

XII Congreso Latinoamericano de Perforación

**PROPUESTA PARA LA RECLASIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD EN
RECORTES DE PERFORACIÓN CONTAMINADOS CON HIDROCARBUROS**

**M. C. Roberto Zamudio Muñoz
M. C. Ricardo Eduardo Islas Sánchez**

**PEMEX Perforación Región Sur, México
(RPIH)**

RESUMEN

Actualmente la legislación ambiental mexicana considera a los recortes de perforación contaminados con hidrocarburos como residuos peligrosos, aunque su evaluación en corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y biológico infecciosos presenta resultados negativos. La base fundamental para el dictamen de peligrosidad de un residuo debe ser el potencial impacto ambiental y/o riesgo a la sociedad que dicho residuo presente. El dictamen de peligrosidad de un residuo afecta en el Desarrollo Sostenible (DS) de nuestra sociedad. Cuando un residuo peligroso es caracterizado como no peligroso se presenta un impacto negativo sobre el factor ecológico en nuestro DS. Por otra parte, cuando un residuo no peligroso es caracterizado como residuo peligroso se presenta un impacto negativo sobre el factor económico en nuestro DS. En ambos casos el componente social del DS se afecta negativamente impidiendo alcanzar el equilibrio del DS. Actualmente en nuestro país se generan aproximadamente 170,000 toneladas por año de recortes de perforación por las regiones Norte, Sur y Marina, las cuales deben ser tratadas de acuerdo con la legislación mexicana de residuos peligrosos. Actualmente el tratamiento térmico aceptado por ésta legislación representa un costo aproximado de \$177,000,000.00 M.N. por año. Otros países petroleros, con un mayor Desarrollo Sostenible como Estados Unidos de América y Canadá no consideran a los recortes de perforación como residuos peligrosos y por lo tanto presentan menores costos de tratamiento, abriendo incluso posibilidades de reuso dignas de ser consideradas para abrir un abanico de alternativas. Consideramos de suma importancia reclasificar la caracterización de los recortes de perforación contaminados con hidrocarburos, en función de un beneficio sobre el Desarrollo Sostenible de México.

El presente trabajo consiste en la elaboración de una propuesta técnica económica para la “Revaluación de la Peligrosidad de los Recortes de Perforación Contaminados con Hidrocarburos”.

OBJETIVO

Identificar, analizar, estructurar y proponer los puntos de justificación para la reclasificación de la peligrosidad de los recortes de perforación contaminados con hidrocarburos.

ALCANCES

- Caracterización de los recortes de perforación de acuerdo a parámetros internacionales
- Revisión bibliográfica de la legislación ambiental en países petroleros
- Evaluación del impacto ambiental potencial de los recortes de perforación impregnados con hidrocarburos
- Evaluación de las tecnologías para la reducción, recuperación, tratamiento y disposición de los recortes de perforación
- Análisis ecoeficiente de las alternativas de caracterización
- Definición de la propuesta de reglamentación para la clasificación de los recortes

INTRODUCCION

Existen dos tipos de actividades de perforación asociadas con la extracción de hidrocarburos: exploración y explotación. La perforación para las actividades de exploración tiene por objetivo el determinar y delinear las reservas potenciales de hidrocarburos. La perforación durante la explotación tiene por objetivo el extraer en forma óptima los hidrocarburos presentes en el yacimiento. Ambas actividades presentan el mismo proceso variando en ocasiones en los diámetros iniciales de la perforación.

La perforación llevada a cabo por PEMEX en el Golfo de México es por lo general en aguas poco profundas (< 50 m) lo que permite utilizar unidades ancladas o soportadas por piernas retractables. La perforación exploratoria puede ser superficial para identificar la presencia de yacimientos y profunda para determinar

la extensión del yacimiento. La perforación para explotación utiliza la técnica de “perforación bajo control direccional” mediante la cual es posible iniciar en forma vertical y posteriormente en forma direccional y/u horizontal. De esta forma a partir de una localización específica (plataforma de perforación) el yacimiento puede ser atacado en toda su extensión.



El proceso de perforación mediante el uso de barrena rotatoria utiliza fluido circulante (lodo de perforación) para funciones como: el movimiento de los recortes, el enfriamiento y lubricación de la tubería y barrena y su función más importante, la aplicación de presión hidrostática sobre la presión del yacimiento. El lodo es bombeado por el centro de la tubería de perforación hasta la barrena, lugar en el

cual el lodo sale en forma de jet a alta presión y alta velocidad removiendo los recortes. El fluido (lodo junto con los recortes) es transportado hacia la plataforma por el espacio anular entre la tubería de perforación y la tubería de revestimiento. El fluido al llegar a la superficie entra a un proceso de separación mecánica mediante el cual el lodo es separado de los recortes, arenas y gases. De esta forma el lodo mantiene sus características necesarias (viscosidad, densidad, porcentaje de sólidos etc.) para poder ser reciclado a la tubería de perforación y llevar a cabo nuevamente sus funciones antes mencionadas.



Los recortes separados varían en tamaño desde polvo hasta grava, estos son separados del fluido mediante el uso de cribas vibradoras (temblorinas) y centrifugas. Aproximadamente el 80 % de los recortes se obtienen de la primer etapa de temblorinas

y el 20 % restante se obtiene de la segunda etapa de temblorinas. Los recortes de la primer etapa de temblorinas son conducidos a una segunda etapa de separación a cargo de una centrifuga para obtener de un 5.1 a un 10.5 % de fluido

remanente, mientras que los recortes de la segunda etapa de temblorianas salen con un 14.9 % de fluido remanente.

Los recortes de perforación fueron tradicionalmente descargados en el mar desde el inicio de la explotación marina hasta la década de los 80's, formando lo que actualmente se conoce como "Pilas de Recortes de Perforación". Los recortes de perforación como tal, no representan un problema ambiental, no así el fluido de perforación impregnado en los recortes. Existen tres tipos de fluidos de perforación utilizados actualmente: 1) Emulsiones base agua, 2) Emulsiones base aceite (emulsión inversa) y 3) Emulsiones base aceite sintético. Actualmente en México Petróleos Mexicanos utiliza los dos primeros para llevar a cabo sus proceso de perforación, presentando una impregnación promedio de aceite en los recortes de 0.01 - 0.001% y 1.0 – 5.0%, respectivamente para los fluidos base agua y base aceite.

Típicamente el uso de fluidos de emulsión base agua se utilizan durante las primeras etapas de perforación, sin embargo bajo ciertas condiciones como: presencia de formaciones solubles en agua, alto ángulo de perforación y alto avance de perforación, se requiere cambiar a fluidos de emulsión inversa (base aceite). El uso de este tipo de fluido incrementa la velocidad de perforación, reduce el costo y reduce la pérdida de lodo.

Los componentes presentes en el fluido de perforación (base y aditivos) tienen como función el controlar la densidad, viscosidad, estabilidad, corrosión, fricción y emulsión. Con el paso del tiempo los químicos utilizados para controlar dichas características han cambiado en función de su toxicidad y biodegradabilidad. La base de un fluido de perforación tiene como principal objetivo lubricar y reducir la fricción en la tubería y barrena, el diesel fue originalmente la base mas comúnmente utilizada en todo el mundo, hasta que sus efectos tóxicos fueron identificados, principalmente por la presencia de hidrocarburos aromáticos de bajo peso molecular (naftaleno, fenantreno y fluoreno). Dentro de los aditivos en un fluido de perforación la barita es el principal componente regulador de la densidad,

el uso de este químico ha traído problemas de toxicidad debido a la presencia de impurezas de metales pesados como el mercurio y el arsénico. Por otra parte, algunos aditivos para el control de la corrosión y emulsión contienen alquilfenol etoxilatos, estrógenos que afectan el sistema reproductor de organismos acuáticos. Se han identificado impactos ambientales de los hidrocarburos en fitoplancton, zooplancton, bentos, peces, aves marinas y mamíferos marinos. Finalmente los últimos avances en regulación ambiental tienden hacia la protección de la biodiversidad del ecosistema mediante la cero descarga de residuos en el medio ambiente, según la Comisión de Oslo-Paris en 1994. Actualmente los parámetros ambientales de evaluación para los recortes de perforación miden el contenido de hidrocarburos aromáticos, toxicidad en sedimentos, biodegradación y bioacumulación.



A partir de los años 90's prácticamente en todo el mundo se prohibió la descarga de recortes de perforación en los mares. Esto principalmente por el alto impacto ambiental generado por los químicos presentes en la elaboración de los fluidos

de perforación, principalmente fluidos de emulsión inversa. En 1992 Noruega prohibió la descarga de recortes de perforación en los mares del norte, en 1996 el Reino Unido prohibió la descarga de aceite presente en recortes de perforación y en 1993 Estados Unidos publico las normas para las actividades de explotación de hidrocarburos costa-fuera. Nuestro país no fue la excepción y a partir de 1992 los recortes de emulsión inversa y emulsión base agua han tenido que ser transportados a tierra para su disposición.

Esta situación ha traído como consecuencia la modificación del proceso de perforación para poder llevar un manejo adecuado de los recortes dentro de los

equipos de perforación tanto en tierra como en mar (plataforma), por otra parte ha obligado a incrementar el uso de logística especial para la transportación de los mismos y finalmente la contratación de terceros para el manejo y disposición final de los recortes. Todo esto ha generado un incremento en los costos de producción de petróleo y por lo tanto una reducción en la productividad y rentabilidad.

Nuestro reto en el presente trabajo es el identificar la forma mediante la cual los costos de manejo y disposición puedan reducirse sin alterar el beneficio en el medio ambiente que la no descarga de los recortes ha traído a las diferentes zonas ecológicas donde actualmente se perfora en nuestro país.

ANTECEDENTES

Impacto Ambiental de los Recortes de Perforación

El impacto ambiental de un determinado residuo depende de dos factores independientes: el grado de toxicidad del residuo y su grado de exposición en el medio ambiente. Ambas informaciones son utilizadas para el cálculo o estimación de los posibles impactos ambientales. Los recortes de perforación no son la excepción y por lo tanto cuentan con ambas características para el análisis de su impacto ambiental.

La toxicidad de los recortes de perforación en el medio ambiente esta directamente relacionada con la composición química de los fluidos de perforación (lodos) utilizados durante la actividad. Existen tres tipos de lodos utilizados actualmente en todo el mundo: 1) lodos base agua (emulsión directa), 2) lodos base aceite de hidrocarburos (emulsión inversa) y 3) lodos base aceite sintético (emulsión inversa). De estos tres tipos se considera a los lodos de emulsión inversa base hidrocarburos como los más tóxicos por la presencia de diesel, aditivos y barita. El diesel contiene hidrocarburos aromáticos de bajo peso molecular como el naftaleno, fenantreno y antraceno, la barita contiene metales pesados como el cadmio, plomo y mercurio y los emulsificantes, coagulantes y anticorrosivos (aditivos) contienen fracciones fenólicas como alquilfenol ethoxilato

y la difenil amina, todos ellos considerados altamente tóxicos para muchos organismos, incluyendo el ser humano. Como ejemplo de impacto ambiental de los hidrocarburos presentes en los recortes podemos citar que en el ambiente marino se presentan los siguientes cambios: reducción en la actividad bacteriana, deficiencias del sistema inmunológico en peces, efectos teratogénicos (mutación en fetos), mutagénicos (modificación en el material genético) y cáncer en peces, incremento en la mortalidad larvas de peces y reducción en la biodiversidad. Por otra parte, en el medio terrestre se presenta: reducción en la fertilidad agrícola, contaminación de mantos acuíferos (riesgo geohidrológico) y contaminación atmosférica por metano (incremento en el efecto invernadero y generación de malos olores).

El impacto ambiental antes mencionado, tanto en el medio marino como en el medio terrestre, se encuentra totalmente ligado a la exposición de dichos contaminantes en el medio respectivo. Un recorte altamente tóxico presentara un impacto ambiental bajo si la exposición de dicho recorte ante el medio ambiente es reducida. De aquí la importancia en el manejo y destino de los recortes de perforación. Existen dos posibles rutas básicas de exposición de los recortes ante el medio ambiente, la descarga en el medio marino y/o en el medio terrestre.

La exposición en el ambiente marino por descargas de recortes de perforación es función de características como: corrientes, profundidad, actividad pesquera, temperatura y topografía del fondo. Estas características afectan básicamente la dispersión y la degradación de los contaminantes influyendo en el grado de exposición. Una baja dispersión y baja degradación, mantienen las concentraciones de los contaminantes en sus niveles más altos, causando el mayor impacto ambiental. La situación en el medio terrestre es diferente, el suelo es un medio de transporte mucho menos dinámico que el agua, características como: permeabilidad, temperatura, humedad y precipitación afectan la dispersión y degradación de los contaminantes. A diferencia del medio marino, en tierra la dispersión del contaminante es un fenómeno indeseable mientras que su degradación al igual que en el medio marino representa un fenómeno deseable.

En función de la información analizada en toxicidad y exposición se han definido tres características básicas en los recortes de perforación para definir el potencial impacto ambiental de un determinado fluido de perforación presente en los recortes: 1) Toxicidad, 2) Bioacumulación y 3) Biodegradación. Mediante estas tres características es posible evaluar el efecto toxicológico de los recortes en las poblaciones, comunidades y ecosistemas, lo cual es conocido actualmente como ecotoxicología. La característica de bioacumulación reviste crucial importancia por el incremento en la concentración de hidrocarburos en la cadena trófica, generando un riesgo social por la ingestión de peces y mariscos con altas concentraciones de hidrocarburos.

Reglamentos para la Caracterización y Manejo de los Recortes de Perforación

Todos los países petroleros han incorporado lineamientos y reglamentos para el manejo de los recortes de perforación, especialmente los generados en plataformas marinas. Desde 1972 mediante la convención de Oslo se definieron políticas para la Prevención de la Contaminación Marina provenientes de las descargas de embarcaciones y aeronaves. En 1974 se llevó a cabo la Convención de París para la Prevención de Contaminación Marina proveniente de fuentes continentales. La preocupación por el impacto ambiental generado por las crecientes descargas de recortes de perforación impregnados con aceite, dio pie para que la Comisión de París (PARCOM) en 1988 tomara la decisión de prohibir la descarga de recortes de perforación con contenidos de aceite superiores al diez por ciento en peso. Para 1992 la Comisión Oslo-París (OSPAR) incrementó la restricción en las descargas de recortes a valores inferiores a 1 % en peso de aceite, porcentaje prácticamente imposible de alcanzar, lo que obligó a las compañías a sustituir el uso de lodos base aceite. A partir de 1996 quedó totalmente prohibida la descarga de recortes de perforación impregnados con lodos de emulsión inversa, independientemente de su contenido en aceite. En México, a partir de 1993 queda prohibida la descarga de recortes de perforación base aceite en el mar.

Al prohibir la descarga de recortes de perforación en el mar, se incrementó el manejo de los mismos en tierra, sumándose ahora los recortes de perforación marina con los recortes de perforación en tierra. Esto trajo como consecuencia la necesidad de regular el manejo y disposición de los recortes generando una serie de reglamentos y lineamientos en los diferentes países incluyendo México.

La reglamentación inicio desde la clasificación oficial de los recortes de perforación. El Reino Unido hasta 1996 clasificaba todos sus residuos en: Inertes, No-Peligrosos y Putrefactos, clasificación que resulta obviamente inadecuada. A partir de 1998 en el Reino Unido se definieron los lineamientos para la clasificación de residuos en función de sus características de explosividad, inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad y biológico infeccioso. De esta forma los residuos son catalogados como residuos controlados (negativos en todas las pruebas de peligrosidad) y residuos especiales (positivo en alguna de las pruebas de peligrosidad). México y muchos otros países presentan la misma metodología para la clasificación de sus residuos en peligrosos o no-peligrosos. Dicha metodología al ser aplicada en los recortes de emulsión inversa presenta resultados negativos ante cada una de las pruebas mencionadas anteriormente, lo que oficialmente definiría a los recortes de perforación como un residuo no-peligroso.

Debido al contenido y toxicidad de los hidrocarburos y metales pesados en los recortes de emulsión inversa base hidrocarburos, algunos países le han dado una clasificación de peligrosidad especial a los recortes de emulsión inversa, aún bajo resultados negativos en las pruebas respectivas. Esta situación ha traído por consecuencia diferencias en la clasificación de los recortes de perforación en los diferentes países. La legislación europea los clasifica como Residuos Peligrosos, el Reino Unido los clasifica como Residuos Especiales, Noruega como Residuos Especiales, Estados Unidos como Residuos de Aceite No-Peligrosos y en México como Residuos Peligrosos.

Aún y cuando la denominación de los recortes es diferente en los países petroleros, el manejo de los recortes de perforación ha presentado el mismo grupo de opciones tecnológicas en cada país. La decisión de cual alternativa tecnológica es la más adecuada para el manejo de los recortes es función de un análisis ecoeficiente de las alternativas y el medio donde se quiere aplicar.

Alternativas Tecnológicas para el Manejo de Recortes de Perforación

La reglamentación en el manejo de los recortes de perforación de emulsión inversa (base hidrocarburos) tiene por objetivo reducir el potencial impacto ambiental de los mismos. Dicha reducción se puede llevar a cabo mediante la reducción en la toxicidad del recorte y/o la reducción en la exposición del mismo ante el medio ambiente. De esta forma los diferentes manejos se pueden dividir en aquellos que tienen el objetivo de reducir la toxicidad (Biodegradación, estabilización, extracción, desorción e incineración) como tecnologías de tratamientos y aquellos que tienen el objetivo de reducir la exposición (Reinyección, confinamiento, dispersión en campo) como tecnologías de disposición. Aún y cuando el principal objetivo del manejo de los recortes de perforación es el impacto ambiental existen otros criterios igualmente importantes que influyen en la selección de la tecnología. Estos criterios involucran cuestiones de uso de energía, seguridad, aceptación ante la sociedad, factibilidad técnica y factibilidad económica.

Tecnologías de Reducción en la Fuente

Actualmente la reducción en la fuente representa una de las alternativas más atractivas desde el punto de vista económico y ambiental, considerándose tecnologías de prevención de la contaminación. En el caso particular de los recortes de perforación, la prevención de la contaminación ha modificado los procesos de perforación de tal forma que la cantidad y toxicidad de los recortes se reducen. En el caso de la cantidad, el uso de barrenas con diámetros menores y la modificación en los sistemas de separadores mecánicos (temblorinas y centrífugas) a reducido la cantidad de recortes generados, este tipo de

modificación se lleva a cabo mediante un estudio de optimización en los diámetros de las tuberías, tanto de revestimiento como de producción, así como en los tamaños de mallas en temblorinas y revoluciones en las centrifugas. La sustitución de materias primas, es a la vez es una práctica común en la prevención de la contaminación. En el caso particular de la perforación de petróleo esto ha implicado la sustitución de los lodos de perforación base aceite por lodos de perforación base agua y mas recientemente lodos de perforación base aceite sintético, en ambos casos con niveles de toxicidad mucho mas bajos.

- Lodos Base Aceite Sintético.

En los últimos años se han desarrollado lodos de perforación utilizando ésteres vegetales (2-etilhexanol éster y ácidos grasos saturados C_8 a C_{16}), olefinas (alquenos de C_{16} a C_{18}), alfa olefinas lineales (Deceno hidrogenado C_{20}) y poli-alfa olefinas. Debido a su baja toxicidad (ausencia de hidrocarburos poliaromáticos), los recortes de perforación impregnados con aceite sintético son descargados al mar (perforación marina) y depositados en rellenos sanitarios (perforación en tierra) en los Estados Unidos. Los costos del lodo base aceite sintético son superiores a los lodos base aceite de hidrocarburos (Diesel), en una relación de 3:1 aproximadamente. Sin embargo, al adicionar los costos de transportación y tratamiento de los recortes al costo del lodo base aceite Diesel, el costo total resulta superior al costo del lodo base aceite sintético.

Tecnologías de Recuperación

- Tecnología de Recuperación de Suelos Dinamarca (SRD).

La SRD es un proceso que se basa en la destilación y evaporación con un intercambiador de calor rotatorio. En este proceso los recortes se alimentan a un receptor seguidos por transportadores entre los cuales hay un sello de gas, que es necesario debido a que se opera por arriba de la presión atmosférica. El aceite es calentado y bombeado a través de un eje rotatorio y discos huecos para calentar los recortes hasta una temperatura entre 280 - 320 °C. Dentro de la unidad SRD circulan como cenizas y su estancia dentro de la unidad es controlada por la alimentación de recortes entrante al proceso. La alimentación de recortes está

controlada por sensores de temperatura. Cuando el sensor final indica que la temperatura de los recortes es superior a la temperatura de ebullición del aceite se alimentan más recortes y por otro lado se retiran los recortes libres de aceite. Posteriormente, los recortes se hacen pasar por un transportador de tornillo el cual sirve de medio de enfriamiento.

Los vapores emitidos por los recortes calientes se condensan y separan antes de descargarse. Es por ello que se considera un proceso limpio, ya que las emisiones que tiene pueden compararse a las emitidas por cualquier sistema urbano.(DOMESTICO).

Una ventaja a que ofrece el proceso SRD (a baja temperatura) es que mantiene buena composición, y además estable, del aceite recuperado, por lo que este puede ser reusado. Si se mantiene la temperatura por abajo de 350°C no se presentarán problemas de fraccionamiento del aceite.

Sin embargo, esta tecnología presenta un punto débil, y es el hecho de que los recortes tratados se siguen clasificando como residuos peligrosos, aún y cuando se hayan sometido a temperaturas de 500°C. La razón de este hecho es que los hidrocarburos más pesados, brea, coque, y químicos adicionados y modificados están presentes en concentraciones mayores a 0.1.

Además, si el proceso se opera a altas temperaturas (500°C o más) en un tiempo de 1 hora, sucede el fraccionamiento del aceite, por lo que puede reusarse (como a baja temperatura) si no se remueven los productos del fraccionamiento.

- Extracción con Solventes.

Este método de extracción con solvente consiste en mezclar los recortes con hexano para disolver (extraer) el hidrocarburo en el solvente; posteriormente esta mezcla se somete a centrifugación para separarse en sus dos fases. La fase líquida se destila y condensa para recuperar separadamente el aceite y el solvente. Por otro lado, la fase sólida se pasa a través de una banda transportadora caliente para remover el residuo de solvente que aún contenga.

Los productos finales de este proceso son: Solvente de reuso, recortes que pueden usarse en la industria de la construcción, aceite que puede reusarse en la formulación de lodo para perforación.

- Destilación.



Destilación es la separación de los compuestos más volátiles de los menos volátiles presentes en una mezcla, por medio de evaporación y condensación. El proceso de destilación se puede realizar en una o varias etapas dependiendo de la cantidad de hidrocarburos a extraer. En ingeniería, el término destilación se aplica para el proceso de separación

de dos líquidos; y la evaporación para la separación de un líquido de un sólido. En este caso específico consideraremos a la destilación como la extracción de los hidrocarburos contenidos en los recortes de perforación.

La destilación a baja temperatura conduce a la vaporización del agua y el aceite, los cuales posteriormente pueden ser condensados y separados. A bajas temperaturas el aceite no se fracciona y puede reusarse; sin embargo, estas temperaturas no rompen los lodos base aceite más viejos, incluyendo los que están asociados a los recortes más viejos recuperados del fondo del mar. El calentamiento para que suceda la destilación puede ser de forma indirecta en una cámara rotatoria, o de forma directa en una estufa. Una vez que los compuestos orgánicos son volatilizados pasan a la siguiente etapa en donde ocurre la condensación y separación. A altas temperaturas sucede una conversión termo-mecánica y rompimiento de los compuestos orgánicos; cuando los recortes son sometidos a destilación a altas temperaturas los hidrocarburos contenidos son fraccionados.

Tecnologías de Tratamiento

- Tecnología de fraccionamiento y conversión termo-mecánica (TCC).

Esta tecnología es única si se compara al resto de los procesos por su forma de transferirle calor al recorte. La unidad de reacción es similar a un molino de martillos, en donde el calor es generado en los recortes por medio del golpeteo de los martillos y la fricción de los propios recortes. Esta tecnología funciona para el tratamiento de los recortes de perforación, por que el golpeteo de los martillos y el movimiento de los recortes, en conjunto, rompen las partículas y capilaridad, reduciendo así la tensión superficial en los sólidos, lo que favorece la evaporación del fluido.

Lo más sobresaliente de esta tecnología es que convierte un residuo peligroso (por ejemplo recortes base aceite) en un material no peligroso con menos del 0.01% de hidrocarburos como residuo del proceso.

- Desorción Térmica.



Esta es una técnica que se usa para vaporizar los contaminantes orgánicos peligrosos y de esta forma separarlos de los materiales sólidos a los cuales se encuentran adheridos o absorbidos. Las principales operaciones del tratamiento son: manejo y alimentación, desorción térmica, condensación y separación, tratamiento de humos y manejo de residuos sólidos. En el proceso de desorción térmica hay parámetros claves en la operación: alta temperatura, calentamiento uniforme y

mezclado que facilitan la remoción de los compuestos orgánicos de hidrocarburos en los recortes de perforación a hidrocarburos en forma vaporizada.

El tipo de calentamiento usado para el proceso puede ser calentamiento convectivo por medio de gas caliente, calentamiento por radiación infrarroja, y calentamiento conductivo a través de una superficie caliente. Los recortes se

calientan indirectamente en un tambor rotatorio usando gas o aceite caliente. Los gases de combustión para el calentamiento pueden ser proporcionados por una cámara de combustión o quemador.

De este tratamiento se tienen residuos sólidos y gaseosos que tienen que tratarse posteriormente dependiendo del proceso utilizado. Por ejemplo, para este caso se necesita condensador para los hidrocarburos y el agua, y posteriormente un proceso de separación. Por otra parte, los lodos de perforación base aceite pueden recuperarse y reusarse, y el agua puede recircularse al sólido para facilitar el control de los polvos generados.

Hay similitudes entre este proceso y el seguido para destilación (ej. Vaporización del hidrocarburo, seguida por condensación y separación), la principal diferencia se presenta en la especificación del equipo usado, y en algunos casos las condiciones de operación. Actualmente en el Reino Unido, varias empresas están usando la tecnología de desorción térmica para tratar los recortes de perforación.

- Solidificación/Estabilización.

La solidificación/estabilización se refiere a la mezcla de recortes de perforación con material inerte para fijar algunos materiales potencialmente peligrosos, presentes en los recortes, y formar una masa estable. Con esto se disminuye la posibilidad de lixiviación en los rellenos a donde se envíe la masa o en algún uso posterior.

Existen varios procesos que pueden llevarse a cabo para solidificar o estabilizar los recortes de perforación. Uno de los procesos implica la mezcla de recortes con una carpeta de asfalto; esta masa debe mezclarse perfectamente, para que todas las partículas sean cubiertas por la emulsión. El producto de esta mezcla es compactado para formar un material inerte el cual se usa en la construcción de carreteras y pistas de bicicletas, entre otras.

Otro de los procesos implica la mezcla de recortes con PFA (que previamente se mezcló con agentes estabilizantes) para formar un sólido inerte con consistencia de tierra para jardín que se envía a relleno sanitario.

- Incineración.



La incineración requiere de plantas diseñadas para alta temperatura, este tratamiento se realiza a residuos orgánicos altamente tóxicos, flamables y/o resistentes a degradación biológica en rellenos sanitarios. Una vez realizada la incineración se tiene un residuo sólido o ceniza, el cual puede disponerse en un relleno. Muy importante es el hecho

de controlar las emisiones generadas en el proceso, ya que algunos sistemas de incineración generan dioxinas.

En Noruega existe una compañía, Slovak Industriservice, que lleva a cabo la incineración para tratar los recortes de perforación base aceite. Como los requerimientos de energía están directamente relacionados al contenido de agua del material a incinerar, los costos para la incineración de los recortes de perforación, los cuales presentan alto contenido de agua, serán más altos que para materiales con bajo contenido de agua.

Slovak Industriservice usa un horno de combustión tipo lecho fluidizado. En la cámara de combustión el aire es soplado a alta velocidad sobre una cama de arena en el fondo de la cámara de combustión, y al quemarse el residuo se forma el lecho fluidizado. La temperatura en la parte inferior de la cámara de combustión es de 500 a 800°C. Los gases residuales de la combustión se conducen a un proceso de limpieza que incluye una caldera, filtro multiciclón y una unidad de limpieza del gas donde el calor, cenizas, polvo, ácido clorhídrico y dióxido de azufre se separan antes de emitirse. Por otro lado, el producto inorgánico generado en la combustión se dispone en un relleno sanitario (la mayoría de los

compuestos orgánicos son destruidos, y el material residual es básicamente de tipo inorgánico). Análisis realizados al residuo seco indican alto contenido de bario, azufre, fierro y aluminio. Algunos metales se han encontrado en altas concentraciones, entre los que figuran plomo, cobre, nickel, estaño, zinc y estroncio. Las pruebas de toxicidad a este residuo seco indican que la ceniza de la combustión de los recortes de perforación es tóxica. Sin embargo, es posible reusar el remanente material inerte.

Otra opción de tratamiento es la incineración de los recortes en horno de cemento. En Noruega estos hornos, con sistemas especiales de control de emisiones, son usados para incinerar residuos orgánicos peligrosos. El contenido orgánico se usa como fuente de energía, mientras que los sólidos incinerados quedan en el cemento. Sin embargo, aspectos como bajo contenido de aceite, alto contenido de agua y alto contenido de cloro, pueden restringir a este tratamiento. Se sugiere en el Reino Unido que el contenido de aceite en el recorte no sea menor al 10%, y el costo del tratamiento se considera entre 70-80 libras/ton.

- Tratamiento Biológico.

El tratamiento biológico es la degradación microbiana del residuo con técnicas específicas para la corriente residual a tratar. En el tratamiento biológico no hay degradación de la materia inorgánica, por lo que es necesario realizar tratamiento físico o químico si se quiere la degradación del material inorgánico.

Existen en el mercado bacterias desarrolladas con capacidad para degradar amplio rango de residuos orgánicos, incluyendo compuestos clorados e hidrocarburos. Estas bacterias han evolucionado al grado de tolerar metales pesados y degradar compuestos orgánicos tóxicos.

La bioremediación puede acelerar la descomposición natural de los contaminantes si se controlan parámetros como oxígeno, temperatura, humedad y nutrientes.

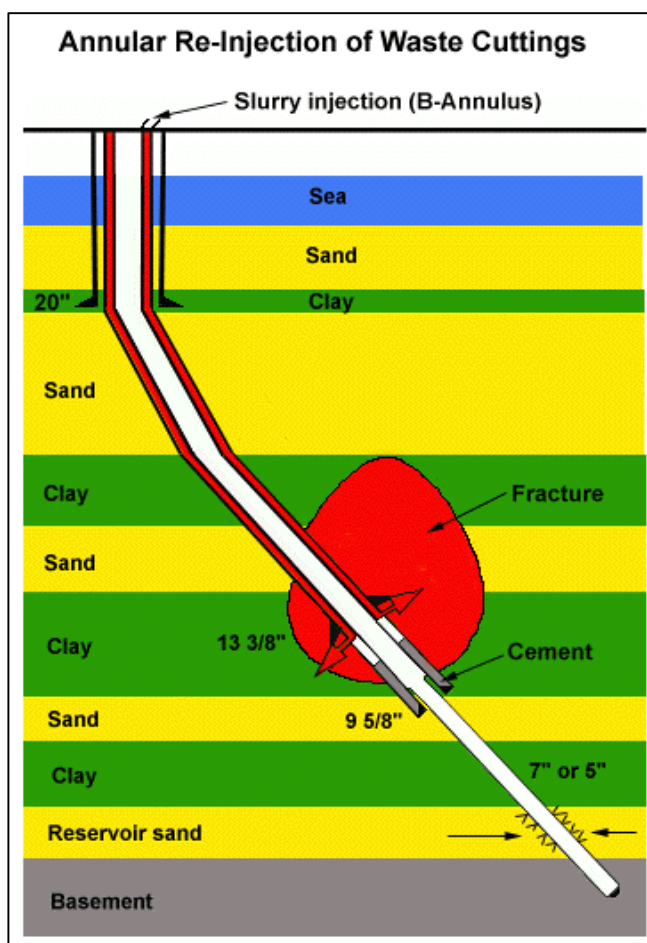
A pesar de que los tratamientos biológicos se llevan a cabo para una variedad de residuos, para el caso aplicado de los recortes de perforación no es común. La dificultad radica en el hecho de que el sistema biológico es muy sensible a cambios físicos y/o químicos del residuo, aspecto que esta presente en los

recortes, ya que la composición y calidad que del recorte varía dependiendo de la zona de perforación y tipos de fluido de perforación usado.

En Noruega solamente Slovac Industriservice tiene planta de tratamiento biológico para los recortes de perforación, en donde además cuenta con el sistema de incineración de la biomasa generada por la degradación biológica.

Tecnologías de Disposición

- Reinyección de recortes.



La reinyección de recortes implica la práctica de inyectar los recortes de perforación en uno de los estratos geológicos, utilizando la sección anular de la tubería de revestimiento. Los recortes son mezclados con agua de mar, molidos y bombeados por la sección anular de la tubería de revestimiento. Existe un tanque de almacenamiento entre la operación de molido y bombeado, el cual actúa como amortiguador de niveles para un bombeo constante. La reinyección no implica la perforación de pozos especiales o la instalación extra de tubería. La reinyección se puede llevar a cabo

in-situ o en centros de inyección. La posibilidad de reinyectar in-situ depende de las características geológicas del lugar como presencia de domos salinos y/o domos de piedra caliza, esta información se puede obtener de los registros de perforación exploratoria. La profundidad de la reinyección depende de la posibilidad de encontrar un estrato geológico adecuado para la disposición de los

recortes en el cual se evite el crecimiento de la fractura utilizada para la disposición. Las profundidades que se han utilizado actualmente oscilan desde los 3000 hasta los 6,500 ft. En el caso de Estados Unidos cuenta con dos compañías que proveen de dicho servicio una de las cuales cuenta con tres centros de reinyección localizados en el estado de Texas con una capacidad total de 1×10^9 barriles y en vías de crecer a los estados de Lousiana y Mississippi. Por otra parte de las 14 empresas operadoras en el Golfo de México cuatro de ellas presentan reinyección in-situ con un 5 – 50 % del total de los recortes reinyectados. Se estima que a nivel mundial del 10 al 20 % de los recortes base aceite son reinyectados en instalaciones de reinyeccion in-situ y en centros de reinyección. La literatura considera la opción de reinyección como una alternativa de cero impacto. Algunas complicaciones menores que se han presentado han sido la imposibilidad de fracturar ciertos estratos geológicos, taponamiento prematuro de la sección anular, problemas de transporte, paros mecánicos y problemas en el molido.

- Dispersión en Campo.



La dispersión en campo implica la práctica de disponer en forma homogénea y permanente (dispersión) en suelos los recortes de perforación con concentraciones de aceite superiores al 10 % en peso. La aplicación de recortes se lleva a cabo a razón de 15 – 60 toneladas por hectárea sobre terrenos con condiciones de humedad y temperatura que favorezcan la

biodegradación de los hidrocarburos, por microorganismos nativos del medio. Los resultados han mostrado que la biodegradación no es total quedando aproximadamente un 10 % del total de hidrocarburos. Esta práctica se ha llevado a cabo tanto en Estados Unidos, Francia y el Reino Unido. El Reino Unido

presenta un total de 182 sitios disponibles para disposición (confinamiento y dispersión en campo), de los cuales solo 3 presentan las características necesarias para la dispersión en campo. Esta técnica ha presentado problemas de reducción en la fertilidad de los terrenos, filtración al subsuelo y baja biodegradabilidad en lugares fríos. Actualmente se rige bajo las mismas regulaciones consideradas para sitios de confinamiento. Se considera una alternativa con alto potencial de problemas con la sociedad. Los Estados Unidos presenta la dispersión en campo con la variante de remover del suelo los recortes ya que estos presentan las características suficientes para poder ser depositados en rellenos sanitarios, a dicha variante se le conoce como “landfarming” que se podría traducir como tierra de cultivo.

- Confinamiento de Recortes.

La práctica de confinamiento involucra la actividad de enterrar bajo previo diseño los recortes de perforación en forma indefinida. No importa que tratamiento hayan tenido los recortes previamente, todos ellos acabaran en algún tipo de confinamiento. Los confinamientos se dividen en función del tipo de residuos a enterrar, existiendo dos categorías básicas: confinamiento de residuos no peligrosos (rellenos sanitarios) y confinamiento de residuos peligrosos. Las diferencias entre ambos tipos de confinamiento involucran modificaciones en los sistemas de captura y tratamiento de lixiviados, captura y tratamiento de emisiones, tipo y número de membranas impermeables, tipo de suelo, sistema de estabilización, etc. En Inglaterra existen 50 sitios de confinamiento, los cuales están capacitados para recibir residuos con aceite. El porcentaje máximo de aceite que dichos sitios pueden aceptar es del 2 al 35 %, dependiendo de las características del sitio y confinamiento. Por otra parte, países como Noruega cuentan con una legislación mucho más estricta. En Noruega existen un gran número de sitios de confinamiento, sin embargo, solo el 50% presentan la infraestructura adecuada para la disposición de residuos con aceite y ninguno de ellos acepta recortes de perforación sin previo tratamiento (reducción en el contenido de aceite). Cualquier residuo con un contenido de aceite superior al 1% es considerado “Residuo Especial” y por lo tanto, requiere de un tratamiento antes

de poder ser confinado. Los diferentes tratamientos reducen el contenido de aceite a un rango entre 0.01 y 0.5 %. Residuos con dicho contenido de aceite pueden ser dispuestos en un relleno sanitario de acuerdo a la legislación Noruega. Cuando el residuo presenta un contenido de aceite entre 0.5 y 2.0 % este no puede ser dispuesto en relleno sanitario y es mandado a tratamiento. Para residuos con contenidos de aceite superiores al 2.0 %, estos residuos no pueden ser confinados en ningún lugar de Noruega y por lo tanto son incinerados o exportados. En los Estados Unidos, aproximadamente del 50 al 100 % de los recortes base aceite son transportados a tierra para unirse con los recortes de perforación costa-dentro. Del 100 % de los recortes acopiados un gran porcentaje se disponen en campo para su biodegradación y posterior confinamiento en relleno sanitario. El resto de los recortes son estabilizados mediante agentes solidificantes y aglutinantes para su posterior confinamiento en relleno sanitario.

SITUACIÓN ACTUAL EN MÉXICO

En México la legislación ambiental no contemplo desde sus inicios a las actividades petroleras de perforación dentro de sus ramos industriales legislados. Esto trajo como consecuencia el diseño de tecnologías y actividades de perforación sin tomar en cuenta el potencial impacto ambiental. Por ejemplo, existió un inadecuado manejo y disposición, mediante presas de terracería expuestas a la intemperie, para los recortes de perforación base aceite. Recientemente, debido a presiones externas e internas, la legislación ambiental mexicana fue modificándose, no siempre con el soporte técnico más adecuado para el desarrollo sostenible. A partir de 1993 se inician los primeros cambios por parte de PEMEX en las actividades de perforación incluyendo: Perforación direccional, reducción en el número y tamaño de presas, almacenamiento temporal de recortes base aceite en presas protegidas y modificaciones en el equipo de control de sólidos. El cambio responsable condujo a la necesidad de clasificar los recortes de perforación con base en sus características de peligrosidad y de acuerdo a la Norma NOM-052-ECOL96, dentro de la que **por definición** y no por sus características, se clasifico a los recortes de perforación base aceite como **Residuos Peligrosos**. Esta clasificación conlleva una serie de

manejos especiales que presentan un determinado efecto en la economía, medio ambiente y sociedad (Desarrollo Sostenible). La consecuencia fue que a partir de 1995 se incursionara en el ámbito de los procesos de saneamiento de recortes de perforación impregnados con hidrocarburos. Se trabajó al inicio con bioremediación, encapsulamiento y confinamiento, con resultados no muy satisfactorios desde el punto de vista ambiental y económico. En Noviembre de 1998 la legislación mexicana emitió la Norma NOM-115-ECOL-98 que rige las actividades de perforación en tierra. Asimismo, a principios de 1999 Pemex publica el lineamiento interno No. PEP/ASIPA-L-001/99 que establece los requerimientos en materia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental que deberán cumplir las localizaciones y equipos para la perforación de pozos, así como el abandono del sitio. Basados en esta normatividad y lineamiento, se lleva a cabo el “Proyecto Integral Ecológico Cero Descargas”, con el objetivo de eliminar las descargas de contaminantes durante las actividades de perforación y terminación de pozos. En éste proyecto, se han manejado de manera integral elementos como: Instalación de geomembranas, tratamiento de aguas residuales y aguas negras, deshidratación de recortes base agua, contenedores de derrames y manejo, tratamiento y disposición de recortes de perforación base agua y aceite. A la fecha, se han probado otras técnicas como la incineración y desorción térmica con mejores resultados ambientales, pero con un alto costo económico.

En la búsqueda continua de mejores prácticas y tecnologías de perforación, han surgido inquietudes que han dado origen a proyectos de la Gerencia de Perforación y Mantenimiento de Pozos. El presente trabajo forma parte de las mencionadas inquietudes, presentando la problemática de los recortes de perforación base aceite, así como la propuesta de cambio en reglamentación en función de las nuevas tecnologías y situaciones que rigen la perforación de petróleo en nuestro país.

CONCLUSIÓN

En función de los antecedentes tecnológicos, la situación actual de la perforación petrolera en México y la mejor intención de repercutir en una forma positiva en el

desarrollo sostenible de nuestro país, se presenta a continuación la conclusión en la propuesta de cambio en reglamentación para recortes de perforación.

Los recortes de perforación deben ser clasificados como un residuo especial y su manejo y disposición debe definirse de acuerdo con las características químicas, toxicológicas y biológicas del recorte. El recorte debe ser caracterizado en función del contenido de total de hidrocarburos poliaromáticos, su toxicidad en sedimentos y su velocidad de biodegradación. Aquellos recortes que presenten contenidos de hidrocarburos poliaromáticos inferiores a 10 ppm, toxicidad sobre organismos en sedimentos inferior a la obtenida por Olefinas C_{16} - C_{18} y biodegradación igual o superior a la obtenida por Olefinas C_{16} y C_{18} , podrán ser dispuestos en el mar directamente o en rellenos sanitarios, en el caso de recortes de perforación terrestre. Aquellos recortes que no cumplan con alguna de las características antes mencionada, deben ser considerados bajo el concepto de residuo peligroso con todas sus implicaciones en manejo y disposición.

La presente propuesta de reglamentación favorecerá la tendencia al cambio de lodos de perforación base aceite (diesel) por lodos de perforación base aceite sintético. Facilitará los trámites para la reinyección de los recortes de naturaleza peligrosa cuando las zonas geológicas lo permitan y favorecerá el manejo rápido y simplificado de los recortes no peligrosos, descargándolos en mar (instalación marina) y/o mandando a relleno sanitario (instalación terrestre).

El efecto económico en la modificación en la reglamentación, generará ahorros en el manejo, tratamiento y disposición que podrán ser utilizados para la inversión en lodos de perforación sintéticos con un menor impacto ambiental. La futura reducción en el costo de los lodos base aceite sintético por cuestiones de competitividad, podrá influir en la descarga de los recortes en el mar, pudiendo ser rentable su transportación a tierra y disposición en relleno sanitario.

Finalmente, la modificación en la reglamentación, generará un beneficio para el desarrollo sostenible de nuestro país al mejorar las condiciones económicas del

ramo de perforación petrolera, las condiciones ambientales de la zonas de yacimientos y por ende la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA

1. EPA-821-B-98-021, Development Document for Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for Synthetic-Based Drilling Fluids and other Non-Aqueous Drilling Fluids in the Oil and Gas Extraction Point Source Category., Febrero de 1999.
2. Research Report No. 31, Center for Environmental Risk, Drill Cutting Piles in the North Sea: Management Options During Plataform Decommissioning, ISBN 1 873933 11 8, Octubre de 1999.
3. Phillips Petroleum Company Norway, EPOKE No. 6, Search for best cuttings solutions, Junio de 1999.
4. United Kingdom Offshore Operations, Report No. 99-4029, Drill Cuttings R&D Program Impact from Onshore Disposal- Study item 7.1, Enero del 2000.
5. NOM-115-ECOL-1998. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación de pozos petroleros terrestres para explotación y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.
6. NOM-052-ECOL-1993. Norma oficial Mexicana, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.