reproductivo y el desarrollo normal de los organismos.
- Mortalidad de los organismos costeros, por asfixia y por contacto.
- Daños potenciales por la pérdida económica temporal de una playa turística.
- Alteraciones en el desarrollo normal de cualquier actividad portuario, industrial, forestal, turístico u otra que se realice en el lugar del derrame. Indirectamente, a través de la reducción en la productividad de las aguas costeras, daños sociales económicos que le causen a los centros poblados por reducción de la pesca y/o contaminación de sus costas como parte de su espacio vital, acabando con la vida que en ellas habitan.

4.2 COMPONENTE BIOTICO

Los efectos que los derrames provocan a los organismos que habitan sobre la superficie del agua, en la zona Inter mareal o en el fondo marino, dependen de muchos factores entre los cuales cabe citar:

- La etapa en el ciclo de vida del organismo.
- Los daños sobre su hábitat.

- El “stress” al cual el organismo está sujeto.

Los efectos bióticos letales y sub-letales de derrames de petróleo sobre los organismos son:

- Mortalidad directa debido a la suciedad, el encubrimiento y la asfixia, el envenenamiento por contacto y la absorción de fracciones tóxicas solubles en la columna de agua.
- Mortalidad indirecta causada por destrucción de las fuentes de alimentación (organismo del sector primario de la cadena alimenticia)

4.2.1 Flora

De acuerdo con las observaciones y estudios de respuesta de las plantas, frente a una contaminación petrolera, se ha podido establecer una escala de referencia

- a) Plantas muy susceptibles a la contaminación:

Las de raíces de poca profundidad, con reservas alimenticias muy bajas. No se recuperan y mueren – Ejemplo: Suaeda marítima.

- b) Plantas susceptibles:

Plantas perennes arbustivas, con los extremos de las ramas expuestos al crudo. Ejemplo: Algas verdes filamentosas.

- c) Plantas intermedias:

Plantas perennes que aceptan una o dos contaminación y luego declinan en otra.
Ejemplo: *Spartina* ánglica, *Puccinellia* marina

d) Plantas resistentes:

Plantas perennes con grandes reservas alimenticias y en particular las que mueren superficialmente en invierno. Ej. *Armenia* marítima

e) Plantas muy resistentes:

Son del mismo tipo que las anteriores y además tienen resistencia a nivel celular.
Ejemplo: La familia de las Umbíferas.

Por supuesto, en cada segmento o escala indicada, la respuesta puede ser diferente según el tamaño, la morfología y fisiología de las plantas.

En el fitoplancton, a grados diversos según su especie, el contacto con el petróleo provoca muerte más o menos lenta. Por ejemplo las diatomeas de tipo *Licmophora hrenbergii*, *Coscinodiscus granii*, *Melosira monolimorfosis*, mueren con una concentración de petróleo de 1 ml/l en agua de mar, con exposición inferior a una semana. Si bien el, petróleo o el agua contaminada pueden ser removidos por las mareas, vientos o corrientes, una breve exposición puede provocar un retardo en el desarrollo y crecimiento de los mismos.

Los líquenes que viven en las costas rocosas están afectados por el petróleo, de manera diferente según la especie. Las plantas costeras que crecen en las arenas o en las marismas (zona húmeda abierta con vegetación de juncos, hierbas y cañas y con pequeñas lagunas y canales intercalados) tienen también respuestas diferentes a la contaminación, por ejemplo, el pasto marino (*Phyllospadix*) muere.

Algunas plantas mueren y se recuperan por brotes, otras se restablecen después de largo tiempo.

Cabe destacar que en el caso de las plantas de playa, si la contaminación ocurrió durante el periodo invernal, cuando el crecimiento es leve o adormecido, (*Juncus gerardii*, *Spartina ánglica*) el crecimiento en primavera se realiza normalmente, una vez que la contaminación ha desaparecido.

Las algas son aparentemente menos sensibles que los animales a la contaminación por petróleo crudo y presentan diferentes reacciones a dichas contaminaciones. Algunas algas verdes, tales como la *Ulva lactuca*, la *Gratelupia dichotoma* y la *Polysiphonia*, mueren por la inhibición de la fotosíntesis y biosíntesis ocasionada por petróleo. El alga roja de cultivo, al ser contaminada por petróleo desarrolla una enfermedad carcinomatosa. Otras, las algas rojas (*Porphyra*) mueren al contacto con el petróleo y con agua con 2 ppm de contenido de hidrocarburos, adquieren el olor a petróleo. Se ha observado cierta proliferación de algas en zonas contaminadas, pero este proceso parece imputable a la desaparición de los moluscos herbívoros que controlan las mismas y su crecimiento indebido de ciertas algas tal como la “*Enteromorpha*” o la “*Fucus vesiculosus*” determina la declinación de especies animales tales como los crustáceos cirrípedos.

4.2.2 Fauna

Los microorganismos que viven en el medio marino son los más afectados, debido a que el 71 % de la superficie terrestre está cubierta por el océano, y estos son el depósito final de todos los mayores sistemas de aguas, constituyendo el destino final de la mayoría de los desechos producidos por la actividad humana.

Los microorganismos pueden actuar directamente sobre varios constituyentes químicos en el agua. Los animales marinos captan contaminantes y contribuyen a

diseminarlos durante sus migraciones.

Si consideramos a los organismos marinos bajo este punto de vista, se destruirá la fuente del mayor recurso alimenticio existente y el mayor potencial de recursos bioquímicos que proporcionan los organismos vivientes cerca de las plataformas continentales; destrucción de los vegetales autótrofos (algas) y desequilibrio del regulador de los procesos biológicos que representa el mar para el planeta.

- Protozoos

No existen muchos datos sobre los efectos del petróleo sobre los unicelulares. Los hidrocarburos de alto peso molecular, no parecen realizar mayor daño sobre los protozoarios. Sin embargo, las amebas expuestas a crudos de bajo peso molecular (tóxicos) mueren.

- Corales

El crudo puede entrar en contacto con los corales de diversas formas. Los crudos son menos densos que el agua, por lo que generalmente flotan por encima del arrecife. Sin embargo, algunas áreas de arrecife están expuestas al aire durante las mareas bajas, así como durante mareas excepcionalmente bajas debido a los ciclos lunares. Esta situación, en conjunción con un derrame de crudo, puede causar el contacto directo del líquido vertido con los corales, produciendo asfixia. Otro mecanismo de contacto se produce cuando el oleaje, al romper sobre los arrecifes y la línea costera, produce gotitas de crudo que se distribuyen en la columna de agua y entran en contacto con los corales.

Los corales representan un gran grupo de animales de gran importancia para la vida de otros animales y del ecosistema local en general. Las especies de corales que segregan mucus, parecen protegerse contra el petróleo. Algunas especies,

observan alteración de "conducta", con reacciones de la abertura bucal, relacionada con la alimentación del coral.

Se han observado en dichas contaminaciones, retardo de crecimiento y reducción de la sobrevivencia de la mayor parte de corales.

- Anélidos

Los anélidos han sido utilizados como indicadores de ambientes marinos contaminados, en particular la *Capitella capitata*, especie que se encuentra en todos los mares y que vive en los sedimentos que reciben efluentes de los desagües domésticos y en sedimentos ricos en productos de desechos de las refinerías de crudo.

- Los Anfípodos, o pulgas de mar

Presentan una repulsión por el petróleo y la capacidad de evitar algún contacto con el mismo.

- Crustáceos

En el grupo de los copépodos se encuentran muchos crustáceos que componen el zooplancton. Estos copépodos son sensibles a concentraciones de petróleo de 0,5 a 0,1 ml/l y mueren, salvo algunas excepciones.

Los Decápodos o crustáceos superiores tales como los camaroncitos, las centollas, el cangrejo, etc. tienen una resistencia notable a las contaminaciones, en el estado adulto.

Las larvas no resisten, algunas sensibles a la contaminación, migran a lugares más apropiados en caso de detectar contaminación.

Los Cirrípodos o más conocidos como "picos de mar" viven generalmente en las zonas cubiertas y descubiertas por las mareas. La mayor parte muere por asfixia, y los sobrevivientes con petróleo adherido, demuestran gran dificultad de respiración, nutrición, etc.

En el grupo de los isópodos, especie bentónica de las aguas frías, más conocidos como "bichos bolitas" se han notado una resistencia notable a las contaminaciones, aunque no existen estudios para definir el comportamiento.

Los animales protegidos por conchillas tienen cierto grado de protección, aunque los gasterópodos experimentan una mortandad importante.

- Gasterópodos:

Demuestran comportamientos, reacciones y resistencias diferentes según las especies. La mayor parte de los que viven cerca del litoral son más resistentes a los hidrocarburos tóxicos que los que viven mar abierto. Bivalvos tales como los mejillones, cholgas, choros, tienen la particularidad de resistir a las contaminaciones ya que captan los hidrocarburos (saturados y aromáticos) y los acumulan con pequeñas desintegración metabólica. Es decir los mejillones son capaces de degradar los hidrocarburos, pero en caso de contaminación no son aptos para el consumo humano.

- Peces:

El petróleo y sus derivados en el mar son altamente tóxicos para los huevos de los peces, pero las larvas son algo más resistentes. Los peces que nacen de huevos contaminados son generalmente anormales.

Los peces grandes adquieren olor a hidrocarburo, tanto del mar como del lecho marino. Este olor se comunica a través de las branquias, que generalmente desaparece con el lavado con agua limpia. Los efectos a largo plazo de la contaminación sobre los peces igual que sobre otros animales marinos y mamíferos, resultan en cambios de metabolismo lípidos, con acumulación de grasas en el hígado y otros tejidos.

- Aves:

El petróleo y sus derivados provocan daños importantes sobre la avifauna y en particular el petróleo fresco. Por una parte ciertas aves suelen ingerir las "bolitas" de petróleo o deglutirlas a sus pichones, y por otra parte el "empetrolamiento" de las aves modifica su flotabilidad, el poder aislante y térmico de su plumaje, produciéndose la muerte por hipotermia y la imposibilidad de volar.

Un ave "empetrolada" pierde su capacidad de flotación y su aislamiento térmico reduce también la incubación y ciertas especies, tales como los pingüinos (especies sin o con peligro de extinción), pueden ser condenados a destrucción masiva de CO₂.

La penetración de los componentes tóxicos del petróleo puede traer como consecuencia la inhibición del metabolismo, acumulación de tóxicos a nivel de la membrana celular provocando la inhibición de los intercambios entre la célula y el mundo exterior; modificación de las propiedades físicas del medio tales como la tensión superficial, el pH, la temperatura, el potencial de óxido reducción; la precipitación de elementos minerales (fosforo, nitrógeno, vitaminas, hormonas, oligoelementos, etc.) indispensables para la vida de los microorganismos y plancton.

- Rescate y limpieza de aves:

La limpieza de un animal que es bañado en crudo requiere una atención individual, especializada y costosa. Lamentablemente son muchas las especies que mueren inmediatamente al contacto con el petróleo. Los pasos a seguir son:

- Rápida captura de las especies afectadas.
- Traslado a centros de rehabilitación en donde se limpia y se inician tratamientos médicos.
- En caso de que no exista un centro cercano al lugar del desastre, se construyen centros temporales.

Figura 18. Limpieza de Ave Empetro lada²¹



- Remoción del petróleo de los ojos y los intestinos de las aves. Aplicación de telas absorbentes para quitar las manchas de aceite del cuerpo del animal.

²¹ <http://www.tierramerica.net/2001/0211/articulo.shtml>

- Realización de exámenes para detectar quebraduras, cortes u otras lesiones.
- Administración de medicamentos orales para prevenir la absorción de petróleo en el estómago del ave.
- Implementación de planes de nutrición adecuados a los distintos cuadros de intoxicación.
- Realización de pruebas para verificar si el animal es capaz de flotar y sin no ha perdido su impermeabilidad, antes de restituirlo a su hábitat natural.

4.3 COMPONENTE SOCIOECONOMICO

Los efectos socio-económicos de los derrames de petróleo varían de acuerdo al área que pueda ser afectada y tal impacto se traduce en:

- Cambio en los patrones de uso de la tierra.
- Cambios temporales en la distribución espacial de comunidades de pescadores e indígenas.
- Pérdida temporal de recursos pesqueros, escénicos y forestales.
- Pérdidas temporales de los niveles de ingreso provenientes de las pesquerías locales, recreación servicios y comercios.
- Interrupción de líneas de investigación.

4.3.1 Índice de sensibilidad ambiental

El índice de sensibilidad ambiental establece la jerarquización de los distintos ambientes costeros en función al impacto ambiental del derrame sobre sus componentes físicos, bióticos y socio-económicos. Este índice agrupa los ambientes costeros, infiriendo para cada uno de estos la posible duración de los efectos en función a la persistencia del petróleo en la costa, considerando el tipo de costa y la energía existente en la misma.

El contacto del petróleo con el sistema de raíces enterradas ocasiona la inmediata muerte del árbol, ya que afecta su proceso de respiración el cual se realiza a través de los poros de las raíces de las plantas, llamados “lenticelas”.

a) Manglares.

Los manglares se consideran elementos importantes y dinámicos en la programación costera ya que actúan como trampa de sedimentos elevando el fondo marino, ganándole terreno al mar. Además, desempeñan un papel importante en la protección de la costa contra la erosión.

Desde el punto de vista ecológico es el hábitat de numerosas especies de animales entre de las cuales se encuentran aves, reptiles, peces, moluscos y crustáceos.

b) Arrecifes coralinos.

Los arrecifes coralinos son ecosistemas de gran madurez, caracterizados por una alta diversidad de especies, alta complejidad y productividad y constituyen las comunidades marinas de aguas someras más extensas del mundo.

El arrecife coralino es un elemento importante en la construcción y progradación de las costas. Los arrecifes actúan como barreras naturales que hacen el papel de romper olas, protegen la costa de la erosión, a la vez que estabilizan los sedimentos coralinos, incorporándolos a la costa y elevándole suelo marino.

c) Praderas de thalassia.

Thalassia es una fanerógama marina (superior) localizada especialmente en la región del Caribe. Se encuentra en áreas de mucha luminosidad y poca profundidad, dependiendo de la transparencia del agua, aun cuando se aprobado que no se desarrollan a más de 11 metros de profundidad.

Son ecosistemas de gran productividad, la cual es mayor cuando se encuentran asociados con manglares y arrecifes coralinos.

d) Costas de grava y fango.

Las playas de grava tienen por lo general un angosto y agudo frente de playa en comparación con las playas arenosas y pueden presentar un prominente lomo de tormenta hacia tierra.

Este sustrato es inestable y por ello las comunidades biológicas están compuestas de pocas especies.

e) Costas de arena fina y fango.

Las playas de arenas finas se forman en costas más protegidas en bahías y ensenadas, donde el viento no sopla hacia la costa. Estas playas no tienen mucha vegetación ya que estas playas la tasa de cambio de los sedimentos es más lenta por la protección del oleaje debido a la configuración de la costa.

Las costas fangosas, completamente resguardadas del oleaje fuerte, tienen una morfología casi plana y suelen tener una fauna bentónica muy rica.

f) Costas rocosas.

Las costas rocosas corresponden con las zonas litorales altas acantiladas, expuestas por lo general a la acción del oleaje, el viento y las mareas. Estas costas presentan gran abundancia, variedad y belleza de comunidades, encontrándose cabos, arrecifes y afloramientos rocosos de todas las clases en una alternante emersión sumersión al mar a causa de las mareas.

4.4 COMPONENTE HUMANO

El hombre recibe una dosis de contaminación importante, aunque los organismos consumidos no presenten evidencia de contaminación, ya que la misma es de baja concentración y de efectos a largo plazo.

El problema para el hombre no se detiene aquí: el crudo se une a lípidos, los cuales se movilizan en el cuerpo uniéndose a su vez a las proteínas, la cuales pueden llegar a afectar a los ácidos nucleicos (ADN y ADR), con un posible deterioro del código genético y memoria de la especie.

Los componentes altamente tóxicos pueden ser penetrados bajo su piel causando los posibles daños citados.

Aunque todos los efectos causantes son de difícil evaluación, debido a la amplia gama de compuestos químicos que lo componen.

Figura 19. Hombre afectado por derrame de crudo²²



²² <http://www.petroleomagdalena.com/2008-11-25/enero-1999-trabajadores-con-uniformes-de-papel-descartable-empetrolados/>

En conclusión los efectos del crudo se pueden resumir de la siguiente forma:

Reducción o destrucción de la vida marina, destrucción de los hábitat de toda forma de vida silvestre, reducción total o parcial de las playas costeras y sus animales, sufrimiento y mortalidad de las aves, tales como las gaviotas y pingüinos, inmovilizados por “empetrolamiento”.

5. METODOS CONVENCIONALES PARA EL CONTROL Y RECOLECCION DE DERRAMES

Al derramarse hidrocarburos en el océano, se deben tomar diferentes medidas de precaución para contener el derrame con el fin de disminuir el daño ambiental que este derrame puede generar, distintos factores actuarán sobre este derrame al encontrarse en el océano, condiciones meteorológicas y marítimas tales como las corrientes, el viento e incluso oleajes los cuales harán que los hidrocarburos se propaguen y los aleje del lugar donde se generó el derrame inicial, formando manchas que cubren grandes zonas marítimas haciendo más difícil su recolección. Por lo cual después de un derrame se debe plantear distintas opciones de respuesta, ya sea no hacer nada, en caso de que se trate de hidrocarburos ligeros, de alta evaporación y dispersión o cuando el proceso de limpieza puede ser más dañino para el medio ambiente que el mismo derrame. También se puede realizar incineración in situ, dispersión por medio de químicos, biorremediación o contención recolección y protección.

PRINCIPALES METODOS

Los principales métodos para mitigar los derrames de hidrocarburos son los siguientes:

5.1 METODO MECANICO

Al momento de un derrame será mejor realizar el tratamiento y/o recolección de este hidrocarburo mientras aún está en el mar en sus etapas iniciales, antes de que llegue a zonas sensibles tales como la costa o se expanda tanto que dificulte su recolección.

Dado esto lo ideal será:

- Mantener el derrame en un lugar determinado.
- Dirigir el derrame hacia un punto seleccionado donde no afecte el ambiente como en otros casos.
- Mantener el derrame alejado de un área determinada.

El método de preferencia siempre que sea posible es la contención del hidrocarburo por medio de una barrera, donde después se procede a su recolección por medio de equipos especializados como raseras o bombas almacenándolos de forma temporal en contenedores o tanques, por lo cual ya existen buques que incluyen todos estos tipos de equipos necesarios para la recuperación de hidrocarburos sin recurrir a la utilización de barreras debido a su sistema de acción inmediata al desastre, o también se puede realizar un sistema de contención estática ya sea en alta mar como cerca a la costa donde el hidrocarburo se movilizara de forma natural, y al momento de su llegada ya se tendrá listo el sistema de recolección preferente para el tipo de hidrocarburo que se derramo, así dependiendo del hidrocarburo se debe tener diferentes equipos tanto de recolección como de contención, aunque no se debe seleccionar estos equipos de acuerdo a las propiedades del crudo que inicialmente se derramo, si no que se debe tener en cuenta los cambios físico-químicos a los que se verá afectado el hidrocarburo respecto a los factores a los que se encuentra expuesto, por lo cual si no se realiza una buena selección del equipo, este puede llevar a mayores dificultades en los que podrá demorar la operación de recolección e incluso llegar a la suspensión en su totalidad de la operación generando graves problemas ambientales, por lo cual se deberá realizar una rápida atención al desastre tanto en contención como recuperación de tal manera que sea satisfactoria la operación, con este fin se dispone de aeronaves, para reconocer las zonas afectadas y así rápidamente realizar la movilización de los buques o barcos con barreras como se puede observar en la Figura 21., y comenzar la recolección del hidrocarburo con un equipo que se adecue tanto a las condiciones

marítimas y climáticas, así como a las propiedades del hidrocarburo antes que estas cambien y requiera de otro tipo de equipo para su recolección y almacenamiento.

Figura 20. Uso de barreras de contención²³



5.1.1 Barreras de contención

En operaciones de contención se puede utilizar las barreras de distintas formas y con diferentes objetivos, por ejemplo:

- Impedir que la descarga inicial se propague.
- Impedir que se propaguen tanto las descargas continuas como las descargas posteriores

²³ <http://digaohm.semar.gob.mx/proteccionEcologica.html>

- Proteger los recursos y zonas sensibles antes de la llegada de los hidrocarburos.
- Desviar de los recursos naturales y zonas sensibles una mancha que se está propagando.
- Desviar la mancha hacia zonas en las que se pueden recuperar los hidrocarburos con más facilidad.
- Cercar los hidrocarburos para su posterior recuperación.

La característica más sobresaliente de una barrera es su capacidad de contención o deflexión del petróleo que vendrá determinada por su comportamiento en relación con el agua. Así la barrera deberá ser lo bastante flexible para adecuarse al movimiento de las olas y al mismo tiempo ser lo bastante rígido para contener tanto petróleo como le sea posible.

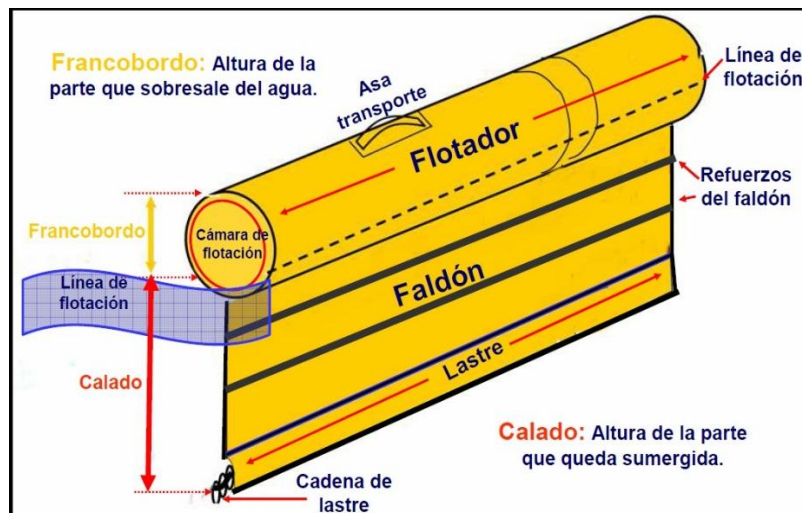
Es fundamental que una barrera tenga la suficiente robustez para el objetivo que vaya a ser utilizada, e incluso tendrá que estar a prueba de maltrato al cual estará expuesto tanto por las condiciones climáticas o marítimas y el manejo por parte de los operadores al momento de utilizarlas, a lo que se requiere que pueda soportar la fuerza del agua y del viento mientras este está siendo remolcado o está atracado. Además de esto la barrera también tiene que ser de fácil despliegue y de alta fiabilidad para realizar una mejor operación de contención.

La barrera está formada por las siguientes partes:

- Un medio de flotación que incluye un francobordo, para contener el petróleo y disminuir, en lo posible, que las olas pasen por encima.
- Un faldón que no permitir que el petróleo pase por debajo de la línea de flotación abarcando mayor área vertical.
- Un elemento tensor longitudinal para dar al sistema resistencia estructural y que permite fijar sus anclajes.
- Pesos que actúan junto al flotador permitiendo la verticalidad de la barrera.

- Conectores que permiten la unión de varios tramos con el fin de alcanzar una mayor longitud y así contener grandes áreas afectadas.

Figura 21. Nomenclatura de una Barrera²⁴



5.1.1.1 Tipos de barrera. Existe una gran variedad de tipos de barreras y a medida que pasan los años la tendencia se inclina hacia barreras de contención más resistentes, más ligeras, que sean infladas por aire, y de fácil maniobrabilidad para su despliegue.

Entonces dependiendo su construcción se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) Barrera de cortina de flotador macizo

Este tipo de barrera se construye usando espuma compacta resistente a la presencia del petróleo la cual está envuelta en una funda de lona. El francobordo tiene una altura del 33% del total de la barrera cuando esta se encuentra en aguas

²⁴ http://www.arcopol.eu/archivos/documentacion/76/CD_ARCOPOL_VF/sp/docs/terre/barreras.pdf

calmada, mientras que si se tienen corrientes fuertes esta puede llegar a ser del 50%, además sus tramos suelen ser de 15 a 25 m de longitud para facilitar su manipulación.

Figura 22. Barrera de cortina de flotador macizo²⁵

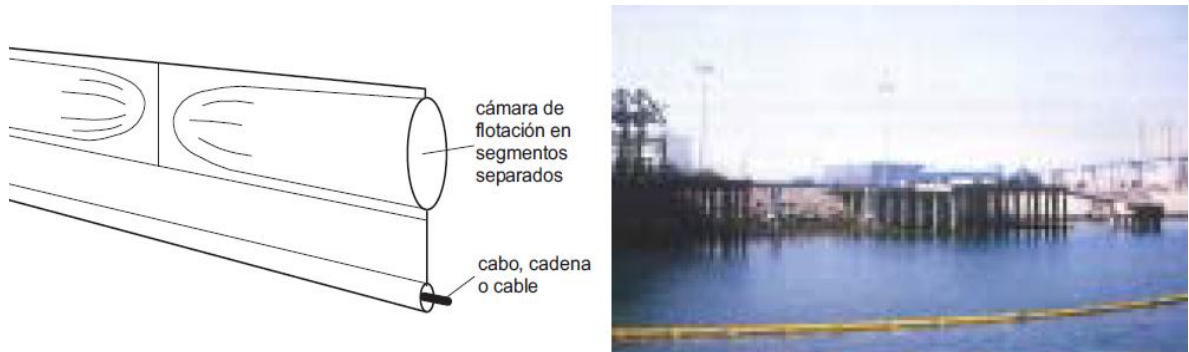


Tabla 1. Ventajas y Desventajas de cortina de flotador macizo²⁶

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Los pinchazos en el flotador no causan una disminución apreciable del francobordo. Fáciles de desplegar y limpiar. Resistente al deterioro por efecto de los restos flotantes. Capacidad de desplazamiento aceptable. Coste entre moderado y bajo. Disponible en una amplia gama de configuraciones y tipos de material. Empleo preferentemente fondeada.</p>	<p>Las barreras con elevado francobordo son muy voluminosas y difíciles de manipular. Si el flotador es rectangular la barrera no se adapta bien al perfil de las olas. Requieren mucho espacio para su almacenamiento y son susceptibles de deformarse durante el mismo.</p>

²⁵ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

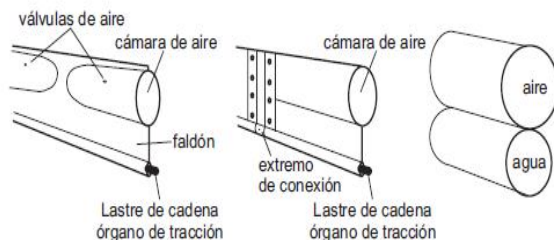
²⁶ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

b) Barrera de flotación inflable a presión

En este tipo de barreras se tiene una cámara de aire que genera la flotabilidad del mismo, siendo estos construidos normalmente a base de productos de PVC, poliuretano o nitrilo/neopreno. La barrera puede ser dividida en secciones de 2-3 m o sencillamente puede ser de longitud total sin seccionar, además poseen válvulas anti-retorno y válvulas para aliviar la presión de la barrera, este tipo de barreras tienen alta relación flotabilidad/peso por lo cual es muy adecuada para su transporte aéreo a zonas distantes ya que suele ser muy compacta para su almacenamiento, además el lastre de este se puede hacer por medio de una cadena, cable, o por un sistema hidráulico.

El tipo de barreras de flotación que se suelen usar para la protección del litoral suele poseer 2 cámaras, donde la cámara superior se encuentra llena de aire, mientras la inferior está llena de agua con el fin que al hacer contacto con el suelo, este se asiente de tal manera que no permita el paso del hidrocarburo a medida que descienda la marea.

Figura 23. Barrera de flotación inflable a presión²⁷



²⁷ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Tabla 2. Barrera de flotación inflable a presión²⁸

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>En general tienen buenas características de adaptación a las olas. Si dispone de compartimientos neumáticos divididos, un pinchazo solo produce una disminución parcial del francobordo. Un solo cilindro neumático reduce el tiempo de inflado, pero un pinchazo puede causar la pérdida total del francobordo. Requiere poco espacio de almacenamiento. Puede trasportarse en carreteles listo para ser desplegado. Fácil de desplegar. Fácil de limpiar. Uso preferente remolcado.</p>	<p>Un pinchazo puede causar la total pérdida del francobordo si esta construida formando una sola sección. Si está dividida en compartimentos separados, la tarea de inflado es lenta, ya que hay que inflarlas por separado. Para las barreras de gran tamaño, el sistema de carreteles es muy pesado.</p>

c) Barrera de flotación auto inflable

Para la construcción de este tipo de barrera se utilizan materiales tales como PVC, poliuretano o similares, al igual que el tipo de barrera anteriormente mencionado. Pero a diferencia este posee un sistema que permite auto inflarse y mantenerse así después de que este ha sido desplegado donde ya no es necesario que se haga el inflado del sistema desde el bote o buque que este instalando la barrera, además como componente de tracción se usa la propia lona de la barrera más la cadena que es utilizada tanto de lastre como de consolidación, la cual está ubicada en el borde inferior del faldón con sección de amarre a intervalos regulares a lo largo de la barrera.

²⁸ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Figura 24. Barrera de flotación auto inflable²⁹

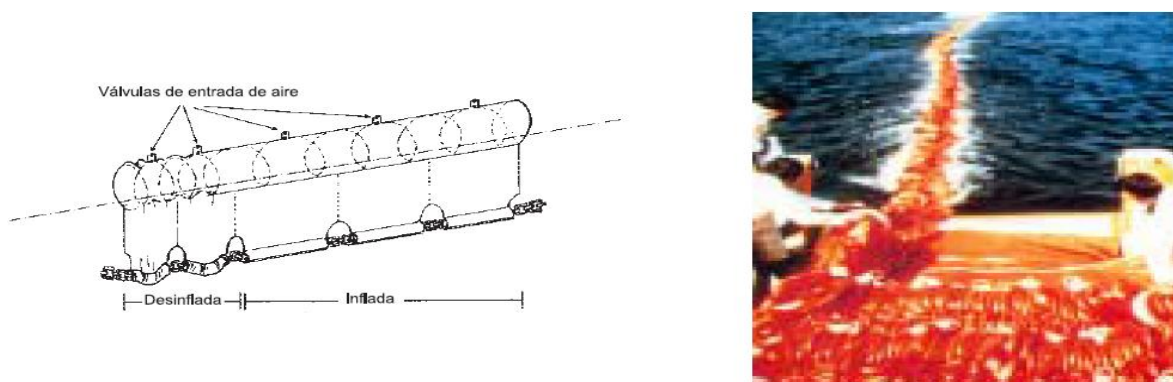


Tabla 3. Ventajas y Desventajas Barrera de flotación auto inflable³⁰

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Por lo general sus compartimientos son estancos, por lo que el pinchazo de un elemento no produce la pérdida total del francobordo. Buena aptitud para desplazarse por la superficie. Fácil y rápida de desplegar. Poco voluminosa para almacenar. Empleo preferiblemente fondeada.	Propensas al deterioro de su estructura interior. Existe la posibilidad de que entre agua por las válvulas de aire. Difícil de limpiar. Tienen precios elevados. Son costosas y difíciles de reparar. Una vez usadas es difícil restablecer su almacenamiento sobre sistemas de carretes.

d) Barreras de valla

Este tipo de barreras son construidos de material semi-rígido o rígido, posee una pantalla vertical en la cual están acoplados los flotadores, los sistemas de lastre se

²⁹ parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

³⁰ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

ubican en la parte inferior de la pantalla en el cual se puede utilizar tanto cadenas, cables o incluso pesas, los materiales seleccionados para la construcción de este tipo de barrera varían entre PVC, poliuretano y nitrilo/neopreno para la pantalla, mientras que para los flotadores tiende a utilizarse espuma compacta con caras planas el cual se integra en un material más ligero que los utilizados en la pantalla.

Figura 25. Barrera de Valla³¹

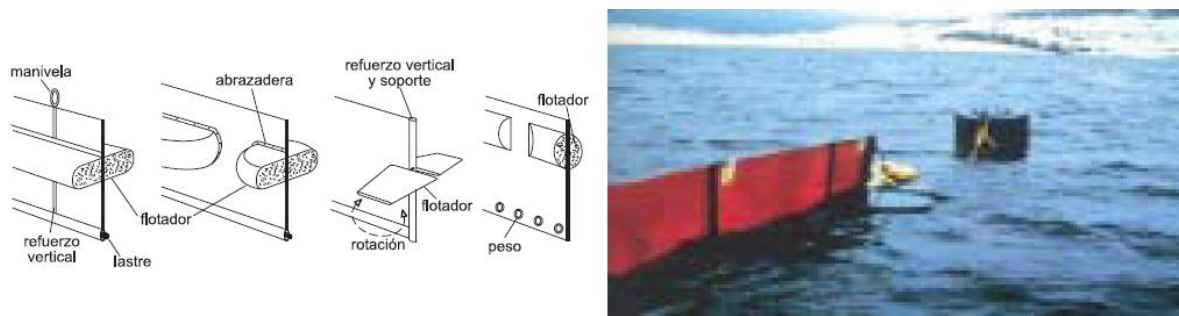


Tabla 4. Ventajas y Desventajas Barrera de Valla³²

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Rápidas de desplegar. Excelentes en lo que respecta a su manipulación y almacenamiento compacto. Pueden tener una construcción sencilla e improvisarse con materiales de fortuna. Velocidad de escape del petróleo moderada. Empleo principalmente fondeada</p>	<p>Se adaptan mal al oleaje por la poca flexibilidad del faldón y una baja relación flotabilidad – peso. Tienen tendencia a volcar por efecto de los vientos y corrientes. Si se dañan pueden volverse inestables y perder francobordo. A veces son difíciles de manipular. Difícil de limpiar y voluminosa para estibar.</p>

³¹ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

³² Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

e) Barrera de valla con órgano de tracción externa

Construida en materiales ya sea de PVC o poliuretano, la pantalla en su parte media posee un órgano de tracción longitudinal ubicado en una posición horizontalmente contraria al derrame, y la cual se despliega en dirección en la que vienen las condiciones predominantes para la contención del derrame.

Figura 26. Barrera de valla con órgano de tracción externa³³

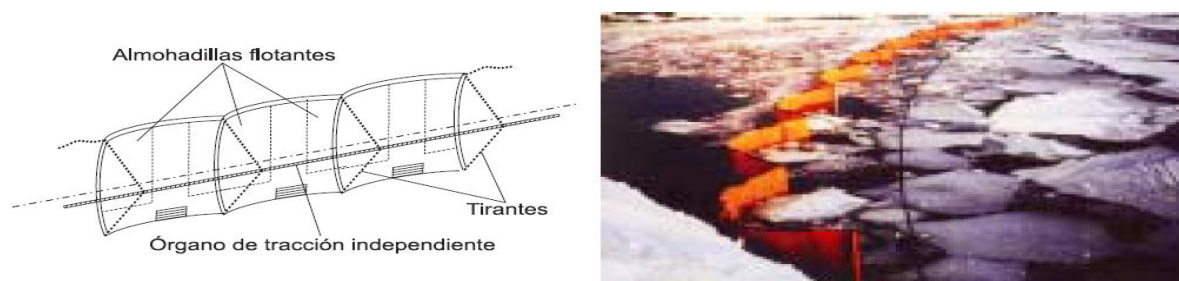


Tabla 5. Ventajas y Desventajas Barrera de valla con organo de traccion externa³⁴

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Buenas para remolcar con corrientes, vientos y mar fuerte.</p> <p>Excelente respuesta de balance y cabeceo.</p> <p>Apropiadas para grandes derrames en aguas abiertas.</p> <p>El órgano de tracción externo le proporciona excelentes características de adaptación a las olas y reduce el tamaño del faldón.</p> <p>Presentan una forma cóncava cuando son remolcadas o cuando se mantienen contra la corriente, facilitando la retención de los hidrocarburos.</p> <p>Bastante resistente al deterioro.</p> <p>Poco peso.</p> <p>Empleo preferentemente remolcada.</p>	<p>Difíciles de desplegar y recuperar debido a la complejidad de la cabullería de maniobra.</p> <p>Difícil de limpiar.</p> <p>Volumen de almacenamiento moderado.</p> <p>Los órganos de tracción se pueden enredar durante el despliegue.</p> <p>Las barreras pueden funcionar únicamente en una dirección de la corriente.</p>

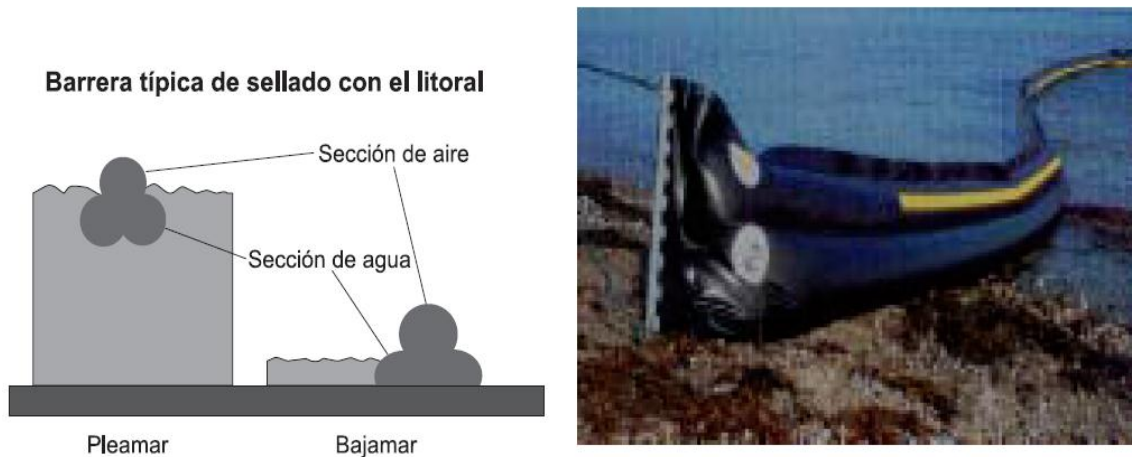
³³ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

³⁴ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

f) Barrera de sellado con el litoral

En general este tipo de barreras se construyen ya sea en PVC o poliuretano, básicamente comprende 3 cámaras independientes entre sí, que recorren toda la longitud de la barrera en forma triangular, donde la cámara superior estará llena de aire con el fin que genere la flotabilidad para esta barrera, mientras que en su parte inferior se encontrara llena de agua en ambas cámaras, cuando la marea desciende esta barrera proporciona un sellado fuerte contra el litoral obstruyendo el paso del hidrocarburo, mientras en otras ocasiones cuando hay marea alta, actúa como una barrera flotante convencional.

Figura 27. Barrera de sellado con el litoral³⁵



³⁵ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Tabla 6. Ventajas y Desventajas Barrera de sellado con el litoral³⁶

Ventajas	Desventajas
Excelentes propiedades de sellado con el litoral	Por lo general se despliegan con menos rapidez debido a las operaciones de inflado y llenado de agua que requieren
Buenas características de adaptación a las olas	Los requisitos de mantenimiento tras su utilización son por lo general más intensos que para las barreras convencionales
Requieren poco espacio de almacenamiento	
Una única cámara grande de aire reduce el tiempo de inflado (pero un pinchazo puede causar la pérdida total de francobordo)	

g) Otros tipos de barreras

- Barreras neumáticas: emplea una pantallas de burbuja de aire que se libera bajo la superficie del agua, que provienen normalmente de una tubería fija el fondo del mar, estas burbujas que suben, producen una corriente de agua ascendente que se desvía horizontalmente al arribar a la superficie, de esta forma se produce en superficie una corriente hacia ambos sentidos horizontales la cual puede contener una mancha de hidrocarburos como se puede ver en la siguiente imagen:

³⁶ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Figura 28. Barrera neumática³⁷

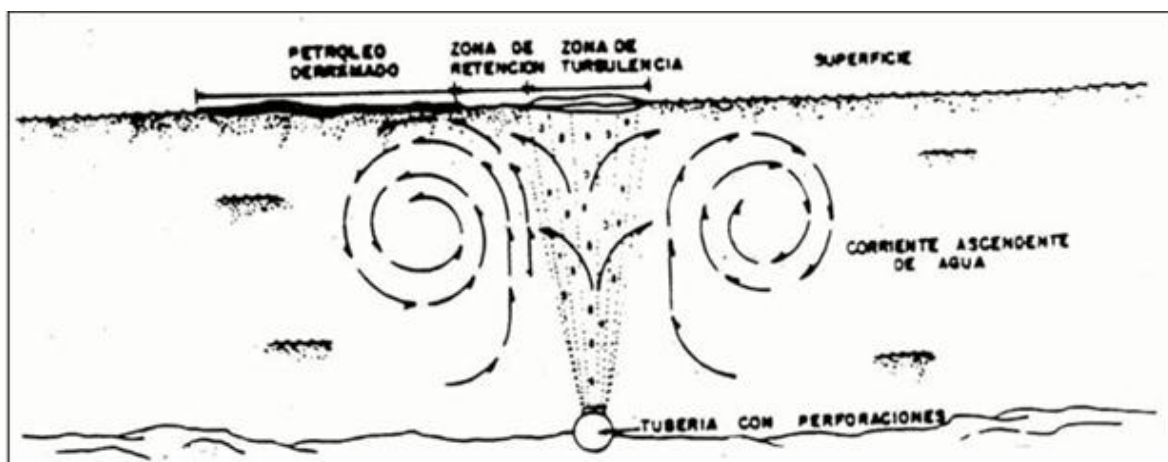


Tabla 7. Ventajas y Desventajas Barrera neumática³⁸

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>No interfiere en el paso del tráfico marítimo. Se activan rápidamente. Uso en el interior de puertos.</p>	<p>Solo resulta efectiva en aguas tranquilas y poco profundas. La corriente debe ser muy débil. Las condiciones meteorológicas deben ser estables. Susceptibles de obstruirse por cieno. Requieren una infraestructura considerable.</p>

- Barreras improvisadas: se utiliza este tipo de barrera cuando no se tiene acceso a barreras comerciales, tal es el caso de lugares muy alejados con poco acceso, así se tiende a utilizar materiales de los que se tenga pronta disposición como barriles de petróleo vacíos, troncos de madera, materiales absorbentes, telas oleofilicas, etc. Adaptándoles un sistema de flotación y entrelazados de tal

³⁷ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

³⁸ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

manera que proporcionen un tipo de barrera y así detener la propagación de la mancha mientras se implementa un mejor sistema.

5.1.1.2 Criterios de selección para barreras de contención. Inicialmente una barrera debe ser lo suficientemente fuerte, robusta y a su vez amplia para así poder resistir las distintas fuerzas que se le apliquen tanto de factores climáticos, como por el medio marítimo he incluso el manejo operacional. Además de esto, debe ser lo suficientemente flexible para adecuarse a las condiciones a la que se vea expuesto, sus materiales de construcción deben ser de tal calidad que no permita su degradación, daño u otro problema tal como un pinchazo que pueda llevar a problemas operacionales. También debe poseer cualidades sencillas para ser fácilmente transportado y desplegado y que sea visualmente visible en la superficie marina, demás factores deberán ser adecuados respecto al tipo de derrame y condiciones de operación, para lo cual se dispone de la siguiente tabla, como medio de guía para la selección de barrera según las condiciones operacionales.

Tabla 8. Elección de barrera para distintas condiciones de operación³⁹

	Aguas en calma	Corrientes de agua en calma	Aguas protegidas	Aguas abiertas	Aguas abiertas y encrespadas
Altura de olas (m)	< 0,3	< 0,3	0-1,0	0-2,0	>2
Condiciones	Olas pequeñas y cortas que no rompen	Corrientes de 0,4 m/s o superiores	Pequeñas olas y algunas crestas blancas	Olas moderadas y crestas blancas frecuentes	Grandes olas, crestas de espuma y algunos rociones
Tipo o grupo de barrera adecuada	Cortina Valla	Cortina con francobordo de un 50% de la altura de la barrera Valla	Cortina Valla	Cortina Valla con órgano de tracción externo	Cortina
Altura de barrera (mm)	150-600	200-600	450-1 100	900-2 300	1 500+
Relación flotabilidad-peso	3:1	4:1	4:1	8:1	8:1
Resistencia mínima a la tracción de la barrera (Newtons)	6 800	23 000	23 000	45 000	45 000+

³⁹ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

5.1.1.3 Fallas y límites de las barreras

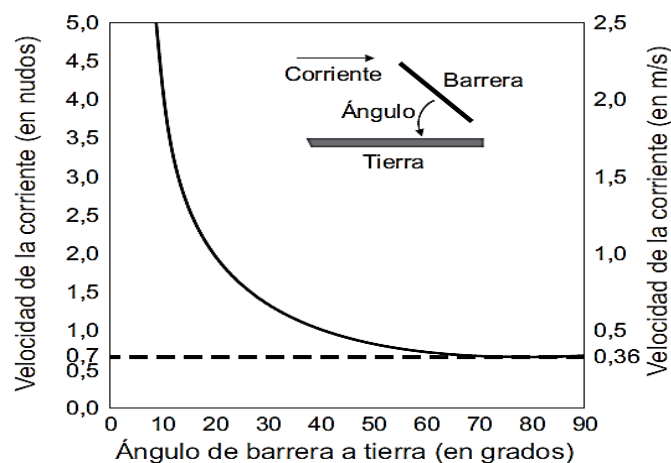
Visto operacionalmente las barreras pueden tener distintas fallas por diferentes razones, los tipos de fallas más importantes son los siguientes:

- Fallas por drenaje

Cuando los hidrocarburos se acumulan en la parte frontal de la barrera estos aumentan su profundidad hasta tal punto en que puede pasar la parte inferior de la barrera drenándose hacia el lado posterior, esto sucede porque el agua que está ubicada en la cara de la barrera es desviada por su parte inferior, ósea por el faldón, dejándole mayor espacio al hidrocarburo hasta que alcanza su altura critica superando a la barrera y drenándose.

Además la velocidad a la que la barrera está expuesta permite más fácilmente este drenaje ya que la corriente tiende a disminuir lateralmente el ángulo de la barrera en la parte del faldón.

Figura 29. Inclinación de la barrera en la dirección de la corriente⁴⁰



⁴⁰ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

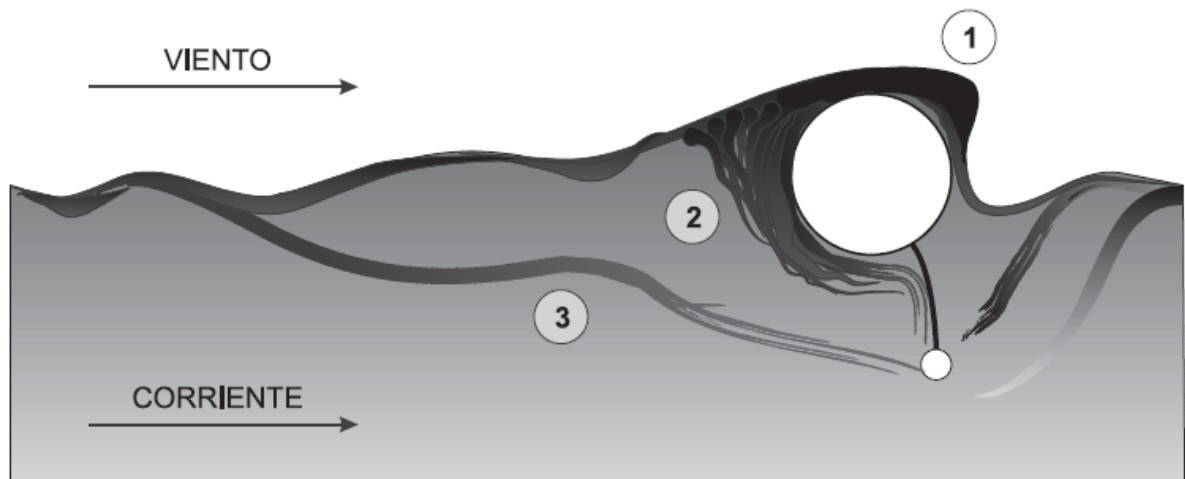
- Falla por inmersión

Este tipo de fallas sucede cuando se despliega la barrera en lugares o zonas donde existen corrientes demasiado rápidas, o cuando la barrera es remolcada muy rápido, esta tendera a sumergirse si su lastre no está bien ubicado o su relación flotabilidad/peso no es lo suficientemente buena respecto a la corriente a la que está expuesto.

- Falla por arrastre

Cuando se tienen corrientes, la corriente tienden a sobrepasar la parte inferior de la barrera esto sucede cuando la corriente es lo suficientemente fuerte como para superar la retención del faldón, esto genera que la mancha se separe y tienda a ser arrastrada por el agua en la parte inferior.

Figura 30. Falla de la barrera (1) salpicaduras, (2) drenaje, (3) arrastre⁴¹



⁴¹ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Como se puede observar en la imagen, en la zona 3 se aprecia cómo se produce el arrastre del hidrocarburo por medio de la corriente de agua, la zona 1 y 2 son fallas por salpicadura y drenaje respectivamente.

Una forma de disminuir este inconveniente es reduciendo la velocidad aparente perpendicular que se presenta en la cara del faldón, aumentando la verticalidad del faldón, con una mejor ubicación del lastre. Así el ángulo del faldón aumentara y por consiguiente disminuirá la velocidad de la corriente.

- Falla por salpicadura

Al tener una barrera en la presencia de fuertes vientos y una marea agitada, se produce que ciertas cantidades de hidrocarburos pueden ser arrastradas por la parte superior de la barrera como se muestra en la figura superior (zona 1), esto sucede si la altura de la ola supera la del francobordo o cuando la relación altura-longitud de la ola es inferior de 10:1.

5.1.2 Equipos o elementos recolectores

Ya ubicado el derrame de hidrocarburos y realizado el sistema de control o contención evitando su propagación, se procede a combatir sus efectos, una forma es realizando la recolección de estos por medio de equipos especializados.

La forma más ideal es separar el hidrocarburo del agua, pero eso un proceso complicado ya que existen distintos factores que dificultan esta operación, tales como la cantidad de hidrocarburos, las condiciones operacionales (mar, viento, corrientes, etc.), las propiedades del hidrocarburo, etc.

Este proceso conlleva a una recuperación de hidrocarburos por medio de un equipo mecánico, sin causar mayores alteraciones en sus propiedades físicas o químicas.

Estos equipos se utilizan cuando el hidrocarburo ha sido confinado por medio de barreras flotantes mencionadas anteriormente, si las condiciones ambientales y marítimas son apropiadas (en calma y poco oleaje) este tipo de equipos mecánicos puede realizar una muy buena recolección, pero si por el contrario las condiciones son adversas su eficacia tenderá a ser muy baja aun así debido a la variedad de equipos se puede disminuir un poco este factor, por lo cual a la hora de elegir un equipo se deberá tener en cuenta el estado en el que se encuentre el mar, el tipo de hidrocarburo y sus condiciones de meteorización.

Estos equipos se pueden agrupar en tres categorías principales:

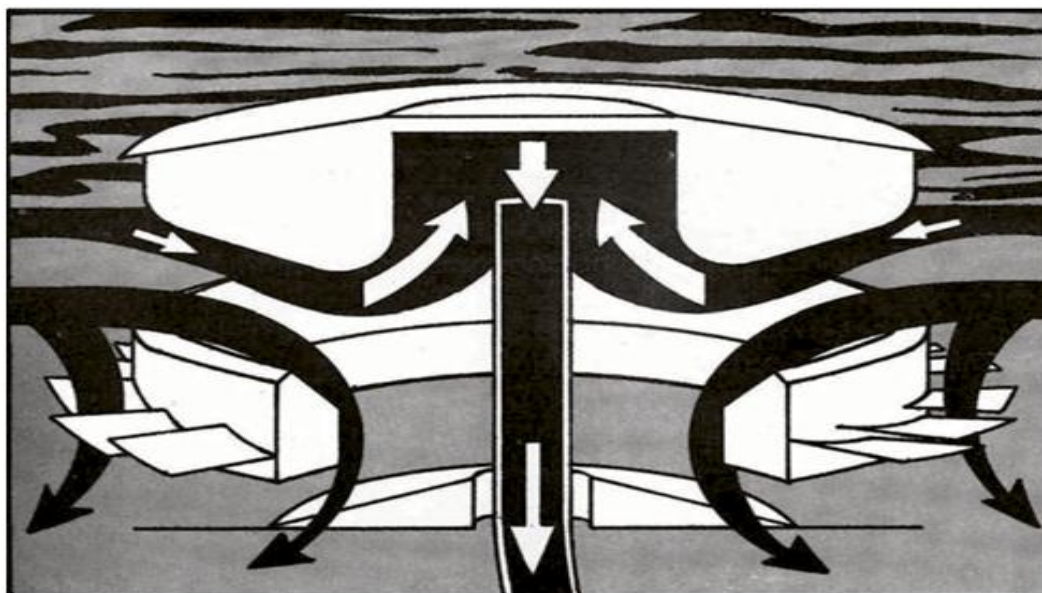
5.1.2.1 Dispositivos de inducción. Este tipo de equipos utiliza el movimiento de las corrientes de agua en las que se encuentre ubicado, o el flujo que se produce mientras está siendo trasladado por el cuerpo de agua contaminado, así se induce una corriente de hidrocarburos a través del equipo donde será separado del agua y recogido, debido a esta cualidad suele ser incorporados en los buques.

Para los dispositivos de inducción se tendrán distintas opciones con cualidades propias, algunos de ellos son:

- Molinete de inducción

Es un equipo con un rotor en su parte inferior, por debajo del nivel de agua, el cual posee un cierto tipo de hélices las cuales tienden a girar lentamente y así debido al diferencial de velocidades y densidades que se produce en la mezcla de agua con hidrocarburos, produce que los hidrocarburos se concentren en mayores cantidades en la parte superior pasando las hélices, donde son llevados a una compuerta para ser vertidos en un colector.

Figura 31. Molinete de inducción⁴²



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Bueno	Bueno	Moderado	< 1 nudo	No.

Tabla 9. Ventajas e inconvenientes Molinete de inducción⁴³

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Tienen poco peso y pueden recogerse y desplegarse con facilidad. Arrastran los hidrocarburos desde varios pies de distancia.	Solo pueden utilizarse para un estado de la mar, fuerza 2 (de 0,2 a 0,3 metros). Su máxima eficacia se consigue ante petróleos de baja viscosidad. La corriente tiene que ser inferiores a 1 nudo. Les afectan mucho los detritos flotantes. Las olas y corrientes influyen mucho en el flujo de hidrocarburos inducido en el molinete. Se debe vigilar cuidadosamente la operación, para mantener alta la relación hidrocarburo / agua.

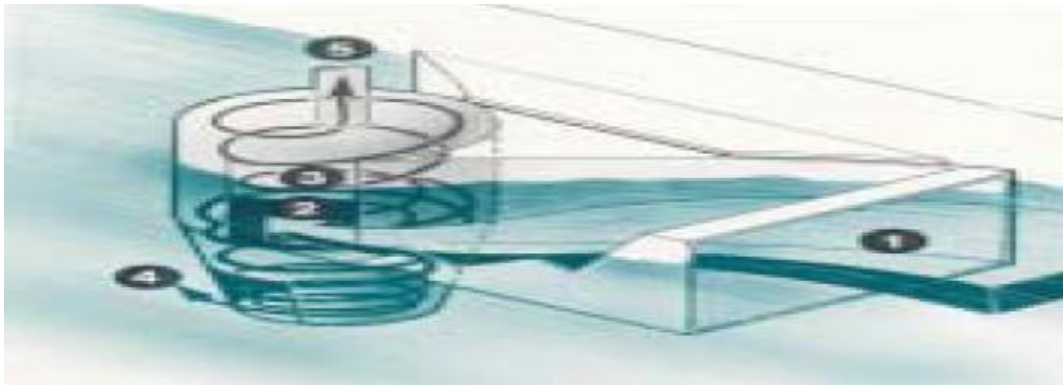
⁴² Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

⁴³ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

- Hidrociclón / Torbellino

La mezcla de agua con hidrocarburos entra al equipo por una cámara de recuperación, allí es dirigido a un cono donde se produce un efecto de centrifuga en cual por diferencia de densidades envía el agua a la parte inferior y será redirigido nuevamente al mar, mientras que el aceite se ira por la parte superior hacia una cámara donde será bombeado a una unidad de almacenamiento, la efectividad de este equipo se verá afectada por la presencia de oleaje ya que no mantendrá la estabilidad hacia el vórtice.

Figura 32. Hidrociclón/Torbellino⁴⁴



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Deficiente	Deficiente	Deficiente	2 nudos	Si.

⁴⁴ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

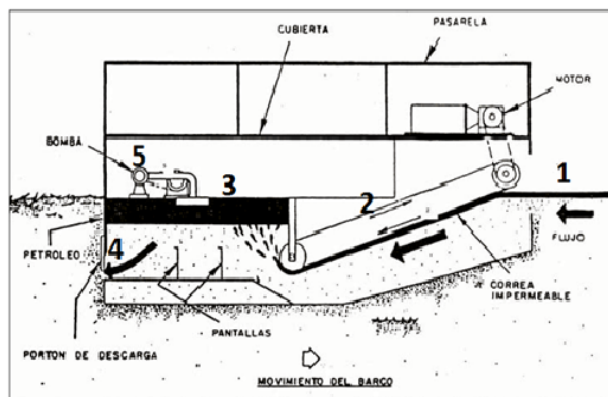
Tabla 10. Ventajas e inconvenientes Hidrociclón/Torbellino⁴⁵

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Puede operar con corrientes de hasta 2 nudos. Puede montarse en cualquier instalación situada mar adentro o en un buque.	Solo opera con eficacia con mar en calma, ya que la estabilidad del vortice se ve afectada por el oleaje. Les afecta la acción de las olas de proa sobre el buque en que se encuentran instalados. Su rendimiento y eficacia es deficiente.

- Plano sumergido

A medida que este equipo se mueve en la superficie contaminada, hace que la mezcla de hidrocarburos con agua se dirija a su interior y son forzados a descender y llevados a una cámara donde por medio de unos separadores y por diferencia de densidades los hidrocarburos son ubicados en la parte superior de una cámara, esta cámara tiene una compuerta de salida en la parte inferior donde estará situada el agua que ha sido separada de la mezcla, mientras que en la parte superior tendrá una bomba por donde el hidrocarburo será retirado y llevado a almacenamiento.

Figura 33. Plano sumergido⁴⁶



Los hidrocarburos y detritos (1) son interceptados en la superficie del agua, conducidos hacia abajo (2) a través de un plano móvil inclinado hacia el interior de un recipiente colector. Los hidrocarburos flotan hacia la parte superior del recipiente colector (3) a causa de su flotabilidad. Una capa espesa de hidrocarburos se forma en la parte superior de la zona de recogida. En la parte trasera del recipiente colector (4) hay agua y los hidrocarburos son bombeados (5) prácticamente sin agua a un tanque de almacenamiento a bordo de la propia rasera o en gabarras cercanas.

⁴⁵ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

⁴⁶ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Bueno	Bueno	Moderado	2,5 nudos	Si

Tabla 11. Ventajas e inconvenientes Plano sumergido⁴⁷

VENTAJAS	INCONVENIENTES
No se requieren unidades de potencia excepto para la bomba de descarga. Como parte del proceso de recogida se desecha el agua en exceso.	Los detritos ensucian el separador. Su eficacia disminuye con el oleaje.

- Compuerta de avance

Inicialmente una mezcla de hidrocarburos con agua se separa por medio de una banda inclinada ajustable, donde el agua se ubica en la parte inferior por diferencial de densidades, y antes de llegar a la parte trasera del equipo encontrara una esclusa de descarga en la parte inferior, mientras el hidrocarburo será ubicado en la parte superior y será llevado hasta la parte trasera donde se verá separado por una compuerta autoajustable y allí será removido por medio de una bomba a un sistema de almacenamiento.

⁴⁷ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Figura 34. Compuerta de avance⁴⁸



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Bueno	Bueno	Moderado	< 3 nudos	No

Tabla 12. Ventajas e inconvenientes Compuerta de avance⁴⁹

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Puede manipular algunos detritos si la pantalla anti – detritos se limpia periódicamente de forma manual.</p> <p>Adecuada para la recuperación de grandes manchas de hidrocarburos en mar abierto y en calma.</p> <p>Alta velocidad de recuperación en el caso de grandes manchas de hidrocarburos confinados.</p> <p>Fácil de operar.</p>	<p>Solo puede trabajar con estado de la mar de fuerza < 2.</p> <p>Limitada a sondas de agua superiores a 1,2 metros.</p> <p>Alto porcentaje de fluido recogido (hidrocarburo, agua, emulsión).</p>

5.1.2.2 Dispositivos de compuerta. Este tipo de equipos cuenta con una compuerta ubicada en la interfaz hidrocarburo-agua, permitiendo así, que solo la película de hidrocarburos pase por la parte superior de la compuerta para

⁴⁸ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

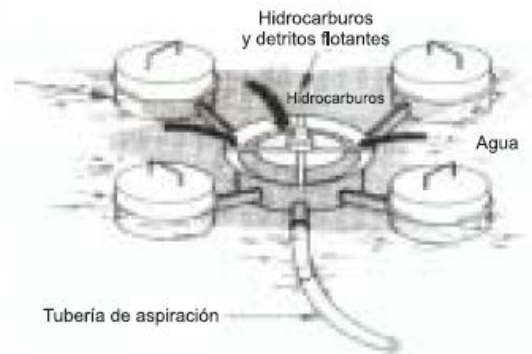
⁴⁹ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

posteriormente ser recolectada donde por medio de una bomba serán almacenados, suele tener flotadores ajustables con el fin que la compuerta quede mejor situada así podrá realizar una mejor recolección de hidrocarburos, dada sus características su mayor eficiencia se presenta mientras las condiciones ambientales y marítimas sean estables, por lo cual la presencia de alto oleaje y mal clima disminuirán su eficiencia.

- Compuerta básica

Este equipo se basa en el principio anteriormente mencionado donde se recoge los hidrocarburos flotando en la parte superior de la superficie del mar entrando a un punto de recogida donde una bomba los trasvasara a un tanque de almacenamiento.

Figura 35. Compuerta básica⁵⁰



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Bueno	Bueno	Moderado	< 1 nudo	No

⁵⁰ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

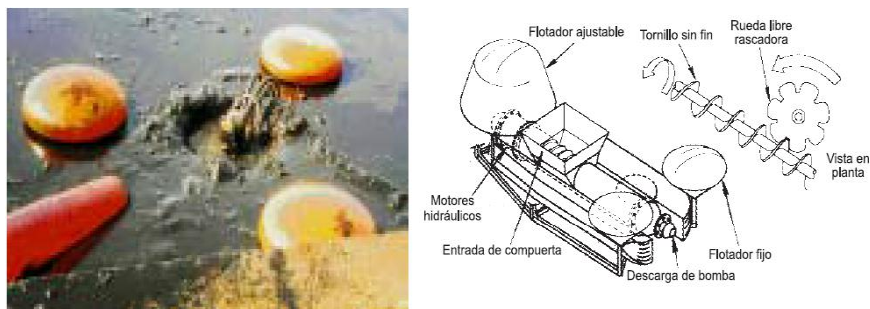
Tabla 13. Ventajas e inconvenientes compuerta básica⁵¹

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Buena para aguas poco profundas. Fácil de manipular. Buena en condiciones de mar en calma. Buena para petróleos poco viscosos.	Limitada a condiciones de mar en calma, ya que el dispositivo puede inclinarse con el oleaje y entrar el agua. Sensible a todo tipo de detritos. El grosor de la capa debe ser mayor a 0,5 cm. Corriente inferior a 1 nudo.

- Compuerta de fuerza

Para este tipo de equipos se emplea una compuerta sencilla, la cual tiende a recolectar las capas superiores de fluido, en este caso, hidrocarburos presentes en el derrame, ya que este por diferencia de densidades tienden a ubicarse en la parte superior dejando el agua abajo. Estos hidrocarburos recogidos son bombeados por medio de una bomba de tornillo reversible las cuales emplean discos rotatorios para así poder mantener la presión de succión suficiente en la operación, además posee un sistema de flotadores el cual le da estabilidad al encontrarse en proceso de recolección, aunque no es muy efectivo cuando se tiene malas condiciones tanto climáticas como marítimas.

Figura 36. Compuerta de fuerza⁵²



⁵¹ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

⁵² Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Moderado	Bueno	Bueno	2 nudos	No

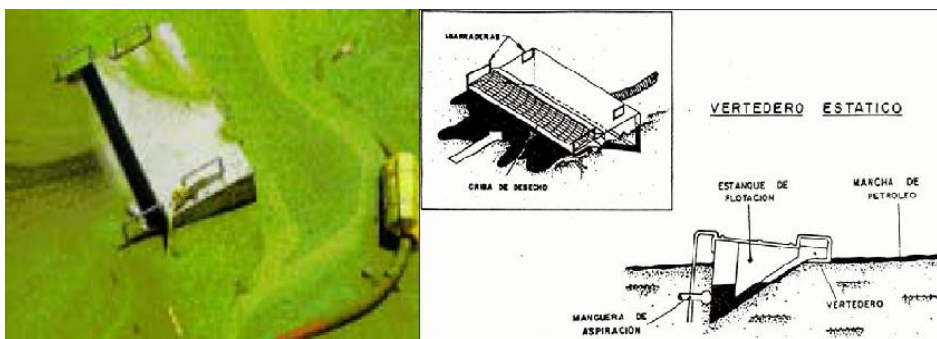
Tabla 14. Ventajas e inconvenientes compuerta de fuerza⁵³

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Buena para aguas poco profundas (> 1 metro). Puede bombear hidrocarburos muy viscosos. Fácil de desplegar y operar. Construcción robusta.	Limitada a estados de la mar fuerza < 2. Los hidrocarburos pesados requieren en ocasiones ayuda manual para fluir por encima de la compuerta. Se puede desarrollar una contrapresión elevada en las tuberías de descarga cuando se están bombeando hidrocarburos viscosos.

- Compuerta auto-niveladora

Este sistema realiza recolección al igual que los equipos anteriores donde un borde tiende a ir en la interfase hidrocarburo-agua, pero a diferencia de los otros produce una columna donde por medio de una bomba se extraerá el hidrocarburo, a medida que aumenta la velocidad, se aumenta la recuperación, por lo cual la columna de hidrocarburo aumentara su altura.

Figura 37. Compuerta auto-niveladora⁵⁴



⁵³ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

⁵⁴ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Moderado	Bueno	Bueno	2 nudos	No

Tabla 15. Ventajas e inconvenientes compuerta auto niveladora⁵⁵

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Buena para aguas poco profundas. Fácil de desplegar y operar en modo estacionario. Construcción sencilla. Económica desde el punto de vista de su adquisición y mantenimiento.	Solo puede trabajar con mar en calma. Se requiere una profundidad mínima de 0,3 metros de agua. Si la manguera o la aspiración tocan fondo, la compuerta se inclina y opera deficientemente. Los hidrocarburos pesados y los detritos obturan la compuerta. Baja relación de recuperación en manchas de poco espesor.

5.1.2.3 Dispositivos oleófilicos. Para este tipo de dispositivos se emplea objetos con superficies oleófilicas, el cual tiene gran afinidad hacia los hidrocarburos, por lo cual el hidrocarburo tiende a adherirse a estos objetos, los cuales pueden variar entre discos, cuerdas, cepillos etc. Así será extraído por medio de estos objetos, los cuales por medio de rascado o exprimido remueve los hidrocarburos en este dejándolos en una zona donde será recolectados para su almacenamiento.

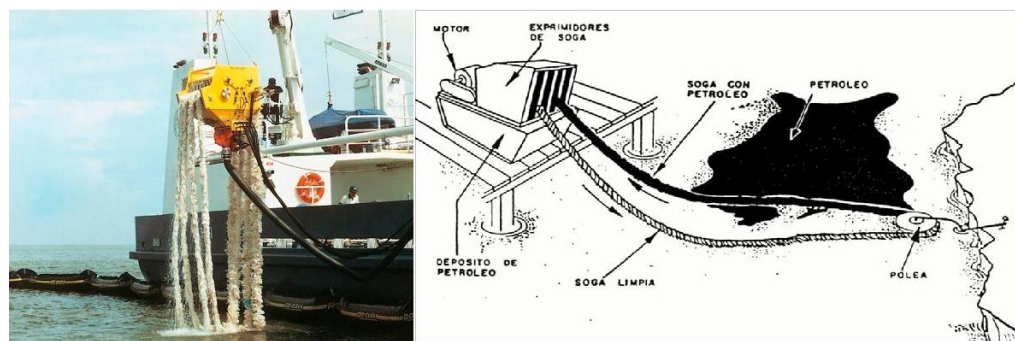
- Fregadora de cuerdas

Para estos dispositivos se cuenta con una cuerda sin fin compuesta de un material oleófilico sintético con gran afinidad al hidrocarburo de hasta 100 metros de largo, la cual se ubica estratégicamente sobre la zona afectada por el derrame donde los hidrocarburos tenderán a adherirse a la cuerda, allí por medio de poleas se recoge

⁵⁵ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

la cuerda ya impregnada de hidrocarburos que pasara por unos rodillos los cuales exprimen esta, en algunos casos se inyecta vapor en la zona de exprimido lo cual facilita la remoción del hidrocarburos así estos se recogen en un colector ubicado en la parte inferior del exprimidor donde ya sea por drenado gravitacional o bombeo serán llevados a un tanque de almacenamiento.

Figura 38. Fregadora de cuerdas⁵⁶



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Moderado	Bueno	Moderado	5-6 nudos	Según instalación

Tabla 16. Ventajas e inconvenientes fregadora de cuerdas⁵⁷

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Eficaz con estado de la mar hasta fuerza 3. Puede operar con cualquier sonda de agua. Buena velocidad de recuperación. En general los detritos flotantes no la afectan. Las cuerdas pueden actuar como barreras si la corriente es pequeña. Puede operar en lugares de difícil acceso. Buena con mal tiempo.</p>	<p>Se desgastan con mucha facilidad si se utilizan en zonas arenosas. No recupera los detritos impregnados de hidrocarburos. Su despliegue es complicado. No es buena cuando se trata de recoger hidrocarburos muy viscosos.</p>

⁵⁶ http://www.directindustry.es/prod/desmi-pumping-technology-s/skimmers-hidrocarburos-aplicaciones-offshores-21088-478363.html#product-item_478371

⁵⁷ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

- Cepillo oleófilico

Serie de cepillos ubicados con una pequeña diferencia de espacio de tal manera que entre ellos recogen los hidrocarburos productos de un derrame, a medida que este se encuentra en la parte interior del dispositivo se rasca con un dispositivo limpiador tipo peine, así el hidrocarburo queda en el interior para su almacenamiento. Estos pueden funcionar por si mismos o pueden ir adaptados en un buque.

Figura 39. Cepillo oleofilico⁵⁸



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Moderado	Bueno	Bueno	2 nudos	Si

Tabla 17. Ventajas e inconvenientes Cepillo oleofilico⁵⁹

VENTAJAS	INCONVENIENTES
<p>Buena para hidrocarburos residuales, emulsionados y meteorizados. No suelen afectarle los detritos ni el oleaje. Los hidrocarburos recogidos contienen poco agua en exceso.</p>	<p>Las unidades montadas en la proa de un buque, pueden verse afectadas por su movimiento.</p>

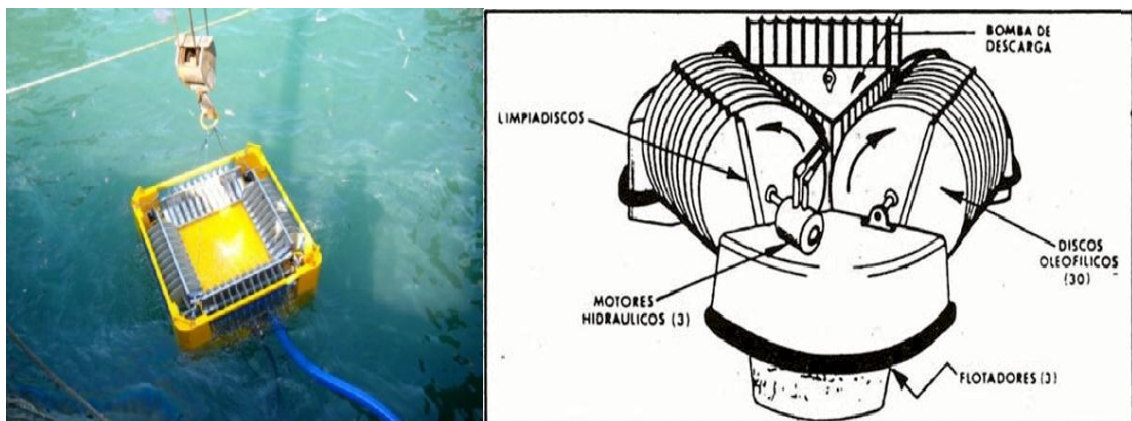
⁵⁸ <http://www.nauticexpo.es/prod/markleen-terra/skimmer-hidrocarburos-cepillos-discos-tambor-32644-335662.html>

⁵⁹ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

- Discos oleófilicos

El sistema acomoda una serie de discos en variadas configuraciones, ya sea lineal, triangular, circular o cuadrada. Los cuales poseen un motor para potenciar cada disco, estos poseen propiedades oleófilicas, haciendo que el hidrocarburo sea adherido a la superficie de estos, así, conforme giran hacia adentro verterán el crudo dentro del equipo donde se pasara a tanque de almacenamiento por medio de una bomba. Además estos discos pueden poseer unos tipos de dientes en su superficie los cuales ayudan a la remoción de hidrocarburos más pesado, los cuales con los discos normales no sería suficiente para separarlos de la superficie marina.

Figura 40. Discos oleofilicos⁶⁰



Hidrocarburos ligeros	Hidrocarburos medios	Hidrocarburos pesados	Corriente máxima	Modo de avance
Bueno	Bueno	Moderado	< 1 nudo	No

⁶⁰ https://www.conterol.es/skimmer-de-discos-de-30-m3h_prod_511

Tabla 18. Ventajas e inconvenientes Discos oleofilicos⁶¹

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Las unidades pequeñas tienen un calado inferior a 300 mm. Buena fiabilidad. Buena velocidad de recuperación en manchas con un espesor superior a 5 mm. Las unidades pequeñas pueden ser manipuladas por dos personas. Las unidades de potencia y las bombas son remotas y eso mejora su adaptación a las olas. La relación hidrocarburo/agua es elevada.	Limitada a estados de la mar hasta fuerza 2. Los detritos flotantes y fibrosos pueden enrollarse en los ejes de los discos y detener su giro. No recupera hidrocarburos solidificados o meteorizados. Pierde capacidad de recuperación si los hidrocarburos se han tratado previamente con dispersantes. Las bombas remotas trabajan mal con hidrocarburos viscosos.

5.1.3 SORBENTES

Estos como su nombre lo indicia son utilizados para absorber los hidrocarburos presentes en un derrame en lugar del agua. Tiende a ser usado en los casos en que las manchas son pequeñas o cuando la recolección con dispositivos mecánicos no es posible debido a distintos factores, como por ejemplo, derrames a poca profundidad.

Los materiales sorbentes que son utilizados en este proceso suelen tener propiedades de adsorción y absorción. Donde la adsorción es el fenómeno físico que produce un material a un líquido a adherirse hacia la superficie del material, esto sin generar ninguna reacción química, mientras que la absorción si es una propiedad de un material de capturar un volumen en su espacio poroso ya sea por acción capilar, química, osmosis, etc.

La capacidad de almacenamiento que pueden poseer estos materiales dependerá de su naturaleza y de su superficie la cual tiende a ser hidrofóbica donde tendera a repeler el agua, y oleófilica que permitirá el paso de hidrocarburos a su interior.

⁶¹ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Así aparte de estas propiedades preferentes, además debe ser un material ligero, de fácil transporte, manipulación, que al momento del derrame sea fácil distribuirlo a través de este y a su vez de recoger, sin que presente mayor inconveniente, entonces estos materiales pueden estar formados ya sea por materiales sintéticos, materiales inorgánicos u orgánicos. La mayor parte de los sorbentes sintéticos están compuestos por fibra de polipropileno y disponible en distintas presentaciones, tales como, rollos, almohadillas y barrera que será la más favorable para el derrame en momento de su contención.

Por medio de la siguiente tabla se puede apreciar los tres tipos de materiales de sorbentes, en distintas presentaciones, y la capacidad de cada uno para absorber hidrocarburos en donde se muestra la cantidad de hidrocarburo que puede almacenar respecto al material. Entonces cuando el material es más ligero indicara un número mayor en la tabla lo cual nos dice que puede almacenar mayor cantidad de hidrocarburos a comparación de otros.

Tabla 19. Capacidad de absorción de los sorbentes⁶²

Sorbente	Capacidad máxima de absorción de hidrocarburos g/g de sorbente		Flotabilidad después de un contacto prolongado con hidrocarburos sobre el agua
	Hidrocarburos de alta viscosidad 3000 cSt a 25°C	Hidrocarburos de baja viscosidad 5 cSt a 25°C	
<i>Inorgánico</i>			
Vermiculita	4	3	Se hunde
Cenizas volcánicas	20	6	Flota
Lana de vidrio	4	3	Flota
<i>Orgánico natural</i>			
Mazorca de maíz	6	5	Se hunde
Cáscara de cacahuete	5	2	Se hunde
Fibra de secoya	12	6	Se hunde
Paja de trigo	6	2	Se hunde
Musgo de turbera	4	7	Se hunde
Fibra celulósica de madera	18	10	Se hunde
<i>Orgánico sintético</i>			
Espuma de poliuretano	70	60	Flota
Espuma de formaldehído de urea	60	50	Flota
Fibra de polietileno	35	30	Flota
Fibra de polipropileno	20	7	Flota
Poliestireno en polvo	20	20	Flota

⁶² Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Además de la capacidad de absorción que es un factor importante que se debe considerar al momento de seleccionar un sorbente para la atención de un derrame, también se debe tener en cuenta el tipo de material ya que no siempre será efectivo usar barreras en todos los casos, por lo cual en la siguiente tabla se puede apreciar la aplicación de los materiales sorbentes según su forma.

Tabla 20. Aplicaciones de materiales sorbentes⁶³

FORMA DEL SORBENTE	APLICACIÓN
Almohadillas (cuadros y tiras)	<p>Colocados en zonas confinadas para recoger pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros. Deben dejarse cierto tiempo para aumentar su eficacia, pero vigilando su actuación para garantizar que son recuperados de forma adecuada.</p> <p>No se deben utilizar en aguas abiertas, ya que las manchas de petróleo se fragmentan y desperdigan por amplias zonas disminuyendo las posibilidades de contacto.</p> <p>Cuando están en contacto con hidrocarburos flotantes tienen tendencia a recubrirse con ellos y por lo tanto disminuye su capacidad de absorción, excepto en el caso de que se trate de hidrocarburos muy ligeros.</p> <p>Se pueden desplegar desde los buques y con mucha rapidez una gran cantidad de unidades, pero luego son muy difíciles de recuperar y quedarán flotando cubriendo grandes distancias con el peligro de que alcancen costas no contaminadas.</p>
Rollos	<p>Ofrecen la posibilidad de poderse adaptar a la longitud deseada.</p> <p>Son muy útiles para proteger pasarelas, cubiertas de botes, zonas de trabajo y zonas no contaminadas o ya limpias.</p> <p>Una vez utilizadas pueden simplemente enrollarse y retirarse con facilidad.</p>
Almohadas	<p>Se pueden utilizar para recoger pequeños derrames en zonas costeras.</p> <p>Están fabricadas con material suelto introducido en una malla permeable.</p> <p>Son más fáciles de recuperar que el material suelto.</p>
Cepos (madejas o cuerdas fregadoras)	<p>Están formadas por tiras de polipropileno unidas y atadas por un cable.</p> <p>Se pueden utilizar de forma individual o se pueden asegurar a un cabo a intervalos regulares para cubrir una mayor extensión.</p> <p>Son eficaces con los hidrocarburos pesados y viscosos.</p>

⁶³ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Continuación tabla anterior.

FORMA DEL SORBENTE	APLICACIÓN
Barreras	<p>Pueden ejercer una doble función al actuar como absorbente y como técnica de contención, pero solo son eficaces en aguas en calma.</p> <p>Al estar el material fuertemente comprimido y envuelto en mallas, la capacidad de penetración de los hidrocarburos queda disminuida.</p> <p>Con hidrocarburos pesados la superficie se recubre y disminuye la penetración</p>
Materiales sueltos	<p>No es recomendable su uso en derrames de hidrocarburos en el agua, aunque se han utilizado con éxito materiales orgánicos sueltos para estabilizar hidrocarburos varados en lugares remotos o inaccesibles.</p>

Después de realizado el proceso de recolección por medio de sorbentes este debe ser almacenado inicialmente de forma temporal, y posteriormente debe procesarse y eliminarse, ya que si se desea extraer el hidrocarburo sin destruir el sorbente conllevara a un proceso complicado debido a que pequeñas cantidades de hidrocarburo siempre quedaran en el interior de este y además al tener un alto grado de dificultad su extracción conllevara a un aumento económico, que a menos que produzca ganancias mayores con el hidrocarburo retirado, respecto al costo de extracción, no será un proyecto viable.

5.2 METODO QUIMICO

El método químico se determina como una opción cuando los métodos convencionales como los anteriormente mencionados no son efectivos o están limitados debido a factores tales como ambientales, marítimos, entre otros.

Para este tratamiento existes varios tipos de dispersantes los cuales deben cumplir ciertos estándares de calidad y además deben tener mínimos niveles de toxicidad aprobados para su dispersión.

5.2.1 Dispersantes

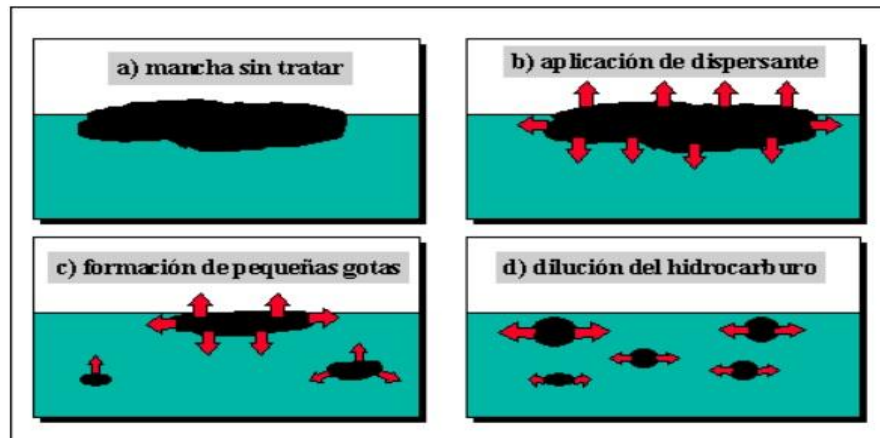
Estos son agentes químicos que perturban el comportamiento físico de los hidrocarburos presentes en un derrame sobre el mar, donde una mezcla de agentes tensoactivos diluidos en un solvente colabora que este se introduzca dentro del hidrocarburo, así los tensoactivos reducen la tensión superficial del hidrocarburo, lo cual aumenta la formación de pequeñas gotas y prohíben su coalescencia (Figura 42), al realizar este proceso en un medio como el agua, el dispersante favorece el derrame al:

- Evitar que los hidrocarburos se desplacen debido a la acción del viento o la corriente marina las cuales normalmente se dirigen al litoral donde el riesgo de contaminación será mayor.
- Ampliar la exposición de la vida marina a los hidrocarburos en el lugar donde sea dispersada, donde estos potencian la toxicidad local del hidrocarburo derramado.
- Potenciar la biodegradación del hidrocarburo a través del medio marino, ya que al estar finamente dispersados presentan una interfaz demasiado grande lo que favorece la biodegradación en el medio.

Por lo cual se puede observar que se dan dos factores a favor y uno en contra el cual es el aumento de la toxicidad local, a lo que se debe realizar una rápida dispersión y dilución de los hidrocarburos para así contrarrestar este factor negativo. Ya que los dispersantes suelen tener alto grado de dificultad para su aplicabilidad debido a que la dosis equivocada puede no solo realizar una mala dispersión, sino que además aumentar la toxicidad del medio donde fue aplicado, debe ser administrado solo en ciertas situaciones tales como las siguientes:

- Cuando el tiempo para desplegar las barreras y realizar la contención no es suficiente, lo cual genera la llegada de los hidrocarburos a la costa.
- Cuando los métodos mecánicos de recolección no son viables debido a problemas en los factores operacionales (climático, marítimo, etc.).
- Cuando debido al tiempo la mancha se hace demasiado delgada y abarca grandes áreas para lo cual la contención y recolección no son suficientes o viables.
- Para evitar la formación de emulsiones de hidrocarburo con agua, o conglomerados de alquitrán.

Figura 41. Actuación del dispersante⁶⁴



- Composición de los dispersantes

Básicamente los dispersantes están compuestos por dos componentes principales:

- Agentes tensoactivos: está compuesto por moléculas que contiene tanto grupos hidrofílicos como oleofílicos, los que tiene el grupo oleofílico predominante tiene

⁶⁴http://cv.uoc.edu/JOVELLANOS/y/mat/cursos/gestion_crisis/documentos/lcc/Contenidos/Parte06/Dispersantes/Dispersantes3.htm

la característica de estabilizar las emulsiones de agua en hidrocarburos. Mientras que las que tienen predominante el otro grupo tienden a estabilizar la emulsiones de hidrocarburos en agua. donde los últimos mencionados, son los que más son utilizados en la actualidad.

b. Disolventes: estos tienen como función, reducir la viscosidad del dispersante, además este colabora para producir una concentración óptima del agente activo y permite que el petróleo tenga una rápida solubilidad ante la presencia del dispersante.

- Consideraciones medioambientales

El uso de un dispersante debe decidirse por medio de una comparativa entre los daños potenciales que puede causar al ambiente la presencia de hidrocarburos en un cuerpo de agua tomando en cuenta los efectos a corto y largo plazo. En lo general se prefiere usar dispersantes en zonas que posean una gran capacidad de dilución y lavado, como por ejemplo en aguas abiertas, y así mismo debe evitarse las zonas donde pueda quedar atrapado con poco flujo de agua, como aguas confinadas, puertos cerrados, pequeñas bahías, etc.

Es significativo identificar los recursos de alta sensibilidad, en las zonas en las que se vaya a usar dispersantes, también se debe tener en cuenta el viento presente en la zona y las corrientes que intervengan directamente en los hidrocarburos dispersados. Por lo cual antes de aplicar se debe analizar el impacto que este químico tendrá, analizar las consecuencias y respecto a este se elegirá la opción que mejor preserve los recursos ambientales.

- Tipos de dispersantes

El tipo de dispersante se ha de seleccionar según la eficacia que este pueda generar respecto al derrame, esta eficacia dependerá de distintos factores, como el tipo de

hidrocarburo, características específicas, etc. De entre estas la característica de mayor importancia será la viscosidad, la cual será un parámetro clave para determinar el tipo de dispersante a usar.

A través de los años se han desarrollado distintos tipos de dispersantes, los producidos en los años 70 se hacen conocer como dispersantes ordinarios o basados en hidrocarburos así mismo denominado *Tipo 1* en el sistema de clasificación del reino unido. En ese entonces se usaba como disolvente el queroseno con un contenido aromático mínimo y bajas concentraciones en el agente tensoactivo, aun así presentaba baja eficiencia. Después de esto se dio la producción de dispersantes de mejor rendimiento utilizando distintos tipos de tensoactivos los cuales se dieron a conocer como dispersantes concentrados o de tercera generación, pero a través de los años en las décadas entre 80's y 90's se mejoró la composición del agente tensoactivo, añadiéndole mayores cantidades. Por lo cual si se usa el dispersante pulverizado y sin diluir se puede denominar como un dispersante tipo 3, mientras que si el dispersante es diluido con agua de mar se denomina como un dispersante tipo 2.

Tabla 21. Tipo de dispersantes⁶⁵

NOMBRE	NUMERO DE GENERACIÓN	NÚMERO DE TIPO	MODO DE APLICACIÓN	TIPO DE DISOLVENTE
Dispersantes concentrados	3°	2	Diluidos desde buques	Oxigenados (éteres glicolicos) e hidrocarburos no aromáticos
		3	Sin diluir (puros, desde buques o aeronaves)	
Dispersantes tradicionales	2°	1	Sin diluir (puros) desde buques	Hidrocarburos no aromáticos.

⁶⁵ Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Conociendo los dispersantes se decide el tipo de dispersante a usar dependiendo el tipo de derrame, es decir el tipo de hidrocarburo a tratar por medio químico, para lo cual se dispone de la siguiente tabla:

Tabla 22. Tipo y uso de hidrocarburo y dispersantes⁶⁶

Tipo de hidrocarburo	Tipo de dispersante		
	Ordinario	Concentrado	
		Aplicación diluido en agua	Aplicación puro
Fuel ligero destilado	(1)	(1)	(1)
Productos petrolíferos y crudos con alto régimen de propagación (viscosidad baja)	✓	✓	✓
Crudos asfálticos, hidrocarburos residuales y meteorizados con bajo régimen de propagación (viscosidad alta)	(2)	X	(2)
Crudos céreos	(2)	X	(2)
Emulsiones de agua en hidrocarburos	(2)	X	(2)
Hidrocarburos que no se propagan	X	X	X
<p><i>Notas</i></p> <p>1 En este caso la aplicación de dispersantes debe tener exclusivamente el fin de controlar un riesgo de incendio. No se suelen emplear los dispersantes en tales fueles debido a su alta velocidad de evaporación y a su alta toxicidad.</p> <p>2 La eficacia estará muy limitada o no será eficaz.</p> <p>X El dispersante no será eficaz.</p> <p>✓ El dispersante debe ser eficaz con hidrocarburos recién derramados.</p>			

Además también se debe tener en cuenta que para un mejor desarrollo de la operación no solo se debe tener en cuenta el tipo de dispersante a usar según el tipo de hidrocarburo, sino que también se debe tener en cuenta la concentración en la que se emplea el dispersante, donde según el tipo de dispersante y la viscosidad del crudo se elige la concentración, aun así también se debe tener en cuenta otros factores como la salinidad del agua, la temperatura e incluso el estado del mar,

⁶⁶ parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

como por ejemplo este último afectara la aplicación del dispersante ya que cuando más agitado este el mar, mayor será la agitación lo cual favorece más la mezcla del dispersante con el hidrocarburo.

- Aplicación dispersantes

Los dispersantes pueden aplicarse desde ya sea buques o aeronaves, el método para aplicar el dispersante depende de distintos factores, como:

- Tamaño y situación del derrame.
- Disponibilidad de los equipos de roció.
- Tipo de dispersante a usar, según las propiedades del derrame.

Debe tomarse en cuenta el momento en el que se debe aplicar el dispersante, si se hace muy pronto en un lugar con alta presencia de volátiles, se genera una dispersión de componentes tóxicos, los cuales se podrían evaporar si tan solo se hubiese esperado un poco de tiempo antes de aplicar el dispersante, pero por el contrario si se produce la dispersión mucho tiempo después de ocurrido el derrame, la mancha será de una gran área difícil para su contención, formando franjas, hileras o incluso emulsiones.

a) Aplicación desde aeronaves

Para este tipo de operación se puede emplear distintos medios aéreos, tales como helicópteros y aeronaves para aplicar los dispersantes a través del aire hacia el derrame. “Algunas autoridades de aviación prefieren emplear, por razones de seguridad, aeronaves con dos motores como mínimo. Sin embargo, se sabe que los motores de turbina proporcionan mayor nivel de fiabilidad que los motores de pistón y, por ello, otras autoridades de aviación permiten el empleo de aeronaves impulsadas por turbina como motor único para las operaciones de rociadores sobre agua”.

Figura 42. Aplicación de dispersantes desde aeronaves⁶⁷



Aunque las aeronaves pequeñas llevan menos cantidades de dispersante, pueden maniobrar con mayor facilidad que aeronaves de mayor tamaño para distribuir el dispersante en la zona del derrame. Por lo cual será usada cuando el derrame esta fracturado en distintas secciones con no muy grandes extensiones, mientras que aeronaves de mayor tamaño aunque no tienen alta maniobrabilidad puede llevar grandes volúmenes de dispersantes los cuales ayudan en casos de grandes derrames, que abarcan grandes áreas y continuas en su mayoría.

La otra opción será por medio de helicópteros que permiten mayor maniobrabilidad que aeronaves pequeñas y puede usarse para derrames pequeños donde el acceso es imposible para buques y aeronaves, ya que sus limitaciones no permiten un mayor rango de alcance o almacenamiento.

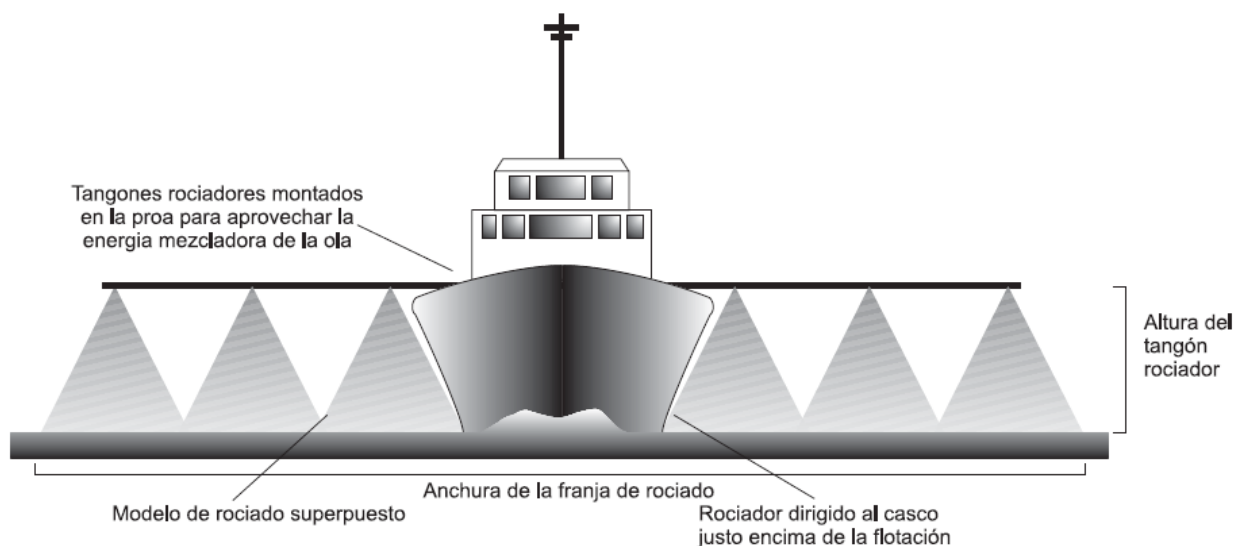
Así al tipo de aeronave se le adaptara un sistema o equipo de roció, que dependiendo de los requerimientos variaran sus características de dispersión como por ejemplo el diámetro de las boquillas en el equipo, entre otras.

⁶⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Corexit#mediaviewer/Archivo:C-130_support_oil_spill_cleanup.jpg

b) Aplicación desde embarcaciones

Casi todo tipo de buque puede ser usado para la operación de dispersión, estos puede acarrear grandes cantidades de dispersante y permanecer en el lugar durante un largo periodo de tiempo para una dispersión continua, al igual que las aeronaves, entre más pequeña la embarcación más maniobrabilidad tiene pero menos capacidad de almacenaje, por lo cual estos últimos serán más prácticos en pequeños derrames o derrames cerca a la costa. El inconveniente del uso de esto es que aunque puede transportar grandes cantidades de hidrocarburos, la velocidad de dispersión se verá altamente reducida a comparación de las aeronaves, lo cual nos presenta un inconveniente al momento de prestar una respuesta inmediata a un desastre para lo cual se deberá tener las embarcaciones siempre preparadas ante la posibilidad de un derrame, además de esto los buques tienden a disminuir su utilidad cuando el mar está más violento, por lo cual la mejor forma de aplicar el dispersante será cuando el buque navegue proa al viento.

Figura 43. Aplicación desde embarcaciones⁶⁸



⁶⁸ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

- Ventajas y desventajas del uso de dispersantes

a) Ventajas

- Actúan en todas las condiciones ambientales y marinas.
- Rápida dilución del petróleo disminuyendo la probabilidad de contaminación de ciertas áreas.
- Disminuyen el peligro de incendios cuando se usan sobre hidrocarburos de alto contenido de fracciones volátiles.
- Rápida remoción de hidrocarburos volátiles y drástica reducción de los compuestos tóxicos.
- Su uso es mucho más económico que otros métodos.
- Disminuye la formación de emulsiones de agua en el petróleo.
- Aumento de la biodegradación al aumentar el área superficial expuesta a la acción de microorganismos.

b) Desventajas

- Si se generan altas concentraciones de petróleo dispersado en agua, se verán afectados diversos recursos y áreas sensibles.
- No son efectivos sobre hidrocarburos pesados, o los que llevan expuestos a la intemperie demasiado tiempo, o que ya se han emulsificado.
- El petróleo dispersado es más difícil de recolectar desde la superficie.
- Puede incrementar la turbidez del agua.
- El uso de dispersantes en zonas de playas puede aumentar la penetración del contaminante en esta.

5.3 METODO FISICOS

Son varios los ejemplos de hidrocarburos derramados en el mar, los cuales se han prendido y por lo tanto incineran gran parte de este. La incineración deliberada de hidrocarburos derramados en la superficie marina, se conoce como incineración *in situ*, la cual ante ciertas situaciones es un método altamente eficaz para eliminación de hidrocarburos en un corto periodo de tiempo, desde los años 70 se ha investigado este método, pero los casos reales en los que se ha aplicado son muy pocos.

A comparación de los métodos convencionales la incineración *in situ* desde un punto de vista logístico es más sencillo el proceso y disminuye la necesidad de un sistema de almacenamiento. Así aunque no sea un método muy usado, su potencial para tratar altos volúmenes de hidrocarburos el cual con un mejor desarrollo del método ofrece con el tiempo ser una técnica prometedora para tratamiento de derrames.

Figura 44. Derrame de petróleo y químicos⁶⁹



⁶⁹ <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills>

Uno de los puntos más eficientes de la incineración es en los casos de derrames en condiciones de hielo, donde es muy complicado el despliegue de barreras y también de sistemas recolectores.

Aun así la mancha y las condiciones operacionales deben tener ciertas características para que la incineración sea un método viable, por ejemplo la mayoría de los hidrocarburos quemaran con éxito si la mancha posee un espesor suficiente y tiene la también la suficiente energía para que la ignición mantenga un proceso de combustión prolongado. Así un crudo recientemente derramado tendrá mayores probabilidades de combustión que un crudo que ya lleva cierto tiempo en la superficie del mar, por lo cual un derrame que contenga en emulsión como mínimo un 25% de agua no podrá prender o un diámetro de capa igual o mayor a 1mm ya que el calor escapa al agua adyacente y pierde su energía. Además estas las condiciones operacionales las cuales si hay presencia de fuertes vientos y estados de mar violento pueden impedir la ignición del derrame o extinguirlo, así las condiciones óptimas para esta operación será con un viento alrededor de 20 nudos y un oleaje con una altura promedio de 1m.

A pesar de su efectividad ante ciertas situaciones están dos incógnitas para este método, el primero será la producción de un cuerpo espeso de humo el cual puede conllevar a posibles riesgos a la salud debido a las partículas de carbonilla y gases, las cuales generan gran preocupación de cuestiones de salud. Y el segundo será los residuos que quedaran después del proceso de incineración, los cuales son una sustancia parecida al alquitrán y tipo pegajosa, el cual formara capas compactas de cuerpos semisólidos con mezcla de hidrocarburos quemados y no quemados, además puede llegar a tener una densidad neutra o incluso más densa que el agua del mar, por lo cual podrá hundirse lo que conlleva a un inconveniente ambiental, y se deberá realizar la recolección de estos.

Dicho esto antes de proceder a un proceso de incineración in situ, se deberá realizar un análisis de la sensibilidad que tengan las poblaciones y otros recursos cercanos a la emisión de aire y a los residuos que puedan aparecer al quemar los hidrocarburos, también buscar otras técnicas de respuesta con las que se pueda contar antes de la incineración.

5.4 METODO BIOLÓGICOS

5.4.1 Bioremediación. Se determina la biorremediación el empleo activo de técnicas con las cuales se puede mitigar la presencia de hidrocarburos producidos por un derrame, debido a la alta presencia de microorganismos en el medio ambiente de forma natural, los cuales de cierta forma pueden interactuar con el hidrocarburo derramado de tal manera que mitigaría estos, lográndolos eliminar y realizar una recuperación del ecosistema, esto sucedería ante condiciones preferentes, ya sea localización, tipo de hidrocarburos, temperatura ambiente, concentraciones, condiciones marítimas y operacionales, etc.

Esta técnica no tiende a ser muy usada debido a su falta de desarrollo, pues sus condiciones operacionales deben tener las siguientes características para que tengan gran efectividad:

- Ambientes litorales de baja energía.
- Concentración de hidrocarburos con alto nivel de biodegradación.
- Climas cálidos.
- Zonas donde la limpieza convencional se ve restringida, ya que puede generar daño posterior o a largo plazo.

Los procesos de biodegradación suelen producirse ya sea en un medio aeróbico (presencia de oxígeno) o anaeróbico (sin presencia de oxígeno), aun así, un proceso

anaeróbico conlleva más tiempo, ya que se desarrolla de manera muy lenta, lo cual ante análisis operacional no refleja significativamente su uso en presencia de un derrame de tales características.

Además de las bacterias, algas, mohos, levaduras etc. Las cuales son las responsables de la biodegradación de hidrocarburo, se necesita de fuentes adicionales de alimentos tales como nitrógeno (N) y fosforo (P), las cuales están presentes de forma natural en el medio ambiente, la formula por la cual se encuentra representado un típico proceso de biodegradación esta dado de la siguiente forma:
 $1 \text{ Kg de hidrocarburo} + 2,6 \text{ Kg de O}_2 + 0,07 \text{ Kg de N} + 0,007 \text{ Kg de P} \rightarrow 1,6 \text{ Kg de CO}_2 + 1 \text{ Kg de H}_2\text{O} + 1\text{Kg de biomasa}$ ⁷⁰

Donde como se ve sus productos será dióxido de carbono, agua y biomasa de microorganismos.

Aunque el método es prometedor, la complejidad está en el tipo de hidrocarburo a degradar, ya que no todos los hidrocarburos actuaran de igual manera ante un proceso de biorremediación. Por lo general los componentes más ligeros tienden a ser los de más fácil descomposición, mientras que los pesados tomaran más tiempo, ya que será más compleja su biodegradación, lo cual tomara mucho tiempo, y puede que no se descomponga en su totalidad. Además debe tenerse en cuenta que los compuestos ligeros derivados del petróleo o gasóleos contienen una proporción relativamente alta de compuestos químicos altamente tóxicos, los cuales pueden afectar e incluso matar los microorganismos responsables de la biodegradación.

5.4.1.1 Técnicas de bioremediacion. La biorremediación no es propiamente un método de limpieza propiamente, sino más bien una técnica de restauración de una zona afectada. La cual consiste en usar los efectos que producen las bacterias,

⁷⁰ Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005, Cap. 10, pag 165.

levaduras, hongos etc. Para así acelerar la degradación del hidrocarburo. La cual es efectiva ante ciertas condiciones operacionales, tales como litorales de baja energía, bajas concentraciones de hidrocarburos, climas cálidos, etc.

Al momento de usar esta técnica, se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- No es una técnica apropiada para usar en las primeras etapas de limpieza de un derrame, con ciertas excepciones tales como marismas salobres o aguas pantanosas, donde únicamente se puede realizar la limpieza de una forma restringida por medios convencionales.
- No es una técnica viable en el mar o litorales expuestos pues los agentes de biorremediación pueden ser diluidos o arrastrados por la alta energía del mar, antes de poder actuar ante el derrame.
- El tipo de hidrocarburo y el estado en el que arriban a la costa son un factor importante ya que un producto ligero puede ser más fácilmente degradado pero algunos de estos pueden contener componentes químicos de alta toxicidad, el cual disminuirá o anulará los efectos de los microorganismos. Mientras que un producto pesado o meteorizado tiene a ser de lenta degradación o nula degradación o incluso pueden llegar a ser inmunes ante la presencia de hidrocarburos.
- Esta técnica puede ser eficaz en las etapas finales de limpieza, donde como finalidad puede potenciar la eliminación total de derrame debido a la poca presencia de hidrocarburo a tratar con el final de realizar restauración del hábitat de manera natural.
- La biorremediación es eficiente en temperaturas cálidas, superiores a 5° C, si esta se encuentra por debajo, su capacidad de degradar desaparecerá.

- Antes de ser usada esta técnica se deberá tener en cuenta en la zona, la naturaleza del litoral, la condiciones en la que se encuentra el derrame, la temperatura presente, la presencia de nutrientes como oxígeno y fosforo y demás factores que favorecen el proceso de biodegradación.

Ante estas condiciones de operación se pueden aplicar distintas técnicas para la rehabilitación de una zona afectada, tales técnicas son las siguientes:

a) Bioestimulación

La idea de la bioestimulación es la provisión activa de cantidades suficientes de oxígeno y nutrientes para mantener los microorganismos, de tal forma que puedan seguir proliferando y desarrollando el proceso de biodegradación, en zonas donde debido a su alta porosidad, poseen cantidades limitadas de hidrocarburos. Lo que facilitara la proliferación de microorganismos, por lo cual se requiere un proceso de adición de nutrientes tales como nitrógeno y fosforo (en relación C:N:P = 100:10:1.), y un proceso de aireación para la incursión del oxígeno para mantener un continuo proceso de degradación.

b) Bioaumento

Esta técnica está basada, en la adición extra de microorganismos para aumentar la cantidad y diversidad. De tal manera que la biodegradación se realice más rápidamente, aun así las variedades introducidas con este fin, no siempre se adaptan tan bien a un medio en concreto, como si lo hacen las variedades nativas de la zona. Por lo cual esta técnica resulta menos prometedora al demostrar por medio de pruebas una baja eficiencia, a comparación de la bioestimulación.

c) Fitorrehabilitación

Para este proceso se utiliza el crecimiento de plantas para así acelerar la biodegradación de los hidrocarburos, donde estos son transformados en el proceso de crecimiento de la planta, o asimilados y metabolizados por la propia vegetación, aun así es una técnica de rehabilitación de largo plazo con mayor plano de acción en zonas industriales en las cuales la contaminación está presente por mucho tiempo.

Para este proceso se pueden dar 2 opciones, uno será el de fitoestabilización donde se involucra la estabilización y retención de los contaminantes en el suelo, para así reducir el daño ambiental, al disminuir la movilidad y disponibilidad del contaminante, también está el proceso de fitodescontaminación, donde se reduce la concentración de contaminantes en el suelo a un nivel aceptable.

6. METODO DE CONTROL DE DERRAMES POR MEDIO DE LA TECNOLOGIA DE NANOPARTICULAS

6.1 NANOTECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA PETROLERA

La nanotecnología es un conjunto de técnicas emergente, con un gran potencial de desarrollo capaz de revolucionar las industrias mundiales, esto debido a su efecto revolucionario para cambiar aspectos técnicos actuales, recientemente la industria petrolera se ha ido acercando a las distintas facilidades que presenta estas innovadoras técnicas para implementarlos como posibles solución a los inconvenientes actuales de la industria, o desarrollar de mejor manera las técnicas convencionales usadas en estos momentos así intentando lograr lo que otros campos de acción como la medicina, biología, ciencia aeroespacial entre otras han desarrollado a través de los últimos 20 años.

Cuando nos referimos a nanotecnología, hablamos de mejoras tecnológicas del tamaño nano el cual denota 10^{-9} lo cual en términos comparativos corresponde al ancho de 10 átomos de hidrogeno, en donde la idea general es la construcción o adaptación de estructuras y sustancias manipulando moléculas y átomos a escalas nanométricas, denominándose como el ultimo nivel de finura, ubicando moléculas con tan perfecto orden, dando la capacidad de crear y manipular la materia.

Materiales nanotecnológicos con propiedades tales como alta ligereza, resistencia a la corrosión, capacidad de soportar altas fuerzas mecánicas entre otras características, puede otorgar a los actuales materiales usados en la industrial más practicidad para su implementación, evitando inconvenientes ocasionados por la naturaleza actuales de los materiales usados, como por ejemplo la implementación de estos materiales en un proceso de perforación podría colaborar con un mejor rendimiento de la operación, también en un futuro ayudaría en el monitoreo e

inspección de operaciones en la implementación de micro y nano sensores inteligentes, además de esto la nanotecnología también ayudaría por medio de la aplicación de fluidos inteligentes donde las nanopartículas le otorgan características según la necesidad requerida, a un proceso de recobro mejorado.

Actualmente la industria en distintos campos ha realizado la implementación de estas tecnologías un paso a la vez, por ejemplo en procesos de perforación se ha usado polímeros adaptados a base de nano organización estructural o surfactantes anfífilicos (moléculas con un extremo hidrofóbico y otro hidrofílico) con fin de generar estímulos al momento de perforar mejorando su rendimiento, además materiales compuestos por nanocristales se han usado junto con los fluidos de perforación con el fin de aumentar la velocidad de perforación y disminuyendo la ruptura de las partes más sensibles del equipo de perforación, mejorando el rendimiento de estos equipos. En producción se ha aplicado nanotecnología como componente para inhibir las escamas producidas en las tuberías que llegan a superficie, lo cual ayuda a eliminar los procesos de limpieza que generar tiempo perdido de producción y pérdidas económicas. También se ha visto beneficiada la industria del recobro mejorado, donde en algunos casos se ha implementado el uso de nanopartículas de poli silicio en procesos de inyección de agua, con fines de mejorar el recobro de hidrocarburos, igualmente la implementación de surfactantes mejorados por nanotecnología, en los métodos químicos EOR con los mismos fines de aumentar la tasa de recobro.

En el campo ambiental de la industria desarrollado varias técnicas por medio de la nanotecnología para mejorar los procesos existentes los cuales no logran cubrir los propósitos generales de la remediación ambiental, los distintos tipos de soluciones que se han utilizado a través de los años son:

- Sistemas mecánicos: bombas, separadores mecánicos, etc.

- Dispersantes (sorbentes) para separar el aceite del agua. WOC (contacto agua-aceite por sus siglas en inglés), por medio de absorción, adsorción.
- Micro-organismos que digieren la parte aceite del derrame
- Agentes químicos, distintos tipos de dispersantes como un detergente para separar aceite del agua y ser más fácil removido de la superficie del agua.

Estos tipos de técnicas no son adecuados para la remoción de aceite en un derrame, ya que conllevan altos costos, no tienen alta tasa de eficiencia y además demoran bastante tiempo, por lo cual un oleaje muy alto puede dispersar el derrame por muchos kilómetros.

Por lo cual en los años recientes la nanotecnología ha emergido como potencial fuente de solución para estos problemas, aunque se encuentra en etapas primarias de investigación, se han obtenido muy buenos resultados dando como resultado la posible implementación de este tipo de tecnología en un pronto futuro.

6.2 MOJABILIDAD COMO PRINCIPIO DE SEPARACION

Superficies solidas con características únicas de mojabilidad combinando superhidrofobico (ángulo de contacto del agua mayor que 150°) y superoleofilico (ángulo de contacto del aceite menor que 5°), han atraído gran interés en el campo de revestimientos marinos, dispositivos de microfluidos, superficies auto limpiantes, etc. Este tipo de superficies tiene especialmente un alto potencial para la posible separación de aceite y agua. El fenómeno de superhidrofobicidad ha evolucionado por millones de años en la naturaleza y se manifiesta a sí mismo en ejemplos tales como la flor de loto o las patas de los insectos de agua los cuales pueden pasarse sobre la superficie del agua sin alterar la tensión interfacial entre él y el agua. Una

superficie superhidrofóbica es una que puede causar que las gotas de agua se tornen esféricas completamente, este tipo de superficies exhiben ángulo de contacto con las gotas de agua de 150° o mucho mayor. Además el ángulo de contacto de histéresis tiende a ser demasiado bajo (el retroceso del ángulo de contacto está dentro de los 5° del ángulo de contacto avanzando), produciendo una superficie en la cual las gotas de agua simplemente rodaran. Consecuentemente, se producirá una superficie auto limpiante ya que las gotas de agua la suciedad y la abrasión el caer. La superhidrofobicidad, proviene de dos puntos, uno de ellos es las propiedades intrínsecas de la superficie del material, y la otra es la micro-escala y la nano-escala de la rugosidad en la superficie del material, por ejemplo la flor de loto, posee una textura con aproximadamente 3-10 micrómetros de tamaño entre sus “colinas” o “valles”, donde internamente maneja partículas hidrofóbicas de un material como la cera el cual oscila en tamaños nanométricas.

Estos valles o colinas, no aseguran que el área de contacto que tendrá el agua demasiado pequeña, mientras que las partículas hidrofóbicas de cera prevendrán la penetración del agua dentro de los valles. Debido a esto se produce que el agua no podrá mojar la superficie por lo cual este tenderá a generar que las gotas de agua posean mayor esfericidad, a lo cual tendrá menor superficie de contacto, también tendrá menor tensión superficial, por lo cual la gota de agua tiende a rodar sin adherirse.

Por lo cual un fluido a menor tensión superficial, tiende a esparcirse más en la superficie del material que uno con mayor tensión superficial ya que este tiende a caer del material.

Dadas estas características, nos da como idea la implementación de esta base para la creación de distintos materiales que nos entreguen mejores resultados ante distintos problemas que se propongan, como en nuestro caso en que se puede

ensamblar un material tipo esponja/espuma el cual se puede separar aceite de una mezcla de agua-aceite. Esto se logra ya sea por:

- a. Modificación de la superficie de un recubrimiento al implementar el uso de nanopartículas en la superficie.
- b. Construcción de un material como nanoesponjas por medio del uso de nanomateriales.

Así se puede describir distintos métodos empleados para la limpieza de derrames usando nanomateriales:

- Aerogeles.
- Nanodispersantes.
- Nanocompuestos magnéticos.
- Membranas.
- Mallas.
- Almohadillas.
- Nanoestructuras de carbono.
- Organoarcillas hidrofóbicas estructuradas.

6.2.1 Nanomateriales

Las distintas tecnologías empleadas ya mencionadas antes varían en sus técnicas, aunque todas tienen como finalidad el uso de la nanotecnología como principio, y mediante esta otorgan características que permitan un mejor desarrollo de distintos materiales ante un derrame de hidrocarburos, por lo cual como se podrá ver a continuación existen distintas opciones, aunque no todas tendrán la misma capacidad de trabajo que otras, ya sea por limitaciones de la tecnología actual, o

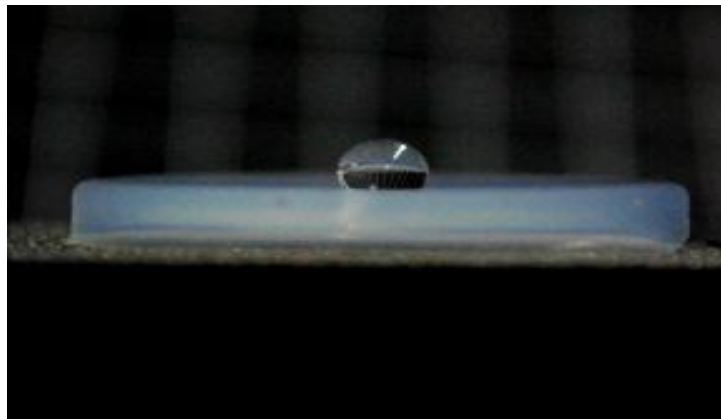
por el propio límite del material que no permitirá más su desarrollo. Las distintas tecnologías sobre la que se tiene un potencial desarrollo serán las siguientes.

6.2.1.1 Aerogeles

Aerogeles de sílice hidrofóbico

Los aerogeles de sílice son materiales extremadamente ligeros, llegando a tener una gravedad específica tan baja como $0,025 \text{ g/cm}^3$, la menor conductividad térmica de cualquier material sólido conocido, alta área superficial y alta porosidad (alrededor de 90 y 95%), debido a estas características los aerogeles son apropiados para diversas aplicaciones, incluyendo la separación agua-aceite. Cuando una mezcla de agua-aceite entra en contacto con un aerogel, el aceite es absorbido y separado del agua, esto debido a la naturaleza hidrofóbica del aerogel.

Figura 45. Aerogeles de sílice hidrofobico⁷¹



En general para la producción de aerogeles superhidrofobico se requiere de energías intensivas para el proceso de secado supercrítico y el uso de costosos

⁷¹ <http://www.aerogeltechnologies.com/aerogel-materials>

precursores como metiltrimetoxisilano (MTMS). Debido a esto la larga producción de aerogeles adecuados para la operación de limpieza de derrames de hidrocarburos a un costo razonable aún sigue siendo un reto para la industria, aun así procesos efectivos con un costo alternativo están siendo desarrollados, uno de estos procesos envuelve el uso de un silicato de sodio poco costoso como base del precursor para la producción de aerogeles de sílice hidrofóbico siguiendo la rápida relación combinada con modificaciones simultaneas de la superficie y subsecuente secado a presión ambiental, este proceso no conlleva complicaciones económicamente y se puede realizar a larga escala de producción. Otro proceso, también basado en el método de secado simple a presión ambiental y usando un precursor de bajo costo, tetraetilortosilicato (TEOS), desarrollado por investigadores de la Universidad de Yonsei, en Seoul, Korea junto a investigadores de la universidad de Shivaji de Kolhapur en India.⁷² En este proceso aerogeles superhidrofobico fueron sintetizados a través de dos pasos denominados química sol-gel, donde inicialmente se da la formación de un gel húmedo y después se procede al secado del gel húmedo para la formación de un aerogel. La modificación química de la superficie se llevó a cabo con 5% de hexametildisilazano (HMDZ) en hexano, se encontró que la superficie modificada de aerogeles a base de TEOS, es capaz de absorber aceite hasta 12 veces su propio peso.

Modificación por incorporación de la funcionalidad química del aerogel, puede dar materiales con propiedades químicas específicas, tales como la hidrofobicidad. Por ejemplo, tanto los grupos funcionales de metilo como el de perfluoruro demuestran excelentes características en recompensa, y estas han sido incorporadas dentro de los aerogeles de sílice, ofreciendo un material hidrofóbico durable ante el uso en la separación de aceite respecto al agua, al agregar flúor al aerogel ya sea por el proceso de tratamiento de secado con vapor, o el proceso mencionado

⁷² Jyoti L.Gurav.A.vekasteswara Rao,D.Y.Nadargi.Hyung-Ho Park/Published online 22 october 2009 Springer science-Business Media,LLc 2009.

anteriormente de sol-gel, se logra producir un material nanoporoso con altas características hidrofóbicas.

Además de estos ejemplo en la Universidad de Hanyang y E & B Nanotech Co., Korea⁷³. Se ha desarrollado un aerogel de sílice mesoporosa denominadas xerogel, estas esferas son ligeras, transparentes y además de esto con un buen punto de rentabilidad. Esto se logró por medio de la producción de esferas de aerogel de sílice, con, inicialmente, un proceso de rápida gelificación de la solución de sílice con propiedades coloidales en el proceso sol-gel,⁷⁴ seguido por una modificación de la las perlas de sílice húmedas con trimetilclorosilano, y finalmente secado a presión ambiental. Este proceso es realmente económico ya que se tiende a usar sílice de bajo costo, es decir silicato de sodio y además no requiere un proceso de secado con CO₂ supercrítico el cual puede acarrear un gran costo, por lo cual se puede realizar una producción a gran escala, lo cual es viable para un proyecto de atención de derrames.

Aeroarcillas

Las aeroarcillas (arcillas a base de aerogel) es un tipo de esponja superligera, producida por la unión de arcillas, polímero y agua en un mezclador, esta mezcla es congelada hasta obtener una esponja ultraliviana la cual está compuesta de 95% de aire, 3% arcilla y 2% polímero. Ya que la aeroarcilla es oleofílica en la naturaleza, esta tiende a absorber fácilmente el aceite de una mezcla de agua-aceite dejando el agua por fuera de su cuerpo, y el aceite que está contenido en este tipo de esponja puede ser removido fácilmente con solo apretarlo.

⁷³ Pradip B.Sarawade,Jong-Kill Kim,Askwar Hilonga,Hee Taik kim/Production of low-density sodium silicate-based hydrophobic silica aerogel beads by a novel fast gelation process and ambient pressurre drying process

⁷⁴ <http://energy.lbl.gov/ecs/aerogels/sa-making.html>

Aún más interesante de este tipo de materiales es que se pueden producir en distintas formas, ya sea bloques, láminas, esferas y presenta características favorables a cualquier tipo de agua, sea dulce o salada. El proceso de producción de estos aerogeles de arcilla se lleva en un solo paso, usando una técnica de secado por congelación. Por lo cual el costo de producción tiende a ser relativamente más barata que un proceso de secado supercrítico con CO₂, pero aun así sigue siendo poco rentable ante la producción en masa. Las arcillas a base de aerogeles fueron producidas por primera vez por el profesor David. A. Schiraldi⁷⁵ de la Universidad Case Western Reserve, y la allí además fue donde fue licenciada la tecnología de aeroarcillas por la compañía Aeroclay Inc. Una compañía recién fundada en la ciudad Ohio, USA. La arcilla basada en aerogeles es un material versátil, cuando este se encuentra expuesto a temperaturas de más de 800 °C sufre una transformación química al cambiar en un material cerámico, duro y ligero y pasando a ser altamente flexible como una goma cuando es mezclada con látex.

Maerogel (Aerogel Derivado de Cascara de Arroz)

A pesar de que los aerogeles debido a sus características pueden realizar una gran contribución en el campo de la remediación ambiental en un derrame, su alto costo de producción no lo hace viable en un proceso viable al momento de un desastre de grandes magnitudes. La Dr. Halimatun Hamdan.⁷⁶ de la Universidad Tecnológica de Malasia, ha creado un proceso para la producción de aerogeles de sílice con mayor rentabilidad, donde por medio de cáscara de arroz obtenida a través de residuos agrícolas, la utiliza como materia prima para para la producción dado que la producción por este medio es capaz de reducir la producción hasta en un 80% o 90% respecto a los aerogeles normales. El uso de cascara de arroz se da debido al alto contenido de sílice que estas poseen y es el principal elemento para el desarrollo de un aerogel de importantes características oleofilicas e hidrofóbicas,

⁷⁵ Peter Wray/publish on may 5th,2010/CWRUS Aeroclay aerogel has ability to soak up oil spills

⁷⁶ Hamdan Halimatun,silica Aerogel/US 200702076051 A1

por lo cual la rentabilidad ante un proceso como este da mayores opciones de aplicación y además contribuye a la eliminación de residuos de cáscara de arroz. Una de las empresas encargadas de su comercialización es Green Earth Aerogel Technologies con sede en Barcelona.

Figura 46. Aero gel Derivado de Cascara de Arroz⁷⁷

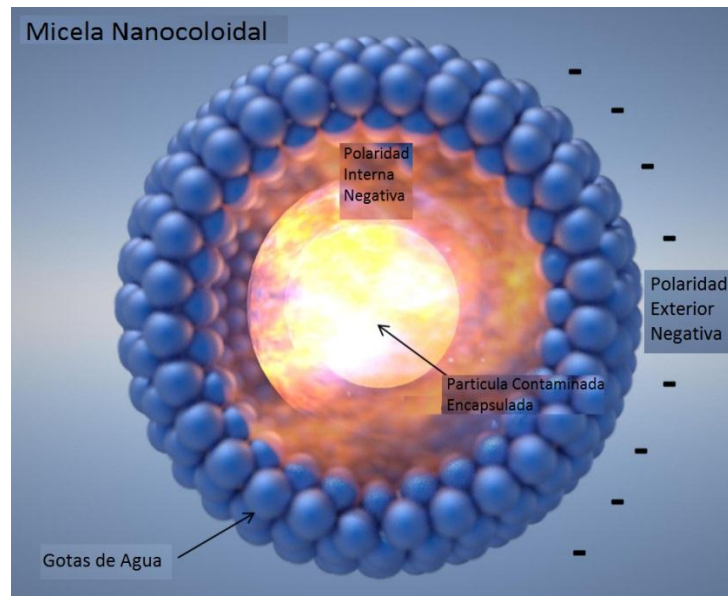


6.2.1.2 Nano dispersantes. Uno de los procesos más usados para la atención de derrames y anteriormente mencionados es el uso de dispersantes químicos, los cuales contienen moléculas surfactantes como un agente tenso-activo, este disminuye la tensión interfacial entre el aceite y el agua, y aglomera en su interior el hidrocarburo al crear una pared oleofílica interna en forma de esfera, mientras su pared exterior se comporta como un sistema hidrofóbico donde no permite el paso del agua a su interior. Así la marea negra puede fraccionarse en pequeñas gotas de aceite que pueden ser digeridas con mayor facilidad por microorganismos tales como bacterias o algas.

⁷⁷ <http://green-earth-aerogel.es/products.htm>

Conociendo esto la empresa Earth Green Technologies salió con una solución de uso de dispersantes basado en la nanotecnología para la limpieza de derrames llamado G-MARINE OSC 1809, esta se basa en el uso de micelas coloidales que trabaja de tal manera de romper las uniones de las cadenas de hidrocarburos manteniéndolos en suspensión mientras están mezclados con agua, las micelas individuales se repelen entre sí como imanes opuestos debido a sus propiedades eléctricas de la superficie del surfactante. Este tipo de dispersante se procesa por medio de ingredientes tales como la soya, maíz, trigo, papas e incluso otros materiales forestales, con los cuales al procesarlos adecuadamente se puede obtener una partícula denominada micela coloidal de tamaños de partícula entre 1-4 nm) que tiene propiedades de emulsionar rápidamente y encapsula el hidrocarburo en su interior, además de esto es benigna al medio ambiente, el cual es uno de los inconvenientes que posee los dispersantes químicos normalmente usados.

Figura 47. Nano dispersantes⁷⁸



⁷⁸ <http://www.getg.com/docs/GET+WELL+5.pdf>

6.2.1.3 Organoarcillas hidrofóbicas. La bentonita que es una arcilla natural, suele contener cationes metálicos, que le dan características hidrofílicas a la arcilla, por lo cual no son sorbentes adecuados para la eliminación de compuestos orgánicos, como el hidrocarburo, aun así por medio de la modificación de la arcilla al introducirle cationes de amonio cuaternario la cual induce a que esta se comporte como un cuerpo hidrofóbico, como un tipo de surfactante que contiene iones de nitrógeno. La presencia de estas aminas hace posible la presencia de estas arcillas en la naturaleza, estas arcillas organofílicas, tienen alta eficiencia en absorber presentes en un cuerpo de agua. En un estudio realizado se mostró que la organoarcilla brasilera son materiales altamente más absorbentes que arcillas naturales en absorción de hidrocarburos, siendo capaces de absorber tolueno y gasolina entre 9,24 y 8,90 veces su propio peso respectivamente. Mientras que las arcillas naturales sin ningún tipo de tratamiento solo tienen la capacidad de absorber entre 1,72 y 2,12 veces su peso de tolueno y gasolina respectivamente.

6.2.1.4 Materiales magnéticos

Nanocompuestos magnéticos

La tecnología de partículas magnéticas tiene distintas aplicaciones para remediación ambiental y preservación de la vida silvestre. Una cantidad variada de productos se han desarrollado, tales como sorbentes basados en revestimiento de compuestos ferromagnéticos con poliestireno, compuestos de vermiculita de hierro revestido de un polímero, nanotubos de carbono con multipared con compuestos de óxido de hierro, entre otros. Recientemente investigadores de la universidad de Tongji ⁷⁹en China han desarrollado un producto noble basado en grafito exfoliado con características magnéticas como un nuevo producto sorbente con fin de uso en

⁷⁹ kleberson Ricardo de Oliveira Pereira, Rosângela Abdala Hanna, Marilda Mendoza Guazzelli Ramos Vianna, Carolina Alfonso Pinto, Meiry Glauci Freire Rodriguez, Franciso Valenzuela/Brazilian organoclays as nanostructured sorbents of petroleum-derived hydrocarbons, articulated presented at the II SBMAT, RIO DE JANEIRO-RJ 26-29 DE OUTUBRO/2003

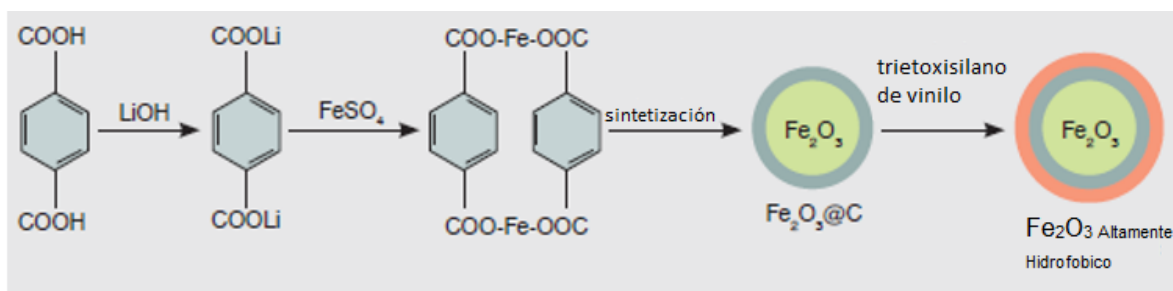
remediación de derrames. Ya que los nanocompuestos magnéticos exhiben propiedades de absorción de hidrocarburos superhidrofóbicas combinado con propiedades superiores de magnetismo, el cual les permite de manera rápida y efectiva remover aceite de una mezcla de agua con aceite por medio de la aplicación de un campo magnético externo. Estos compuestos son hechos por medio de un componente no magnético, en forma de material poroso compuesto de nanopartículas, y además un componente con nanopartículas ferromagnéticas (hierro, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , magnetita, ferritas de estroncio, etc.), el cual como su nombre lo dice, es que le da las propiedades magnéticas a la combinación.

Nano partículas hidrofóbicas de núcleo cubierto magnético de Fe_2O_3

Al momento de ocurrir un derrame uno de los inconvenientes más difíciles a tratar es la rápida propagación del aceite sobre la superficie del mar, donde se deberá actuar eficiente y rápidamente en la remoción del derrame para así reducir los impactos ecológicos sobre el área afectada y sus límites externos. En orden de actuar ante estos efectos, los investigadores Qing Zhu, Feng Tao, and Qinmin Pan de la escuela de Ingeniería Química y de Tecnología, con el apoyo del Laboratorio de Robótica y Sistemas de Instituto de Tecnología de Harbin en China, han desarrollado la tecnología de nanopartículas magnéticas Core-shell (núcleo cubierto) de Fe_2O_3 , (óxido de hierro) los cuales al estar revestido de una capa de polisiloxano tienden a presentar una superficie con características superhidrofóbicas y a su vez superoleofílicas.

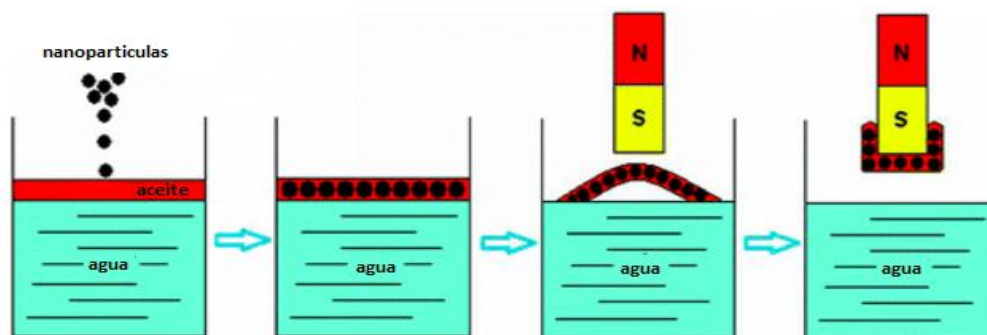
La síntesis de este compuesto se produce a través de catalizadores, capaces de incluir los compuestos ferromagnéticos en el interior de las partículas dándole las propiedades magnéticas y consecuentemente recubiertas por viniltrietoxisilano el cual le otorga las características oleofílicas e hidrofóbicas al material como se puede ver en la siguiente imagen.

Figura 48. Nanopartículas hidrofóbicas de núcleo cubierto magnético de Fe_2O_3 ⁸⁰



Ya sintetizado este compuesto al aplicarlo en una superficie acuosa afectada por un derrame esta tiende a comportarse de tal manera que se adhiere a los hidrocarburos presentes en la mezcla agua-aceite, sin generar ninguna conexión con el agua, dando como resultado un cuerpo de nanopartículas cubierto de hidrocarburos con propiedades magnéticas, el cual puede ser removido por medio de imanes, o fuentes que generen atracción magnética, tales como magnetrones, como se puede apreciar en la siguiente imagen.

Figura 49. Nanopartículas cubierta de hidrocarburos con propiedades magnéticas⁸¹



⁸⁰ Qing Zhu , Feng Tao , and Qinmin Pan School of Chemical Engineering and Technology and State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China.

⁸¹ Qing Zhu , Feng Tao , and Qinmin Pan School of Chemical Engineering and Technology and State Key Laboratory of Robotics and System, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, P. R. China.

Además estas nanopartículas no tienden a hundirse lo cual para el interés de la remediación es perfecto, ya que estas se mantienen flotando en la superficie adheridas al hidrocarburo, también su nivel de absorción está dado en aproximadamente 3,80 veces su propio peso, y su recolección no conlleva tantas complicaciones ya que solo se requiere de una fuerza magnética externa, para su extracción sin ningún inconveniente, estas nanopartículas presentan alta separación selectiva, además de esto posee alta resistencia térmica llegando a hasta temperaturas aproximadas a los 450 °C, conjuntamente también tiene alta resistencia a la corrosión, y su separación del aceite ya cuando este fue removido del derrame, es fácil al solo aplicarle un lavado ultrasónico con etanol por alrededor de 5 minutos.

Nanocompuestos de Polímeros Magnéticos

Actualmente, grandes esfuerzos se están aplicando hacia el desarrollo de polímeros afines con el medio ambiente a base de recursos agroindustriales, estos plásticos ecológicos y biodegradables tienen numerosas aplicaciones en la industria. Entre estos materiales ecológicos, un material biopolimérico, alquídico, es una opción atractiva y puede ser fácilmente sintetizada por el tratamiento de la glicerina (glicerina en cruda la cual es un subproducto del biodiesel) con diácidos aromáticos y alifáticos. Científicos brasileños han investigado recientemente la preparación de un método para polímeros magnéticos con nanocompuestos, esto por medio de uso de resina alquídica como una matriz polimérica.⁸² La producción y proceso de estos polímeros involucra el curado de la resina alquídica por medio de diisocianato de tolueno (TDI por sus siglas en inglés), en presencia de nanopartículas súper paramagnéticas de magnemita con Fe_2O_3 , las cuales son introducidas in situ al final en el material polimérico. Los investigadores además muestran como la naturaleza alifática y aromática del compuesto puede ser manipulada por medio de la afinidad

⁸² David A. Schiraldi, Suneel A. Bandi, Matthew D/Progress in clay aerogel/polymer composite materials, preprints 2006

química entre la resina y el hidrocarburo, además de estos se analizó las fuerzas magnéticas asociadas y las capacidades gravimétricas del compuesto para remover aceite, demostrando que este tipo de material era capaz de recolectar una cantidad significativa de aceite, siendo este de hasta 8,33 veces su propio peso de la mezcla de agua-aceite, donde esto se produce debido a la suma de dos efectos primero las fuerzas magnéticas y segundo la afinidad química que se presenta entre la resina y el hidrocarburo.

Compuesto de Carbono Magnéticos

El profesor Tito Viswanathan de la Universidad de Arkansas ha desarrollado recientemente un nanocompuesto de carbono magnético de recursos renovables para la atención de derrames como método de limpieza y recolección de hidrocarburos. Este componente es muy efectivo, rápido y eficiente para la remoción de hidrocarburos, cuando el nanocompuesto de carbono magnético es adherido a un cuerpo de agua contaminado por aceite, el hidrocarburo tiende a adherirse al material, la cual puede ser removida usando un poderoso imán, por consiguiente el hidrocarburo podrá ser removido al eliminar las fuerzas magnéticas aplicadas al material.

Este tipo de materiales es sintetizado de fuentes renovables tales como lignina (un tipo de constituyente no-celulosa obtenido a partir de madera, disponible en la sub-producción de la industria de papel), tanigno, lignosulfonato, tanninsulfonato o alguna de sus mezclas. Usualmente, las sales de lignosulfonato de sodio reaccionan con el sulfato de metal, (cobalto, o níquel de hierro, etc.), el cual a temperaturas cerca de los 90°C se convierte en el metal lignosulfonato deseado, donde se coloca a radiación microondas para obtener un nanocompuesto de carbono metálico. Por lo cual este proceso es simple y efectivo, de tendencias rentables y también ecológicas.

Organoarcillas con Nanopartículas de Fe₃O₄ Magnéticas

Al combinar Organoarcillas hidrofóbicas con partículas de óxido magnético, permitiendo al material absorber el hidrocarburo, coagular dentro de un tipo de bulto o bolsita, y desde ahí poder ser manipulado al aplicarle fuerzas magnéticas, recientemente los investigadores de la Universidad Nacional de Taiwán en Taipéi y la Universidad Nacional de Chung Hsing en Taichung- Taiwán, han producido satisfactoriamente nanohíbridos⁸³, compuestos de nanopartículas de óxido de hierro magnéticas dentro de una estructura en varias capas en la arcilla natural, ante la precipitación in situ de Fe²⁺/Fe³⁺. Para sintetizar este material, primero se modifica el mineral de Na-montmorillonita al incorporar nanopartículas de óxido de hierro magnético por medio de una precipitación in situ, estos nanohíbridos presentan la preferencia de absorber hidrocarburos hasta 4 veces su propio peso al ser ubicados en una mezcla de agua-aceite, y después de ser recolectado el hidrocarburo puede ser extraído por medio de campos magnéticos extrayendo el óxido de hierro, el inconveniente para este proceso se presenta debido a que al momento de ser extraído el hidrocarburo, se deberá volver a realizar el proceso de precipitación de nanopartículas de óxido de hierro magnético, lo cual no genera gran rentabilidad ante otras opciones que puede ser reutilizadas y tienen mejores volúmenes de absorción.

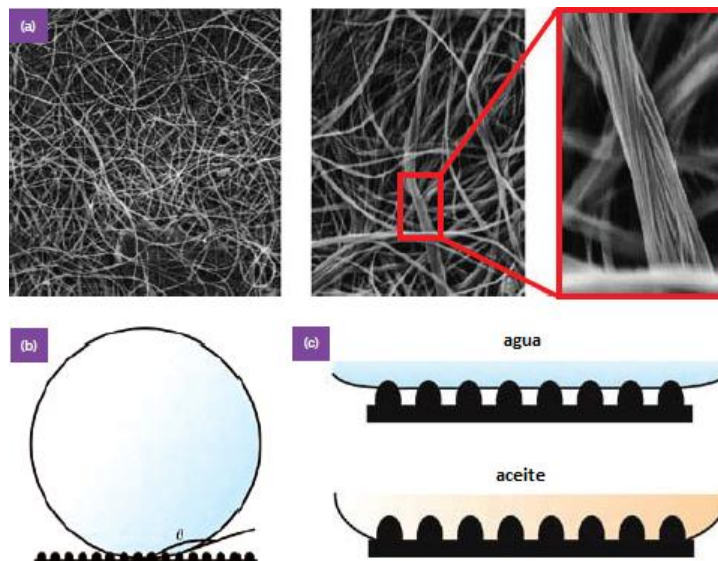
6.2.1.5 Membranas nanocables. Los investigadores del instituto de tecnología de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés) han desarrollado absorbentes, membranas de nanocables superhidrofóbicas para la absorción selectiva de hidrocarburos en una mezcla de agua-aceite.⁸⁴ Usando un método de auto-ensamble, ellos han logrado construir una membrana con nanocables inorgánicos comprimidos en su interior, los cuales son capaces de absorber hidrocarburos en

⁸³ Ru-siou Hsu, Wen Hsin chang, Jiang jen/Nanohybrids of Magnetic Iron-Oxide Particles in Hydrophobic Organoclays for Oil Recovery, publication April 19, 2010.

⁸⁴ Jikan Yun, Xiaogang Liu, Ozge Akbulut, Junging Hu, Steven L, Suib, Jing Kong, Francesco Stellacci/super wetting nanowire membranes for selective absorption, publised 30, mayo 2008.

una mezcla de agua-aceite hasta 20 veces su propio peso. El grupo de investigación liderado por el profesor Francesco Stellacci ha sintetizado un material de membrana superhidrofóbico y superoleofílico, mediante el recubrimiento de nanocables de MnO_2 los cuales son preparados por un proceso hidrotérmal, unidos con silicona adaptados por una técnica por deposición de vapor estas membranas tiene una apariencia tipo hoja muy delgadas, cuando estas membranas son desplegadas en una mezcla de agua-aceite, tiende a producir absorción selectiva preferente hacia el aceite debido a las propiedades de mojabilidad explicadas al principio del capítulo, estas membranas consisten en una malla con capacidades súper-humectantes interconectando capilares continuos, y debido a la acción capilar que se presenta, la absorción de aceite tiende a ser significativamente mejorada. Estas membranas son aun estables a temperaturas hasta de 380 °C. La limpieza de estas membranas después de la recolección de hidrocarburo se puede realizar por medio de limpieza ultrasónica, lo cual ofrece un gran futuro para posibles derrames debido a su versatilidad y su capacidad de absorción.

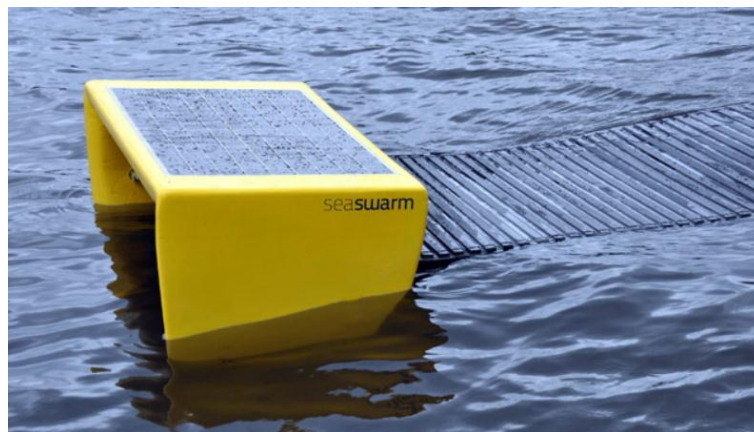
Figura 50. Membranas nano cables⁸⁵



⁸⁵ Jikan Yun, Xiaogang Liu, Ozge Akbulut, Junging Hu, Steven L, Suib, Jing Kong, Francesco Stellacci/super wetting nanowire membranes for selective absorption, published 30, mayo 2008.

Como se puede ver en la imagen a) muestra la malla de nanocables la cual proporciona una estructura porosa con alta capacidad de almacenamiento, en b) y c) se muestra como el ángulo de contacto que posee el agua interactúa con la superficie de la membrana así debido a que la estructura con cualidades nanométricas no permite la entrada al agua dándole propiedades hidrofóbicas, pero si lo permite con el hidrocarburo lo cual se determina como un cuerpo con propiedades oleofilicas.

Figura 51. Robot Sea Swarm⁸⁶



En los laboratorios de MIT se ha creado un robot llamado Sea Swarm, el cual es un dispositivo que puede ser desplegado en cuerpos de agua, dispone de un sistema de flotabilidad que le da estabilidad mientras este despliega un malla de nanocables la cual genera la absorción del posible hidrocarburo presente, mientras este se mueve a través de la superficie del agua, este posee un tipo de cinturón el cual rota a media que se mueve automáticamente, debido a que posee un sistema solar en la parte superior puede ser dejado a la deriva en un derrame sin tener que interactuar con el equipo continuamente y solo recolectarlo cuando se deba realizar la limpieza de la malla la cual ya habrá logrado un alto nivel de absorción del derrame respecto a su peso.

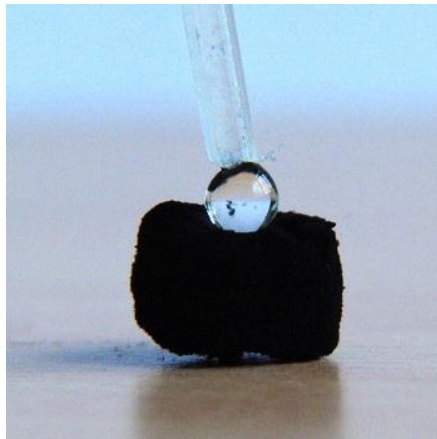
⁸⁶ <http://senseable.mit.edu/seaswarm/>

6.2.1.6 Nanoestructuras de carbono

Grafito Exfoliado

Uno de los materiales más prometedores (a partir del carbono) para la limpieza de hidrocarburos puede ser el uso de grafito exfoliado, este material tiene gran capacidad de absorción incluso para crudo pesado en una mezcla agua-aceite, el cual es un avance significativo debido al aumento en la producción de este tipo de crudo a nivel mundial, Investigadores Japoneses⁸⁷ Masahiro Toyoda, Michio Inagaki, han demostrado que por cada gramo que se utilice de grafito exfoliado, puede absorber hasta 86 gramos de crudo pesado, aun así la capacidad de absorción decrece a medida que se reutiliza el material, otros materiales con similares características como filtros, almohadillas aunque se basan en el mismo modelo, tienen menor capacidad de absorción llegando a que por cada gramo de material absorbente puede almacenar aproximadamente 20 g de hidrocarburos pero estos presentan mejor rendimiento al reutilizarse, por lo cual su selección entre uno y otro varía en el tipo de derrame y el tipo de crudo a recolectar.

Figura 52. Grafito exfoliado⁸⁸



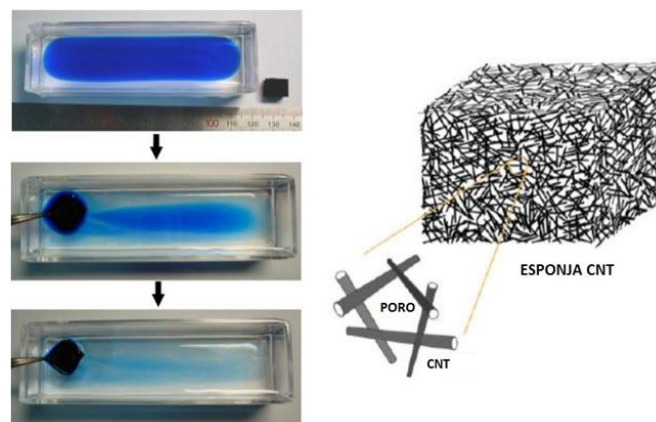
⁸⁷ Michio INAGAKI, Tomoya Nagata, Taisuke suwa, Masahiro Toyoda/ Sorption kinetics of various oils onto exfoliated graphite, vol 1, jun. 2006

⁸⁸ Nick Gilbert/Aerographite-The worlds Lightest Material, jul 19, 2012

Esponjas de Nanotubos de carbono

Este tipo de material con características ligeras y resistente compuesto por nanotubos denominado esponja CNT (nanotubos de carbono por sus siglas en inglés) fue creado por el profesor Anyuan Cao de la Universidad de Pekín y Dehai Wu⁸⁹ de la universidad de Tsinghua, donde este material presenta altas características de absorción siendo esta selectiva hacia el hidrocarburo, siendo una posible solución ante un derrame, lo más sobresaliente de este tipo de nanoesponjas, es que pueden absorber hidrocarburos e incluso solventes hasta 180 veces su propio peso, lo cual a comparación de los métodos anteriormente mencionados e incluso de los sorbentes usados actualmente logra sobrepasar los estándares ya mencionado, Estas esponjas tienden a ser muy ligeras ya que su porosidad tiende a ser de incluso hasta el 99% y su densidad varía entre 5,8 y 25,5 mg/cm³ por lo cual al estar en un cuerpo de agua este flotara realizando con mayor eficiencia la limpieza de hidrocarburos.

Figura 53. Esponjas de nanotubos de carbono⁹⁰



⁸⁹ Hongbian Li, Xuchun Gui, Dehai Wu, Anyan Cao/Carbon nanotube sponges for environmental clean-up and water filtration, Department of advanced materials and nanotechnology, Peking University, November 11, 2010

⁹⁰ Hongbian Li, Xuchun Gui, Dehai Wu, Anyan Cao/Carbon nanotube sponges for environmental clean-up and water filtration, Department of advanced materials and nanotechnology, Peking University, November 11, 2010

Estas nanoesponjas son creadas al producir una matriz de nanotubos interconectadas entre sí lo más posible, formando un sistema de multiparedes, así este tipo de material presenta alta flexibilidad y resistencia a su manipulación que a comparación con los aerogeles de sílice tienden a ser materiales débiles y frágiles a su vez, por lo cual estas esponjas son resistentes a la deformación y debido a sus características flexibles además es térmicamente estable al altas temperaturas. También presentan alta resistencia a la fatiga presentada por continuos ciclos de presión. Incluso si el material ha sido comprimido y se introduce en una mezcla de agua-aceite este rápidamente realiza la absorción selectiva de hidrocarburos logrando entre un promedio de absorción de 80 hasta 180 veces su propio peso debido a su alta porosidad. El proceso de recolección de hidrocarburos no es un proceso de alta complejidad ya que con simplemente presionar la esponja esta removerá la mayor parte de hidrocarburos, o incluso debido a su alta estabilidad térmica este podrá ser incinerado expulsando el hidrocarburo quemado al aire y la esponja tendrá nuevamente sus características iniciales ante el uso de cualquiera de los dos métodos mencionados respectivamente, así puede ser reutilizado tantas veces sea necesario, esto es un factor importante en caso de atención a un derrame rápidamente por que la recolección se realizara inmediatamente y el material puede ser enviado de nuevo a continuar el proceso de limpieza sin mayores complicaciones.

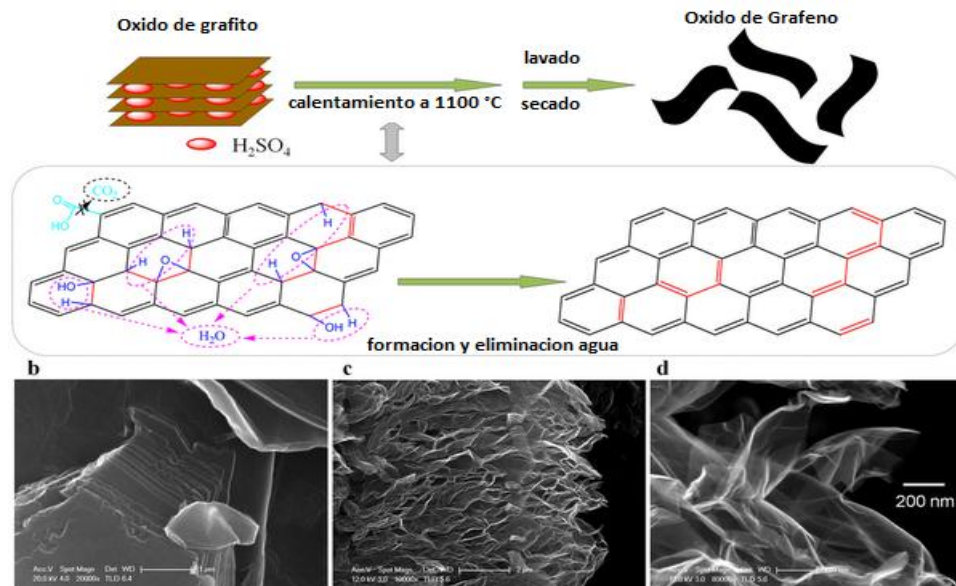
Oxido de Grafito Exfoliado Térmicamente (TEGO)⁹¹

El uso de grafito exfoliado anteriormente mencionado, demostró ser un buen absorbente para la remediación de derrames, pero recientemente los investigadores Robert Prud'homme, Ilhan Aksay de la Universidad de Princeton desarrollaron una técnica de sintetización del grafito denominada TEGO. El cual está compuesto de nanotubos en forma de gusano. Estos materiales son preparados inicialmente al

⁹¹ Robert Prud homme,Ilhan Aksay,Douglas Adamson,Ahmed Abdala/Thermally exfoliated graphite oxide,US 20070092432 A1

tratar el grafito natural con ácido clorhídrico ácido nítrico, y clorato de potasio, con el fin de oxidar el grafito hasta obtener oxido de grafito, después de esto se procede a un tratamiento por calentamiento en una ambiente de argón esta temperatura es de aproximadamente 1100 °C con una duración de 30 segundos eliminando cadenas libres de hidrogeno e hidróxidos formando remanentes de agua que se evaporaran, por lo cual se realiza un calentamiento rápido, el cual permite la expansión de óxido de grafito (pasando a ser oxido grafeno) entre 200 y 300 veces su volumen lo cual ensambla estos gusanos con una mejor reorganización de su estructura, esto produce una área de superficie mayor la cual es excelente absorbente de hidrocarburos debido a su afinidad de carbonos y sus características oleofilicas e hidrofóbicas, por lo tanto este tipo de materiales puede llegar a absorber hidrocarburos de una mezcla de agua-aceite de aproximadamente 100 hasta 10000 veces su propio peso. Por lo cual el TEGO es el que tiene la mayor capacidad de absorción respecto a los otros materiales ya mencionados lo cual se atribuye a su estructura tipo gusano a base de grafeno y su baja densidad.

Figura 54. Oxido de grafito exfoliado térmicamente⁹²

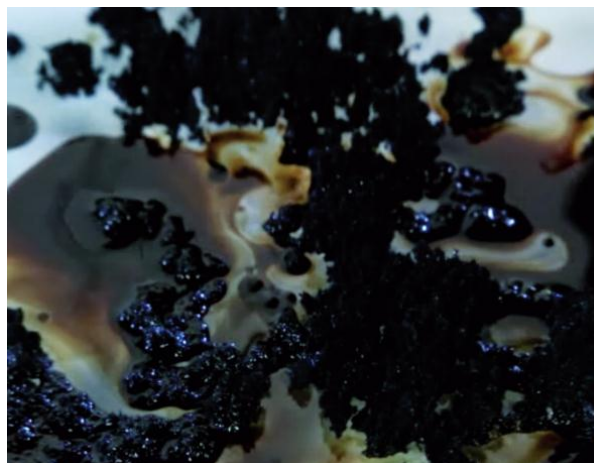


⁹² Yanzhong Hong, Zhiyong Wang & Xianbo Jin/Sulfuric Acid Intercalated Graphite Oxide for Graphene Preparation, published december 6, 2013

Material de Carbono Reactivo (RECAM)⁹³

RECAM es un material noble compuesto por nanoestructuras de carbono reactivo, inventado por el ingeniero Iván Aglietto y desarrollado por la compañía SA Envitech de Italia, está compuesto por células de grafeno y nanotubos de carbono, es de naturaleza hidrofóbica y con una densidad de $0,025\text{g/cm}^3$ y un área superficial promedio de $460\text{ m}^2/\text{g}$. Cuenta con una estructura celular propia que está comprendida por células de grafeno separadas por hebras delgadas de grafito de carbono, las cuales son características adecuadas para la remediación de derrames de hidrocarburos, donde su estructura está compuesta de aproximadamente 10 a 20% de nanotubos de carbono, su porosidad oscila entre 54% dejando el remanente de la estructura a las células de grafeno, además presenta gran estabilidad a altas temperaturas llegando a los $700\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual es favorable en casos de incineración de hidrocarburos in situ ya que no es inflamable, y también es químicamente inerte por lo cual es un material ecológico, dadas estas características el RECAM puede llegar a absorber hidrocarburos de una mezcla de agua-aceite, de hasta 90 veces su propio peso.

Figura 55.Material de carbono reactivo⁹⁴



⁹³ <http://www.pevlab.com/saenvitech/media/brochure/recam.html#/6/>

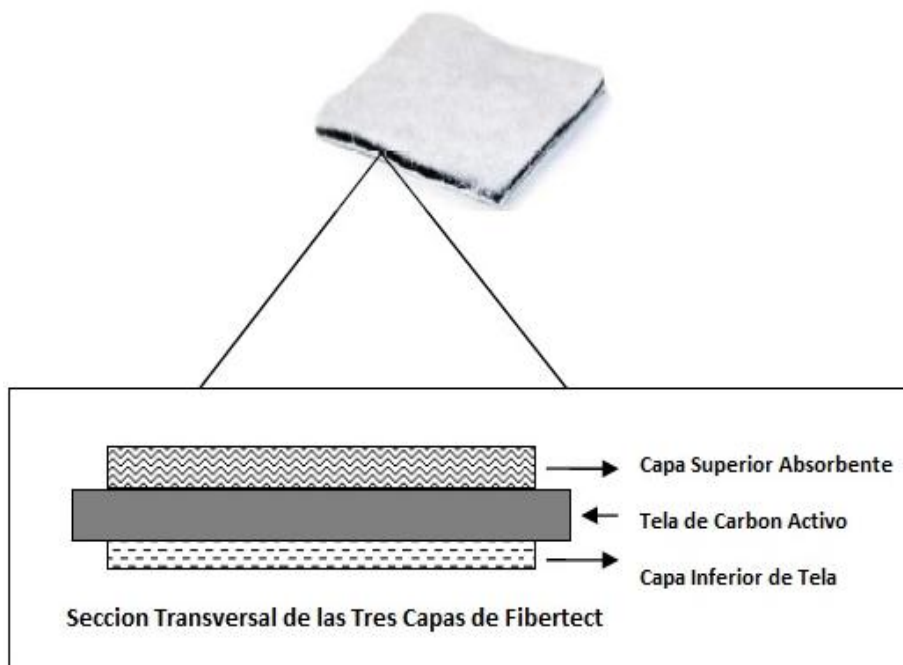
⁹⁴ Ivano Aglietto, Diego Carboni/Recam: A new innovative nanostructure material can solve the environmental crisis in the Gulf of Mexico, April 20, 2010

La tecnología RECAM puede ser usada de dos formas, una forma una forma de ser usado es como barrera de contención para prevenir su propagación, donde el material es rociado sobre una superficie de agua formando un tipo de barrera, lo cual no permite que el aceite pase a través de él, ya que RECAM posee alta afinidad con los hidrocarburos y junto con su características hidrofóbicas bloquea la comunicación entre hidrocarburos derramado y agua que aún no ha sido contaminada. La segunda forma de uso, se extiende el material en la zona del derrame donde las moléculas de hidrocarburos quedan atrapadas junto a las células de grafeno, logrando que no se expanda el hidrocarburo en el cuerpo de agua disminuyendo el impacto ambiental. Posteriormente el material recuperado ya saturado de hidrocarburo puede ser comprimido mecánicamente para la remoción de hidrocarburos de su interior, además de esto presenta la posibilidad de recuperar aceite en aguas profunda por medio de la inyección del material por medio de tuberías donde al llegar a la zona afectada en profundidad este se unirá rápidamente al hidrocarburo, y subirá a la superficie debido a la baja densidad que presenta el material y se lograra más fácil su recolección y dado que este material puede ser reciclado varias veces permite su regeneración por lo cual se denomina como un material respetuoso con el medio ambiente.

6.2.1.7 Almohadillas de algodón absorbentes (fibertect). El algodón común y corriente puede ser un asombroso material para la absorción de hidrocarburos, además de ser un material biodegradable y con alta capacidad de absorción. Debido a estas características en la Universidad de Tech en Texas, en el instituto de medio ambiente y salud humana, el Profesor Seshadri Ramkumar ha desarrollado un tipo de almohadillas de algodón absorbente con valor agregado usando materiales no tejidos y nanotecnología, donde se trata el algodón común de tal manera que logre mejorar su capacidad de absorción llegando incluso a absorber hidrocarburos de una mezcla agua-aceite hasta 15 llegando hasta veces su propio peso. Que aunque no es un material con altos niveles de absorción, tiene la característica que puede atrapar vapores de hidrocarburos que pueden ser

perjudiciales para la salud y poseen la capacidad de desintegrar el hidrocarburo absorbido, debido a la presencia de bacterias anaeróbicas presentes en el algodón, este material tiene el nombre de Fibertect, el cual combina algodón absorbente oleofilico, más un carbón activado el cual posee una capacidad de absorber hidrocarburos y además puede contener en su interior vapores de hidrocarburo tales como componentes livianos que debido a la temperatura en la que se encuentra el derrame pueden esta como capa de gas sobre la superficie del derrame con altos niveles de volatilización, de tal manera este carbón activo mantiene estos vapores por lo cual no permite si disipación al medio ambiente, además de ser un material biodegradable, también tiene la capacidad de desintegrar el hidrocarburo absorbido debido a que contiene bacterias anaeróbicas las cuales logran este proceso.

Figura 56. Almohadillas de algodón⁹⁵



⁹⁵ Seshadri S.Ramkumar,Adam H.Love,Utkarsh R. Sata,Carolyn J:Koester,William J.Smith,Garrett A.Keating,Lawrence W.Hobbs,Stephen B.Cox,William M.Lagna,Ronald J.Kendall/Next Generation Non-particulate Dry Nonwoven Pad for Chemical Warfare Agent Decontamination,Paper publishe online in Industrial & Engineering Chemistry Research on Dec 3,2008

Este tipo de material consiste en un sistema de 3 capas, donde su capa inferior será tela con algodón lo cual permite resistencia a las fuerzas mecánica y además a la abrasión, en la capa del medio se encontrara el carbón activo, y en la capa superior tendrá también propiedades tanto de tela como de algodón al igual que en el fondo, tanto la capa superior como la inferior son las que le dan firmeza al material manteniendo el carbono activo en posición y le de coherencia a la estructura manteniéndola en todo momento como un solo cuerpo, aun así la compañía Hoobs Bonder Fibers ha implementado en este material el uso alterno o conjunto de otras capas como poliéster, lana, nylon, polipropileno, acrílico modificado, e incluso kevlar⁹⁶ esto con el fin de no solo tener propiedades de absorción si no también darle otras características según las necesidades del comprador, que puede ser usado tanto en trajes de laboratorio como un potencial de equipamiento militar con fines químicos.

6.3 APLICABILIDAD ANTE LA INDUSTRIA

Ante los recientes acontecimientos sucedidos en el golfo de México, se creó gran polémica ante la remediación de la zona, ya que el derrame de hidrocarburos de aproximadamente 5 millones de barriles que se expandió por la zona abarcaba una gran área superficial debido a que el cierre de la línea de producción estaba ubicado en zonas profundas y su control y estabilización para evitar el continuo derrame conllevo a que por varios días se dispersara el hidrocarburo desde las profundidades, esto produjo que la implementación de equipos para su contención y tratamiento tomase más tiempo del debido, esto creo mayor problemática debido a la alta energía del oleaje ya que aumentó el área afectada para lo cual la contención se llevó incluso a lugares remotos, para esto se implementaron aproximadamente 800 skimmers lo cuales solo lograron la recolección del 3% de

⁹⁶ Mr.Carey Hobbs,254-741-0040,or Dr.Harold Rafuse,254-717-811

hidrocarburos derramados, debido a este bajo nivel de recolección y a la extensión de esta mancha se optó por implementar el uso de dispersantes químicos que, aunque es un método para tratar derrames de tales magnitudes presenta grandes repercusiones en el medio ambiente, tanto en la vida marina, como el posible contacto que pueda tener este con las costas hasta donde la mancha haya podido propagarse, debido a este tipo de inconvenientes que pueden generarse en posibles derrames, se comenzó a enfatizar la búsqueda de nuevas tecnologías capaces de interceder ante estas problemáticas, en donde los materiales con base en la nanotecnología surgieron como posibles soluciones. Anteriormente la implementación de estas tecnologías debido al poco avance industrial para la creación de estos, era impedimento para su producción ya que esta tenía como inconveniente primero la creación del material debido a sus complejos procesos de ensamble, y además de esto el costo que acarreaba su desarrollo eran bastante elevados por lo cual no eran opciones viables hace algunos años, en el presente estos procesos tienen mejores opciones de ser realizados, dado que la industrial ha evolucionado y ha permitido por medio de nuevos parámetros implementados tanto en física como en química innovadores métodos industriales para la creación y desarrollo de estas tecnologías, tal es el caso de los aerogeles, esponjas de nanotubos, nanocompuestos magnéticos, etc. Donde el desarrollo industrial ha permitido que estos materiales puedan ser creados con más facilidad y menos gastos lo cual es el interés en la industria tanto en la implementación de derrames de hidrocarburos, como otros posibles campos de acción que puedan tener estos materiales, y a pesar que aun en la actualidad la viabilidad comercial de algunos de estos materiales aun acarrea un gran gasto económico a comparación de las tecnologías convencionales, estas nuevas tecnologías en algunos años logran menores costos de producción con el fin de desarrollarlos a gran escala, el cual es el impedimento actual de la aplicación a profundidad en el tema de derrames de estos materiales a base de nanotecnología, aun así como se pudo ver para algunos materiales se han encontrado materia prima sustituyente por medio de la cual su costo de fabricación se reduce significativamente llegando a ser como un proceso

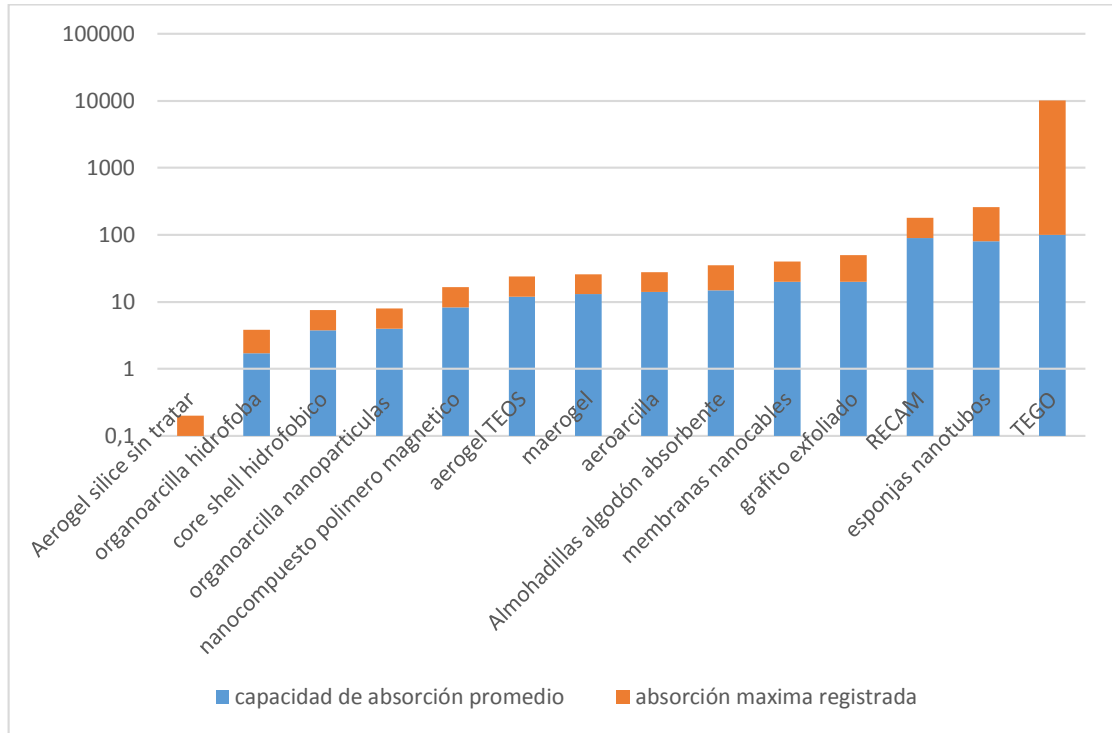
viable para magnificar su producción y ser usado como material de acción en caso de derrame como puede suceder con el aerogel de sílice que su costo puede estar alrededor de 2800 USD por kilogramo, donde debido a sus altos costos es una tecnología aun no aplicable a la atención de derrames, pero la creación de un nuevo material denominado maerogel el cual está basado en los sobrantes de cascara de arroz que sobran como desechos industriales, donde gracias a las altas concentraciones de sílice que contienen estas cascara se reutiliza como base para la creación de un nuevo aerogel pero con un valor comercial de creación mucho más económico el cual oscila alrededor de los 270 USD, lo cual en comparación es aproximadamente un 90% menos de costos, lo que genera más atractiva esta técnica para la creación de materiales absorbentes y posible implementación en la industria ambiental, además de esta la posible reutilización de la mayoría de estos materiales, algunos con mayor facilidad que otros tal como las esponjas de nanotubos, RECAM o incluso el TEGO pueden dar mayores ventajas en la remediación in situ, primero porque este tipo de materiales tiene un alto grado de capacidad de absorción con un promedio de 100 veces su propio peso lo cual es un alto grado comparado con otras tecnologías existentes, además este tipo de materiales poseen características adaptables al tema de derrames donde pueden ser reutilizados rápidamente después de haberse pasado por una superficie de agua afectada por hidrocarburo, sencillamente se le realiza un proceso de compresión el cual libera rápidamente el hidrocarburo y el material queda listo para ser insertado en el derrame nuevamente, además de esto poseen gran tolerancia a las altas temperaturas incluso la incineración, por lo cual puede usarse también como barrera de protección en zonas donde se desee hacer incineración in situ, dadas estas características su valor de producción se verá reducido no económicamente sino a través del tiempo debido a la resistencia de estos materiales al reciclaje de uso, lo cual presenta una gran ventaja ante ciertas condiciones operacionales, esto se pudo observar ante la iniciativa de la MIT al desarrollar un robot autónomo llamado Sea Swarm el cual adopta la tecnología de nanomembranas, este equipo parecido a un skimmer logra por cada gramo de membrana usado recolectar hasta 20 gramos de

hidrocarburo, y realizando la recolección in situ ya que para desprender este hidrocarburo, solo se requiere calentamiento de la membrana y puede ser usada nuevamente, además de esto requiere poca potencia eléctrica la cual es brindada por un panel solar y debido a que posee wifi y GPS puede ser organizados de tal manera que generen una limpieza inteligente de la zona afectada disminuyendo el tiempo de acción de los equipos dándole un orden de las zonas a limpiar, una proyección realizada por la MIT pronostico que una limpieza del tamaño del golfo de México en su totalidad podría llevar al uso de 5000 Sea Swarm en un tiempo de alrededor de un mes con un alto nivel de recolección, lo que es a comparación de los métodos usados ante el desastre del 2010 una mejor opción para remediar desastres en menos tiempo, con menos impactos ambientales, y recolectando mayores cantidades de hidrocarburos, lo cual es beneficioso tanto para el medio ambiente como para la compañía responsable del derrame recuperando cierta cantidad de la inversión realizada en la producción del hidrocarburo y disminuyendo sus gastos en reparaciones ambientales producidas por el derrame.

Como se puede observar en la siguiente grafico de columnas hemos ubicado en orden ascendente la capacidad de absorción de cada técnica anteriormente abarcada. Donde podemos apreciar como cada una de estas, dependiendo de su capacidad de retener hidrocarburos tiene dos colores el color azul indicara su absorción promedio mientras que el color naranja nos dará la máxima capacidad registrada que este puede retener respecto a su peso. Así se aprecia que las tecnologías a base de carbono con nanotubos o membranas presentan mayor absorción que las tecnologías de aerogeles o incluso las de almohadillas de algodón, siendo las técnicas de RECAM, nanoesponjas y TEGO, las de mejor capacidad para retener hidrocarburos respectivamente, esto indicándonos que pueden ser posibles tecnologías para mejor desarrollo en un futuro, si inconveniente se basa como anteriormente se ha mencionado, en su costo de elaboración que por ahora presenta un reto económico, pero se espera en los próximos años desarrollar mejores técnicas de producción para estos materiales manteniendo o mejorando

sus características tal y como sucede en la actualidad con los aerogeles respecto al maerogel.

Tabla 23. Capacidad de absorción de materiales nanotecnológicos⁹⁷



Debido a estas características, los materiales creados a partir de la nanotecnología proyectan a realizar una participación cada vez mayor a través de los años, ante la atención de derrames, llegando incluso a dejar obsoletos los métodos convencionales de recolección, debido al desarrollo de la industria lo que permitirá la producción de este tipo de materiales con mayor facilidad y menores costos, e incluso la creación de nuevos materiales a partir de las tecnologías acá mencionadas.

⁹⁷ Autor

7. CONCLUSIONES

- Las propiedades físico-químicas del petróleo, determinan los cambios tanto físicos como químicos que puede presentar el hidrocarburo cuando se produce el derrame en el agua, lo cual nos ayuda a determinar la resistencia de este a degradarse y la toxicidad que puede presentar al ambiente.
- Una vez presente un derrame se deberá tomar acción inmediata ante la implementación de los equipos tanto de contención como de recolección o control según sea su necesidad para disminuir los posibles impactos ambientales que este pueda conllevar y minimizar los gastos económicos que pueda producir su lenta atención.
- Al momento de implementar equipos de contención y recolección se deberá tener en cuenta las condiciones operacionales presentes en el derrame, es decir las condiciones ambientales y marítimas de la zona del derrame, como las características de los equipos respecto a las zonas afectadas.
- Se debe tener en cuenta el momento de uso de dispersantes en un derrame que algunos compuesto tóxicos del hidrocarburo pueden degradarse con facilidad al estar expuesto en la intemperie, por lo cual el uso de dispersante se verá disminuido en cantidad, reduciendo el impacto de estos químicos en el medio ambiente. Esto solo aplica cuando la zona afectada aún se encuentra muy lejos de costa.
- En caso que el derrame se encuentre muy cerca a la costa se deberá hacer el uso inmediato de contención de hidrocarburo y dispersión selectiva, con el fin de minimizar el impacto que el derrame pueda generar si llegase a tocar la costa,

debido a que su tratamiento en estas zonas aumenta los problemas esto generando un impacto ambiental de mayores magnitudes.

- El implemento de nanotecnología en la industria petrolera logra mejorar los distintos campos donde se ha implementado proyectos pilotos, dando beneficio económico en la extracción de hidrocarburos.
- La nanotecnología ha colaborado en la implementación de materiales con mejores características, disminuyendo los posibles inconvenientes que se pueda presentar con materiales convencionales, por lo cual aumenta la seguridad del personal y del lugar donde se ha decidido el uso de estos materiales.
- El uso de materiales nanotecnológicos en remediaciones ambientales, aumenta la efectividad de los procesos convencionales que han sido usados hasta la actualidad.
- Estos nanomateriales en su mayoría presentan características ecológicas por lo cual su uso será fácilmente avalado por las organizaciones ambientales.
- La aplicación de nanotecnologías en la remediación de derrames presenta mayores facilidades de recolección, debido a sus altas características de absorción, otorgando a las empresas recuperar parte de su capital presente en ese derrame, y disminuyendo el uso de dispersantes químicos que pueden llevar a mayores problemas ambientales.
- La capacidad de algunos materiales para recolección de ser reutilizados de manera inmediata, como son las nanoesponjas permiten acortar el tiempo del desastre, ayudando a disminuir el impacto ambiental que este pueda generar en casos donde solo se utilizan tecnologías convencionales.

- A pesar que en la actualidad la implementación de estas nanotecnologías se ve obstruida debido al sobre costo de producción de estos materiales, se espera que en unos años el valor disminuya dándole viabilidad económica para su desarrollo y uso en atención a derrames.
- Se espera que al pasar de unos años, los métodos convencionales usados en la atención de derrames sean obsoletos, siendo remplazados por nuevos equipos con características nanotecnológicas y mayor adaptabilidad ecológica, disminuyendo los posibles impactos ambientales asociados.

8. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta el desarrollo de las nanotecnologías y la comercialización de los productos nanométricos en los últimos años, consideramos fundamental seguir evolucionando e investigando en la caracterización de estos materiales o bien sea creando nuevas tecnologías que nos permitan mejorar el conocimiento.
- Se resalta la importancia de multiplicar la investigación sobre las posibles consecuencias de las nanotecnologías para determinar las sustancias que podrían ser nocivas para el medio ambiente.
- Implementar medidas de prevención adecuadas y relacionadas con el conocimiento del ciclo de vida de los productos que portan la nanotecnología, y como estos contribuyen a proteger la salud y la seguridad alimentaria.
- Realizar una prueba experimental para avalar la eficiencia de la nanotecnología en los derrames de crudo, utilizando las nanopartículas aquí mencionadas por ser las mejores en la remediación.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, Alan A."Oil spill response". An overview of state-of-the-art response techniques and equipment with an emphasis on chemical dispersant application and controlled "insitu"burning.

David A. Schiraldi,Suneel A.Bandi,Matthew D/Progress in clay aerogel/polymer composite materials,preprints 2006.

Hamdan Halimaton,silica Aerogel/US 200702076051 A1.

Hongbian Li,Xuchun Gui,Dehai Wu,Anyan Cao/Carbon nanotube sponges for environmental clean-up and water filtration,Departament of advanced materials and nanotechnology,peking University,november 11,2010.

Ivano Aglietto,Diego Carboni/Recam:A new innovatite nanostructure material can solve the environmental crisis in the gulf of mexico,April 20,2010.

Jikan Yun,Xiaogang Liu,Ozge Akbulut,Junging Hu,Steven L,Suib,Jing Kong,Francesco Stellacci/superwetting nanowire membranes for selective absorption,publised 30,mayo 2008.

Jyoti L.Gurav.A.vekasteswara Rao,D.Y.Nadargi.Hyung-Ho Park/Published online 22 october 2009 Springer science-Business Media,LLc 2009.

kleberson Ricardo de Oliveira Pereira,Rosangela Abdala Hanna,Marilda Mendoza Guazzelli Ramos Vianna,Carolina Alfonso Pinto,Meiry Glauci Freire Rodriguez,Franciso Valenzuela/Brazilian organoclays as nanostructured sorbents of

petroleum-derived hydrocarbons,articuled presented at the II SBMAT,RIO DE JANIERO-RJ 26-29 DE OUTUBRO/2003.

Manual de lucha contra la contaminación por hidrocarburos, José maría silos rodríguez, universidad Cádiz, edición 2008.

Michio INAGAKI,Tomoya Nagata,Taisuke suwa,Masahiro Toyoda/Sportion kinetics of various oils onto exfoliates graphite,vol 1,jun.2006.

Nick Gilbert/Aerograhite-The worlds Lightest Material, jul 19,2012.

Parte 4 lucha contra los derrames de hidrocarburos, organización marítima internacional, edición 1988-2005.

Peter Wray/publisheh on May 5th,2010/CWRUS Aeroclay aerogel has ability to soak up oil spills.

Pradip B.Sarawade,Jong-Kill Kim,Askwar Hilonga,Hee Taik kim/Production of low-density sodium silicate-based hydrophobic silica aerogel beads by a novel fast gelation process and ambient pressurre drying process.

Robert Prud homme,Llhan Aksay,Douglas Adamson,Ahmed Abdala/Thermally exfoliated graphite oxide,US 20070092432 A1.

Ru-siou Hsu,Wen Hsin chang,Jiang jen/Nanohybrids of Magnetic Iron-Oxide Particles in Hydrophobic Organoclays for Oil Recovery,publication april 19,2010.

Seshadri S.Ramkumar,Adam H.Love,Utkarsh R. Sata,Carolyn J:Koester,William J.Smith,Garrett A.Keating,Lawrence W.Hobbs,Stephen B.Cox,William M.Lagna,Ronald J.Kendall/Next Generation Non-particulate Dry Nonwoven Pad for

Chemical Warfare Agent Decontamination, Paper published online in Industrial & Engineering Chemistry Research on Dec 3, 2008.

Stroch de García, J.M. "Manual de seguridad industrial en plantas químicas y petroleras". Madrid, McGraw Hill, volumen I 1998.

Yanzhong Hong, Zhiyong Wang & Xianbo Jin/Sulfuric Acid Intercalated Graphite Oxide for Graphene Preparation, published December 6, 2013.

PAGINAS WEB

http://www.revistanaval.com/archivo-2001-2003/petroleros_i.htm

Revista naval

<http://mundoexportar.files.wordpress.com/2013/12/estructura-de-petrolero.png>

Estructura del petróleo

www.iespana.es/natureduca/cont_mareas_historia2.htm

Mareas negras

www.contaminacionpedia.com/wpcontent/uploads/2013/04/contaminacion-por-petroleo

Contaminación por petróleo

Contaminación por petróleo

<http://digaohm.semar.gob.mx/proteccionEcologica.html>

Protección ecológica

http://www.arcopol.eu/archivos/documentacion/76/CD_ARCOPOL_VF/sp/docs/terre/barreras.pdf

Barreras terrestres

http://www.directindustry.es/prod/desmi-pumping-technology-s/skimmers-hidrocarburos-aplicaciones-offshores-21088-478363.html#product-item_478371

Aplicaciones de skimmer de hidrocarburos

<http://www.nauticexpo.es/prod/markleen-terra/skimmer-hidrocarburos-cepillos-discos-tambor-32644-335662.html>

skimmer de hidrocarburos (cepillos, discos, tambor)

https://www.conterol.es/skimmer-de-discos-de-30-m3h_prod_51

Control de skimmer en discos

http://cv.uoc.edu/JOVELLANOS/y/mat/cursos/gestion_crisis/documentos/lcc/Contenidos/Parte06/Dispersantes/Dispersantes3.htm

Dispersantes

<http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills>

Derrame de petróleo (crudo)