MODELIZACION DEL DESPLAZAMIENTO DE BTEX EN UN ACUÍFERO POR LA RUPTURA DE UN TANQUE DE GASOLINA EN LA ZONA DE ALICANTE

[1]María Fernanda León Carrera, [2]Galo Montenegro, [3]Juan Llamas Borrajo

[1]Ingeniero Geólogo, 2001
[2]Director de tesis. Ingeniero Geólogo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1981, Programa de doctorado conjunto ESPOL-ETSMIN, 1998.
[3]Director de tesis. Doctor en Geoquímica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, Director del Departamento del ETSMIN.

RESUMEN

En este Proyecto Fin de Carrera se ha realizado un estudio de la contaminación de un acuífero al romperse un tanque de gasolina en una zona de Alicante, usando un programa que simula el comportamiento del hidrocarburo en el subsuelo y el acuífero transcurrido un tiempo definido por el operador.

El programa utiliza los datos de las propiedades del suelo, del acuífero y del combustible que fueron obtenidos por sondeos y análisis en el laboratorio. Los resultados gráficos muestran el desplazamiento del hidrocarburo por número de días y permite determinar las concentraciones de los BTEX en el acuífero y hasta dónde llega el alcance de la contaminación.

Además se presenta el paso siguiente en este estudio que es la valorización de riesgos que consiste en aplicar diferentes pasos que conduzcan a la toma de decisiones adecuadas para la remediación de la contaminación, estos pasos son: la evaluación de los efectos, evaluación de la exposición y caracterización de riesgos.

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se estudia el comportamiento del hidrocarburo cuando es liberado desde la superficie, su desplazamiento en el subsuelo y la disolución de sus componentes cuando alcanza el acuífero transcurrido un tiempo. Para ello se estudió la zona de Alicante donde ocurrió la ruptura de un tanque de gasolina basándose en el trabajo del Ing. Juan Ramón Garín que estudió dicha zona pero con otros fines.

Al definir el problema, se estudiaron las propiedades del suelo que condiciona el movimiento del hidrocarburo, además se tenía que conocer como fue liberado el hidrocarburo, determinar fechas, transporte y tasas de transformación de contaminantes en el suelo, se analizó el área para definir el radio de influencia del contaminante, el volumen del tanque y junto con los datos de los sondeos hechos para detectar la presencia de hidrocarburos sobre la tabla de agua fue posible obtener los datos necesarios para la simulación.

Otro elemento dentro del problema era el tipo de hidrocarburo, sus características y contenido en Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX), a su vez un número de fenómenos y parámetros que interactúan para determinar la concentración de estos constituyentes y la capacidad de disolución en el agua en los puntos receptores.

Cuando el hidrocarburo alcanza la tabla de agua, es el momento en que la dispersión del contaminante depende de las características del acuífero y del tiempo de permanencia del combustible. Por ello es necesario conocer el comportamiento del acuífero basándonos en sus propiedades de transporte y de solubilidad para receptar los constituyentes químicos del hidrocarburo.

Para el análisis de la contaminación se realizó la simulación con un programa creado por el Laboratorio de Investigación Ambiental Rober S. Kerr perteneciente a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Este programa describe el comportamiento de contaminantes líquidos no acuosos más ligeros que el agua (LNAPL's) en el subsuelo y provee información de los niveles de contaminación en el tiempo, este programa es el Hydrocarbon Spill Screening Model y separa en módulos el avance del LNAPL en la zona vadosa o no saturada, la zona saturada y el transporte de los constituyentes químicos del LNAPL una vez alcanzada la lámina de agua.

Los resultados gráficos del programa permiten hacer el análisis de la contaminación y definir su avance transcurrido un tiempo, para posterior estudios de remediación en un área establecida o para realizar un análisis de riesgos debido a la concentración de los BTEX en agua, suelo, plantas, etc.; es decir, poder definir el peligro de una sustancia de acuerdo al grado de toxicidad, niveles de exposición y gravedad de afección utilizando técnicas específicas para dicho análisis o programas informáticos que modelicen la realización de las diferentes etapas de valoración de riesgo con el fin de tomar una decisión y realizar las acciones correctores necesarias. Finalmente se realiza con las concentraciones de los contaminantes, la valoración del riesgo cuya metodología para determinar si las condiciones del medio son peligrosas para los seres vivos, permite tomar decisiones ante el problema establecido.

CONTENIDO

La mayoría de los problemas de contaminación por hidrocarburos se debe a la manera en que son almacenados, el manejo de los combustibles y la eficacia del almacén; cualquiera de estos factores que no cumplan con las condiciones normales de funcionamiento generan vertidos y fugas. La causa fundamental de las fugas es el mal estado de los depósitos de combustibles debido a la corrosión interna o externa, le sigue los vertidos por manipulación incorrecta debido a la falta de supervisión y no-seguimiento de las normas de seguridad.

En la mayoría de los casos, las fugas se deben a corrosión interna por picaduras en depósitos subterráneos y cuya falta de control y mantenimiento generan vertidos de grandes volúmenes de combustible que no son detectados hasta que afloren en pozos cercanos.

El caso a estudiar ocurre en una instalación antigua cuya actividad consistió en el almacenamiento temporal, previo a su distribución en camiones cisterna. Actualmente todos los tanques existentes han sido desmantelados. Las manchas de hidrocarburo permitieron definir el alcance del mismo y la facilidad para realizar sondeos de investigación para la toma de muestras y adquisición de datos. La instalación fue creada hace 25 años y fue sacada del servicio y desmantelada hace 5 años, de acuerdo a un estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

(EPA) en 1986 estableció que la edad media de los tanques defectuosos era de 17 años, entonces se estudiará el problema considerando tiempo de derrame a partir de 2 años y un tiempo de 6 años de distribución del hidrocarburo desde que fue desmantelada.

Mediante el programa utilizado en este proyecto, se simula el comportamiento del combustible en todo el período de liberación y la posición que tiene actualmente, además de las concentraciones de los constituyentes químicos de interés en la pluma de contaminación.

El suelo es el sistema dinámico superficial de la corteza terrestre más usado por el hombre para su beneficio vital, económico y social; es un recurso muy explotado que en la mayoría de los casos no recibe la protección ambiental adecuada, limitando cada vez más su capacidad de uso y aprovechamiento.

El suelo es un sistema en equilibrio aparente que al ser modificado por la presencia de fluidos contaminantes como los hidrocarburos se ve desmejorado en su calidad y puede actuar como medio de transporte de dicho fluido invasor. La contaminación del suelo y sus manifestaciones son procesos a largo plazo y que afectan todo lo que se involucre con este recurso, entre ellos: aguas subterráneas, superficiales, vegetación y seres vivos.

¿Hasta qué punto el contaminante domina la situación?, esto depende del potencial de movilidad, biodispobilidad y permanencia en el suelo del contaminante que cambian de acuerdo al pH del suelo, humedad, cantidad de materia orgánica, presencia de minerales de arcilla y potencial REDOX, entre otros que se tratarán a continuación.

El conocimiento de las características del acuífero dentro del ciclo hidrogeológico en la zona de estudio revela la incidencia que tiene sobre cualquier otro fluido que interactúe con él, motivo por el cual se definirán parámetros hidrogeológicos con el fin de mostrar la importancia de las propiedades y leyes que rigen el flujo del agua subterránea y los procesos que dan a lugar a la interacción entre el contaminante y el acuífero.

Muchos de los fenómenos de movimiento de masas que es el caso a estudiar, se ven afectadas por las leyes que rigen los flujos de fluidos, como el agua. Los hidrocarburos en su mayoría tienden a moverse en la misma dirección que lo hace el acuífero de acuerdo a su gradiente hidráulico, en el caso de que el medio sea isótropo.

El petróleo o sus productos derivados son vertidos directamente sobre el suelo intencional o accidentalmente, su comportamiento depende de la composición química y de las propiedades físicas y químicas del mismo, como: solubilidad, punto de ebullición, densidad, entre otros, al llegar al suelo se puede desplazar por tres mecanismos que son: dispersión, disolución y advección.

Los componentes del petróleo pueden desplazarse, volatilizarse, adsorberse en granos del suelo y disolverse en un medio acuoso encerrado en los poros o en las aguas subterráneas. El movimiento del hidrocarburo al llegar a la tabla de agua, es uno de los puntos más importantes dentro de la simulación de su comportamiento, de acuerdo a las propiedades tanto del suelo como del acuífero mencionadas anteriormente, se podrán definir las dimensiones de los penachos de contaminación y las concentraciones en BTEX de los mismos.

Previo a la aplicación de diferentes métodos de remediación y recuperación de suelos y acuíferos es necesario conocer la magnitud del daño, es decir, las dimensiones de la pluma de LNAPL y las concentraciones de los constituyentes químicos en el acuífero, basándose en diferentes parámetros que afectan y caracterizan cada problema de contaminación.

Es indispensable para la simulación con diferentes programas que existen actualmente en el mercado, conocer mediante el muestreo de suelo y agua, las condiciones en tiempo presente del derrame del hidrocarburo, buscar esos indicios que existen en la zona para aplicar la modelización.

Toda simulación mediante programas, se basa en los datos recogidos en el campo, de ellos depende la veracidad de los resultados y la lógica de los mismos, además de las características del medio y del hidrocarburo que influyen grandemente en la modelización. En la mayoría de los casos, es factible tener pozos de control en zonas indicadas por el programa para tener un seguimiento constante de las condiciones normales del acuífero y del suelo.

El programa con que se trabaja en este proyecto es el Hydrocarbon Spill Screenning Model para Windows, el cual trabaja con los parámetros de cada medio en el que el hidrocarburo se desplaza, teniendo en cuenta las propiedades del mismo. Es un programa sencillo cuyos resultados gráficos permiten conocer rápidamente las concentraciones de BTEX existentes en tiempos definidos por el usuario.

De acuerdo a las características del área de estudio establecido en este problema y a los datos obtenidos de las muestras en los sondeos de observación, se ha podido complementar los requisitos para la modelización con el programa HSSM-WIN. Las propiedades del suelo se mantienen constantes, ya que se trabaja con un medio homogéneo, en cuanto al acuífero sus características provenientes de los sondeos muestran un comportamiento similar en toda el área de estudio, otra fuente de información corresponde a la base de datos que adjunta el programa de simulación.

Actualmente, la tendencia general es hacia una legislación ambiental que controle el riesgo. A efectos prácticos, esta tendencia se traduce en que ya son muchos los países que han introducido el análisis del riesgo como método legal para decidir cuando un suelo está o no está contaminado. El análisis de riesgos tiene como consecuencia inmediata el que no existan valores legales a partir de los cuales un terreno se considere como contaminado, independientemente de su naturaleza y de su uso.

En todo caso lo que algunas legislaciones están adoptando son valores de referencia por debajo de los cuales el terreno se considera como no contaminado y ya no sería necesario proseguir con ningún tipo de estudios. Estos valores se establecen para cada uno de los diferentes tipos de suelo, desde un tipo de vista geoquímico, existentes en el territorio. En aquellos casos en los que los valores obtenidos sobrepasen estos valores de referencia será necesario realizar un análisis del riesgo antes de determinar si se considera el terreno como contaminado o no contaminado.

Las metodologías de análisis del riesgo exigen tener en cuenta la exposición real de aquello que se quiere proteger. Ello implica que es necesario, por un lado, definir el objeto de protección que pueden ser, por ejemplo, las personas o el ecosistema; pero también requiere definir y tener en cuenta el uso a que va a destinarse el terreno. En efecto no es lo mismo que el terreno se vaya a dedicar al cultivo que a un uso residencial. En el primer caso el riesgo es que los contaminantes pasen a los cultivos y de ellos, por ingestión, a las personas; mientras que en el caso de un uso residencial el riesgo puede ser bien por inhalación o por ingestión directa, en el caso de los niños pequeños que jueguen con el suelo.

El resultado más inmediato de este tipo de enfoque, en lo que al proyecto se refiere se traduce en el hecho de que no existiría un valor inicial a partir del cual se pudiese considerar el terreno como contaminado. Sería necesario definir un uso, en este caso industrial o residencial, y el objeto de protección, en este caso la salud de las personas. Una vez fijadas estas premisas sería necesario calcular las dosis de exposición que recibirían las personas a partir del contenido de cada uno de los compuestos contaminantes presentes en el suelo. A partir de esta estimación de la dosis, se procedería a evaluar el riesgo. Actualmente existen muchos procedimientos que permiten conocer el riesgo de las concentraciones presentes en el agua y el suelo pueden ocasionar a los seres vivos, los más importantes son los ecotoxicológicos, estos procesos suponen conocer el alcance del contaminante, es decir que conocen el efecto global de los contaminantes presentes en los seres vivos y su biodisponibilidad.

El esquema general de la valorización de riesgos consiste en aplicar diferentes pasos que conduzcan a la toma de decisiones adecuadas para la remediación de la contaminación, estos pasos son: la evaluación de los efectos, evaluación de la exposición y caracterización de riesgos. Dentro de la evaluación de los efectos existen dos puntos importantes que son: la identificación del peligro y la estimación de la relación dosis/ respuesta. El hecho de identificar el peligro, se trata de conocer las propiedades intrínsecas de la sustancia, esto comprende, tener conocimiento de su toxicidad, bioacumulación y persistencia. Cuando se estima la relación dosis/ respuesta, se estima el nivel de exposición y la gravedad de la afección, es decir que permite conocer la concentración máxima que puede haber en el medio sin que se produzca ningún efecto adverso, esto es conocido como Predicted no-Effect Concentration, PNEC.

El segundo paso es la evaluación de la exposición que se realiza utilizando la concentración que aparece en cada compartimiento del medioambiente y se estima mediante la PEC (Predicted Environmental Concentration), usando información sobre la producción, destino, vías de exposición, propiedades físico químicas, entre otras. El tercer paso es la caracterización del riesgo al obtener el cociente entre la PEC y la PNEC, cuanto mayor sea la PEC, mayor será el riesgo y obviamente el cociente PEC / PNEC más grande.

CONCLUSIONES

La contaminación por hidrocarburos en el medio geológico, como lo es el suelo, o en el medio acuoso, como lo es el acuífero comprende diferentes procesos que se han podido constatar en el presente proyecto. El primer paso del contaminante durante su liberación, por el deterioro de una instalación de almacenamiento de hidrocarburos, en el suelo es que al atravesarlo se comporta de acuerdo a las características geológicas del mismo, como la porosidad y la permeabilidad, en cuanto a sus propiedades físicas; y pH, materia orgánica y oxidación reducción como propiedades químicas.

Una vez que atraviesa el suelo, llega al acuífero, punto de estudio en este proyecto, el combustible liberado es considerado como un hidrocarburo ligero, es decir que flota sobre la lámina de agua, y en base al gradiente hidráulico y fuerzas de capilaridad, así como la saturación de agua en el medio, el hidrocarburo se verá influenciado en la formación de la lente y su velocidad con que se extenderá.

Otros de los puntos a recalcar son las propiedades del contaminante, su viscosidad y densidad serán otro factor durante su avance por el suelo y el agua, sin dejar de mencionar que de acuerdo a las concentraciones de los BTEX en la gasolina y las características de estos compuestos químicos actuarán de manera principal en el desarrollo de toda la simulación.

Finalmente, la simulación del comportamiento del combustible desde el momento de liberación hasta la actualidad muestran mediante curvas de concentración la gravedad del problema y permite determinar en base a ellos, la valoración de riesgos de la zona afectada y poder decidir la mejor opción para la utilización del terreno sin que afecte en un futuro la vida humana.

Los estudios que se realizaron para determinar la gravedad del daño y modelizar el comportamiento del hidrocarburo en el suelo y el acuífero se basaron en los datos de sondeos y muestras de suelo y agua de un trabajo anterior. Esta información tratada con el programa HSSM-Windows permitió determinar que la llegada del combustible a la zona de saturación fue vertiginosa, en los primeros quince días de ocurrida la liberación la saturación del hidrocarburo en el medio llega rápidamente al 50% para mantenerse constante y avanzar lentamente en el resto de los meses estudiados. Además, los radios de la lente hasta los cinco meses crecen hasta los 10 metros aproximadamente, este avance a su vez genera una saturación residual del hidrocarburo alrededor del combustible debido a las fuerzas capilares del medio geológico.

La liberación de los BTEX de la lente de gasolina es de comportamiento exponencial, prácticamente a los 6 años de ocurrido el accidente la mayor parte se ha disuelto en el agua, la cantidad de masa de benceno en el acuífero a los 4 años es de aproximadamente 36 kilogramos, para el tolueno la cantidad disuelta en el acuífero a los 6 años es de 200 kilogramos, se recuerda que el porcentaje en peso del tolueno en la gasolina es de 12.265%, esto explica el hecho de una elevada cantidad dentro del agua. Para el etilbenceno y el xileno pasado los 4 años la masa liberada aproximadamente es de 30 kilogramos.

Es lógico esperar que para los sondeos de observación más cerca de la fuente de liberación las concentraciones serán más altas, eso es lo que se refleja en las últimas gráficas de cada compuesto químico, los rastros en los sondeos más lejanos de la fuente como los que están a 75 ó 100 metros comprenden valores de 0.25 mg/L a 5 mg/L.

En base a los resultados obtenidos se puede estimar que en un radio superior a los 100 metros aproximadamente, las trazas de BTEX serán bajas con respecto a los que se encuentran a 50 metros; la mayor parte de estos compuestos químicos han sido disueltos en el acuífero como se observa en las curvas de balances de masas, por lo que el acuífero esta contaminado hasta la actualidad con los BTEX, se estima que sus trazas desaparecerán en los próximos años, se recomienda el proceso de modelización para los futuros 10 años, tomando en cuenta las condiciones actuales del medio y las concentraciones obtenidas en los pozos de observación en un nuevo muestreo.

Una vez analizada la contaminación, se recomienda la valoración de riesgos, es decir, en la actualidad, ¿qué tan peligroso resulta para los seres vivos el acuífero con estas concentraciones de BTEX's?, ¿qué riesgo existe para la vida con los valores obtenidos de BTEX's?, pues en base a las normas establecidas por las organizaciones respectivas y en base a los diferentes métodos de análisis de riesgos es posible responder estas preguntas.

En la actualidad existen diferentes y más sofisticados programas para la modelización del desplazamiento de hidrocarburos en un medio, con mayor o menor cantidad de parámetros dentro del problema, esto muestra la importancia de analizar el comportamiento del contaminante en el suelo y en el acuífero ya que facilita el análisis y permite preparar el programa de remediación con facilidad y certeza, además brinda información para otro tipo de análisis y definir la mejor utilidad del terreno estudiado.

REFERENCIAS

- ANDERSON, M.P./WOSSNER, W.W. (1991): "Applied Groundwater Modeling. Simulation of flow and advective transport". Academic Press (Inc). USA.

- APPELO, C.A.J./ POSTMA, D. (1993): "Geochemistry, groundwater and pollution". A.A. Balkema Rotterdam. Netherlands.

- CUSTODIO, E/ LLAMAS M.R. (1976): "Hidrogeología Subterránea". Omega. España.

- FETTER, C.W. (1993): "Contaminant Hydrology". Mcmillan Publishing Company (Inc). USA.

- GARIN LOPEZ, J.R. (1999): "Recuperación de un suelo contaminado por hidrocarburos". Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Minas de Madrid. España.

- GESTA BRIONES, B. (2000): "Diseño de la metodología para la caracterización de terrenos industriales abandonados". Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Minas de Madrid. España.

- HONORATO PINTO, R. (2000): "Manual de Edafología". Alfaomega. México.

- IGLESIAS GARCIA, E. (2000): “Valoración de riesgos contaminados. Fundamentos y aplicaciones informáticos”. Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Minas de Madrid. España.

- LLAMAS BORCAJO, J.F./GARCIA MARTINEZ, M.J./ FERNÁNDEZ ARROJO, C. (1999): “Comportamiento y Caracterización de contaminantes orgánicos en suelos. Propuestas para un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) en la gestión de terrenos abandonados”. Departamento de Ingeniería Química y Combustibles de la Escuela Superior Técnica de Ingenieros de Minas de Madrid. España.

- OSWER National Risk Management Research Laboratory, ORD (1996): “How To Effectively Recover Free Product At Leaking Underground Storage Tank Sites”. EPA. USA.

- WEAVER, J.W./ CHERNABEU, J.R./TAUXE J.D./ LIEN, B.K./ PROVOST, J.B. (1996): “The Hydrocarbon Spill Screening Model. Volume 1”. EPA. USA.