

PROCESOS DE REMEDIACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN AMBIENTES DE BAJA PERMEABILIDAD

Kruse Eduardo¹, Ainchil Jerónimo¹, Selenco Jorge²

¹**Universidad Nacional de La Plata**

²**Repsol YPF**

Email: jero@fcaglp.edu.ar

SINOPSIS

Se analizan alternativas de procesos de remediación de aguas subterráneas en un ámbito llano en el cual los niveles freáticos se encuentran a escasa profundidad y alojados en sedimentos de muy baja permeabilidad. Estos valores bajos de permeabilidad de los materiales que se encuentran próximos a la superficie y el predominio de movimientos verticales del agua hacen que el transporte de contaminantes (hidrocarburos, metales pesados) sea sumamente lento, lo cual confina arealmente los problemas de contaminación a las proximidades de las posibles fuentes de emisión.

La instalación y operación de una red de monitoreo resulta fundamental para la caracterización y el seguimiento de la contaminación, ya que la información obtenida permite detectar variaciones naturales y antrópicas, así como efectuar predicciones acerca del comportamiento de las aguas subterráneas frente a distintas acciones que afectan su dinámica y calidad química.

Además a partir de la interpretación de los datos que brinda la red de monitoreo es posible planificar y diseñar los procesos de remediación que resulten más adecuados para eliminar los problemas de contaminación en el agua subterránea.

En el trabajo se analiza la utilización de trincheras y de la extracción por vacío en un ambiente como el descrito para el control de la contaminación de hidrocarburos en las aguas subterráneas.

1- INTRODUCCIÓN

En los ambientes llanos adquieren significación los procesos de infiltración que se producen aún en terrenos de muy baja permeabilidad. Como consecuencia de ello, los vertidos a la superficie que se generan en los procesos industriales, se propagan verticalmente y pasan a formar parte del flujo subterráneo. Ello es favorecido por ser frecuente la existencia de un escaso espesor de la zona no saturada. Esta situación adquiere un interés especial en la contaminación por derivados del petróleo, que se pueden producir por fugas de depósitos, ductos, vertidos accidentales, etc. A su vez el predominio de los movimientos verticales de los líquidos, asociado a la baja permeabilidad del material hacen que el transporte sea sumamente lento y su propagación dificultosa.

La remediación de un sitio de estas características, cuyas aguas subterráneas se encuentran afectadas por la presencia de hidrocarburos implica el desarrollo de distintas etapas y procedimientos que posibilitan controlar el movimiento de la pluma, la recuperación de los hidrocarburos y la disminución de los disueltos en el agua.

Dadas las características mencionadas, el objetivo de este trabajo es analizar los procedimientos más adecuados a emplear para la remediación de las aguas subterráneas afectadas por la presencia

de hidrocarburos libres o disueltos en este tipo particular de ambientes de baja permeabilidad, que son frecuentes en distintas zonas de nuestro país.

2-DESARROLLO

Las experiencias realizadas se refieren a una región donde los procesos de urbanización e industrialización han originado modificaciones en las condiciones naturales afectando a los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Se trata de un ámbito llano con gradientes topográficos medios de 0,5 m/km, constituyendo un relieve monótono y mal drenado, donde prácticamente no se reconocen las divisorias de aguas superficiales.

En superficie predominan materiales arcillosos y limos arcillosos de colores grises o verdosos, representando una unidad de baja permeabilidad. Las características de estos materiales que se encuentran próximos a la superficie del terreno, incluyendo sus propiedades hidráulicas y su ubicación geomorfológica tienen influencia directa en las posibilidades de escurrimiento, infiltración del agua precipitada y el transporte de posibles contaminantes hacia el agua freática. De acuerdo a lo reconocido estos sedimentos extremadamente finos pueden estar cubiertos por materiales de relleno, con espesores variables, que en algunos casos superan los 3 m. En general se trata de un material predominantemente limoarcilloso, con intercalaciones calcáreas, mezclados en algunos sitios con materiales de construcción, que no modifican sustancialmente la condición general de una baja permeabilidad relativa.

En este ambiente, el desarrollo de industrias vinculadas con el petróleo ha generado contaminación sobre el suelo, tanto por operaciones pasadas o por accidentes, que pueden llegar a afectar a las aguas subterráneas, que se encuentran a escasa profundidad (entre 1 y 3m). Si bien la calidad natural de esta agua no las hace aptas para consumo ni para uso industrial en la zona, la posible presencia de hidrocarburos en la capa freática, puede ser un indicador del impacto negativo de las operaciones de la industria.

En general, debido a la falta de un conocimiento hidrogeológico adecuado fue necesario encarar el problema de la afectación de las aguas subterráneas según distintas escalas de trabajo. En una escala regional para considerar un área mayor que la ocupada por el predio industrial con la finalidad de evaluar el comportamiento general de las aguas subterráneas. En este caso la red de monitoreo instalada se basó en las características físicas del sistema hidrológico (áreas de recarga – áreas de descarga). Este sistema permite el seguimiento de las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas de las aguas subterráneas, incluyendo a zonas no afectadas por la actividad industrial.

Una vez definidas áreas críticas que se encuentran contaminadas se deben emprender acciones tendientes a eliminar los productos contaminantes. Los pozos se deben ejecutar en sitios considerados críticos, ya sea por la cantidad y tipo del contaminante y por el riesgo que implican. Estos pozos deben utilizarse para realizar ensayos y determinación detallada de parámetros hidráulicos, selección de tecnología a emplear y para el diseño de la ingeniería básica a usarse para la eliminación de la contaminación. A su vez deben ser de utilidad para definir la eficiencia de la obra.

A posteriori de la evaluación del sitio afectado se han seguido las siguientes etapas: establecer las fuentes de origen, evaluar las alternativas de remediación y selección del método más adecuado en el sitio específico, diseñar e instalar el sistema de remediación, mantener y monitorear el sistema y realizar de ajustes necesarios en el proceso de remediación.

Sistemas de recuperación

Los métodos de recuperación de hidrocarburos que se han considerado más adecuado para el ambiente llano y de baja permeabilidad descrito incluyen como principales procedimientos la extracción del producto sobrenadante mediante los sistemas de trincheras y de vacío.

a- Trincheras

Las experiencias obtenidas en los ámbitos estudiado han demostrado la utilidad de las trincheras especialmente cuando el nivel freático se sitúa a escasa profundidad y en materiales de baja conductividad hidráulica. Las mayores limitaciones se relacionan con la profundidad que deben alcanzar y la disponibilidad de espacio para su instalación. Además resulta ser favorable en materiales heterogéneos donde la migración del fluido puede producirse por zonas preferenciales tales como capas discontinuas de mayor conductividad hidráulica.

El análisis de los registros de fluctuaciones de los niveles y los ensayos de bombeo asociados a las características hidrogeológicas e hidrodinámicas obtenidos de las redes de monitoreo fueron los elementos tenidos en cuenta para evaluar la factibilidad y probable diseño de la trinchera.

Las trincheras pueden tener hasta aproximadamente 100 m de longitud, siendo excavadas a una profundidad que varía entre 3 y 4 m, lo cual se encuadra en las fluctuaciones de los niveles freáticos reconocidas. En general se trata de una excavación relativamente angosta (del orden de 50 cm) hasta las profundidades indicadas. De acuerdo a las características litológicas del material atravesado, en el diseño se sugiere la colocación de grava y cubierta en la parte superior por terreno natural. Las variaciones en los gradientes hídricos posibilitan la conducción pasiva del fluido hacia una cámara, de donde se efectúa el bombeo del producto hacia un sistema de separación. Para este procedimiento también puede utilizarse un sistema de bombeo doble controlado por sensores para permitir el bombeo del agua por un lado y para recuperar el producto libre por el otro.

La estimación preliminar del caudal que puede escurrir hacia la trinchera surge de la relación entre la transmisividad del medio, el gradiente hídrico en la zona de aporte y la longitud total de la trinchera. La probable heterogeneidad del material en el subsuelo puede producir aumentos o disminución de la conductividad hidráulica y por ende de la transmisividad del medio.

b- Extracción por vacío

Esta técnica se basa en la recuperación de líquidos y gases desde pozos generando un vacío para su recuperación y la remoción de vapor del suelo. De esta forma se produce una combinación de extracción de líquidos por bombeo con extracción de vapores

Por esa razón el sistema de recuperación por vacío (Dual Phase Vacuum Extraction) tiene por finalidad además de recuperar el hidrocarburo sobrenadante, facilitar la oxigenación del terreno, estimulando a la biodegradación de los combustibles adsorbidos en las partículas del suelo y favorecer la biodegradación de los compuestos disueltos en el agua.

La instalación del sistema implica definir el diseño de captación y extracción. Las experiencias llevadas a cabo en áreas relativamente pequeñas permiten la extracción a un caudal continuo y reconocer la influencia en la depresión del nivel freático. Además se observa la disminución del producto libre sobrenadante, inmediatamente después de iniciado el bombeo. La tasa de recuperación está directamente relacionada al tipo de litología que presenta una porosidad efectiva muy baja.

Es posible diseñar una batería de pozos de extracción (aproximadamente 10), cuyo radio de influencia es del orden de 10 m. Estos radios de influencia están directamente relacionados con el tipo de equipamiento utilizado, las presiones y el caudal de extracción. El sistema está compuesto

por los pozos de extracción que cuentan con un válvula que permite su operación individual y cañerías colectoras que vinculan los pozos.

Como consecuencia de la aplicación de vacío, se genera una corriente compuesta por agua, hidrocarburo en fase líquida y gaseosa. Esta corriente es separada en primera instancia en sus fases líquidas y gaseosas. La corriente líquida es separada en agua – producto. El producto recuperado es almacenado en tanques, en tanto que el agua es tratada y volcada en los efluentes industriales. Las ventajas del sistema se asocian a una recuperación rápida del producto asociadas a una zona de influencia.

c- Atenuación natural monitoreada

Los sistemas descriptos permiten una recuperación relativamente rápida del producto en fase libre. Con estos sistemas, en un tiempo de operación razonable pueden alcanzarse importantes niveles de limpieza, pero en todos los casos se registra un remanente que puede quedar presente en forma de sheen (película) o aparecer al tiempo de discontinuar la operación. Para esta última fase, si las condiciones del medio lo permiten puede realizarse un monitoreo de la atenuación natural. La atenuación natural aprovecha procesos naturales para contener la contaminación y reducir la concentración y la cantidad de contaminantes en los lugares afectados. La atenuación natural, conocida también como medidas correctivas intrínsecas, bioatenuación o biocorrección intrínseca, es un método de tratamiento in situ. Estos procesos presentan diferencias en cuanto a la celeridad y a la eficacia según el tipo de contaminante y las características físicas, químicas y biológicas del suelo y del agua subterránea. Los procesos de atenuación natural que resultan de interés son aquellos que pueden reducir la masa del contaminante (por medio de procesos destructivos tales como biodegradación y transformaciones químicas).

La biodegradación es un proceso en el cual los microorganismos naturales descomponen o degradan sustancias peligrosas, transformándolas en sustancias menos tóxicas o inocuas. La biodegradación puede producirse en presencia de oxígeno (en condiciones aeróbicas) o sin él (en condiciones anaerobias). En la mayoría de los entornos subterráneos se produce la biodegradación de contaminantes tanto en forma aeróbica como en forma anaerobia. Los microorganismos descomponen los contaminantes orgánicos en productos inocuos, principalmente dióxido de carbono y agua en el caso de la biodegradación aeróbica. Una vez degradados los contaminantes, la población de microorganismos disminuye porque ha agotado su fuente de alimentos. Los microorganismos muertos o una población pequeña de microorganismos sin alimentos no presentan riesgo de contaminación.

CONCLUSIONES

La existencia de áreas contaminadas con hidrocarburos en fase libre o disuelta en el agua subterránea en ambientes llanos con una permeabilidad muy baja, con la presencia de niveles freáticos a escasa profundidad requiere emprender acciones tendientes a eliminar los productos contaminantes. Es necesario una evaluación del sitio afectado y establecer las fuentes de origen de los hidrocarburos. De acuerdo a las características definidas se deben evaluar las alternativas de remediación y selección del método más adecuado en el sitio específico, diseñar e instalar el sistema de remediación, mantener y monitorear el sistema y realizar los ajustes necesarios en el proceso de remediación.

Las experiencias realizadas en ambientes con las características mencionadas indican que los métodos de recuperación de hidrocarburos más adecuados son aquellos relacionados con sistemas de trincheras y de vacío.

Las trincheras constituyen una metodología que ofrece resultados cuando el objetivo es reducir el volumen de hidrocarburos sobrenadante en la capa freática en el subsuelo de un predio y mantener un control de su evolución para evitar su migración hacia zonas vecinas.

Los sistemas de extracción por vacío se asocian a una recuperación rápida del producto para posibilitar la eliminación de la contaminación en una zona afectada. Los beneficios están directamente relacionados con la reducción de los impactos negativos de la actividad industrial en los recursos suelo y agua, y con la prevención de aquellos que se podrían generar a posteriori por el flujo de agua subterránea en zonas adyacentes al predio.

Aparece como etapa final y complementaria de las anteriores un monitoreo de la atenuación natural, si las condiciones del suelo, subsuelo y agua subterránea permiten el desarrollo de los procesos naturales de eliminación de contaminantes.