

CAPITULO III

TECNICAS INNOVADORAS PARA LA DETERMINACION DE RESIDUOS PELIGROSOS

Debido a la diversidad de formas en las que se pueden presentar los residuos peligrosos (en sólido, líquido, semisólido, gaseoso, etc), y a la variedad de propiedades físicas y químicas que pueden exhibir, es muy difícil estimar una peligrosidad estándar y por lo mismo no es fácil establecer un patrón de tratamiento normalizado. Por lo que, la técnica de muestreo a utilizar así como la tecnología de tratamiento adecuada para cada residuo está en función de las características del mismo.

Las técnicas de muestreo y análisis de residuos que se están estudiando actualmente son muy recientes. No existe información al respecto y por lo tanto se han estado desarrollando nuevas tecnologías en este campo.

A continuación se presentan algunas de las técnicas de muestreo que se discuten en la referencia: Hazardous Waste Measurements. Simmons, Milagros S. Ed. Lewis Publishers, Inc., U.S.A., 1991. En este libro aparecen las técnicas más novedosas en lo que respecta al muestreo y análisis de los residuos peligrosos.

3.1 Determinaciones de campo de compuestos orgánicos por medio de la cromatografía de gas (Dennis Wesolowski and Al Alwan).

○ *Antecedentes*

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha sido uno de los principales promotores en enfatizar el desarrollo de la tecnología que permita analizar las trazas de compuestos orgánicos bajo condiciones de campo. Su objetivo es apoyar a la legislación en la protección del medio ambiente. Una de las técnicas que presenta mucha aplicación en este campo es la Cromatografía de Gas.

○ *Aplicación*

Identificar rápidamente la extensión de la contaminación durante derrames, fugas, etc, y para determinar el progreso de los esfuerzos de restauración. Mantener el Programa Superfund, cuyo propósito es identificar, caracterizar y restaurar lugares de disposición de residuos que han sido abandonados a lo largo de los Estados Unidos.

○ *Requerimientos de la muestra*

La muestra debe ejercer una presión de vapor de por lo menos 10 mm Hg a la temperatura de la columna.

○ *Equipo utilizado*

Se conocen 3 tipos de instrumentos analíticos:

- **Portátil.** Se limitan a aquéllos que se pueden transportar con facilidad y emplean poco o ningún equipo adicional. Son cromatógrafos de gas poco sofisticados.

- **De Campo.** Son los que necesitan transportarse por medio de vehículos adecuados y se operan dentro de éste o en construcciones especiales. Contienen baterías recargables o pueden operar con la fuente de potencia de corriente alterna o directa. Necesitan de computadoras para almacenamiento de datos, son más versátiles ya que pueden operar a varias temperaturas y son programables.

- **Móviles.** Se ajustan dentro de un semitrailer. Son completamente programables en temperatura, se les pueden ajustar múltiples detectores o colocarlos junto con un espectrofotómetro de masa (MS). Requieren fuentes externas de gases y corriente alterna.

○ *Procedimiento*

Los métodos de colección de muestras son muy variados. Para tomar muestras de aire o suelo se pueden emplear alguno de los siguientes métodos:

a) **Directo.-** Consiste en tomar las alícuotas utilizando jeringas de vidrio herméticas o bolsas Tedlar y se colectan directamente de pipas o tubos colocados en una cavidad perforada.

b) **Dinámico.-** Involucra el uso de tubos de vidrio o acero, rellenos de carbón activado o con un material sorbente. Este dispositivo se coloca en una corriente que contenga al material que se va a muestrear en movimiento.

c) **Concentración estática.-** Es un método pasivo en el cual un dispositivo metálico, que contiene una abertura y en su interior un monitor de vapor orgánico, el cual se coloca en forma invertida en depresiones poco profundas.

El método a seguir, es función del tipo de compuesto orgánico que se desea determinar, a partir de lo cual también se elige el procedimiento y los accesorios necesarios para su muestreo.

○ *Medidas de precaución*

Para asegurar la calidad analítica en el campo, las muestras se deben marcar apropiadamente indicando la localización de la estación de muestreo, tiempos de muestreo y la persona que la colectó. También se debe tener cuidado de correlacionar la muestra con el cromatograma en forma adecuada.

Se debe prestar atención especial a los procedimientos de control de calidad: utilizar blancos para detectar posibles fuentes de contaminación, realizar análisis por duplicado para mostrar la reproductibilidad de los resultados obtenidos.

○ *Ventajas y desventajas*

Este tipo de análisis se efectúa de preferencia en los lugares en donde se conocen los compuestos que están presentes, ya que no se dispone de límites de detección suficientemente bajos, o puede darse el caso de que la información acerca de los constituyentes desconocidos esté limitada o no exista dependiendo del método utilizado, por lo que en estos casos se requiere de apoyo analítico adicional.

Sirven para hacer una selección preliminar de aquellas muestras que serán enviadas al Programa de Laboratorio Contratado (CLP) de la USEPA, con fines de confirmación y análisis cuidadoso de componentes volátiles y semivolátiles, ahorrando tiempo y dinero durante la etapa de caracterización del lugar.

○ *Observaciones*

Los análisis realizados en la primera fase del Programa Superfund para averiguar si un lugar puede ingresar a la Lista de Prioridades Nacionales (NLP), son los especificados en el Acta de Reautorización y Reformas del Superfondo de 1986 (SARA). Estos incluyen 126 compuestos orgánicos, mezclas isoméricas y 24 sustancias inorgánicas.

3.2 Técnicas analíticas robotizadas (John G. Cleland)

○ *Antecedentes*

Los robots han comenzado recientemente a incursionar en el campo de los análisis químicos. Esto resulta más evidente en las determinaciones de residuos peligrosos, en donde la aplicación de los robots a las técnicas de laboratorio han tenido más avances que en las operaciones de campo (muestreo, monitoreo y análisis preliminar).

○ *Aplicación*

Fueron introducidos como opción comercial en 1982. Estos robots pueden realizar el manejo y preparación de la muestra de acuerdo con los procedimientos químicos y con el análisis instrumental.

Todos los pasos de un procedimiento analítico se pueden automatizar, incluyendo la identificación de la muestra, su introducción dentro de instrumentos analíticos, el manejo y transferencia de datos, la generación de reportes así como el archivo de los resultados. En el laboratorio los robots se aplican principalmente a la Cromatografía de Gas (GC) y a la Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC).

○ *Requerimiento de la muestra*

No hay ninguna especificación dada la amplia variedad de estados físico, composición, etc., en que se pueden presentar los residuos peligrosos.

○ *Equipo utilizado*

The Japanese Industrial Standard (JIS) define a un robot como un sistema mecánico, el cual tiene funciones inteligentes de movimientos flexibles análogos a los que realizan los organismos vivos, con cuyas acciones se responde como lo haría un ser humano. Por funciones inteligentes se debe entender la habilidad de realizar por lo menos una de las siguientes: discernimiento, reconocimiento, adaptación o aprendizaje.

En la actualidad los robots son básicamente un brazo y una mano montados en una base, la cual esta sujeta a un banco o al piso. El robot esta unido a una microcomputadora y/o otro registrador electrónico, que recibe las señales de las unidades que se encuentran en posición de detección y proporciona a su vez señales de respuesta en retroalimentación a las unidades de potencia para controlar el movimiento.

○ *Procedimiento*

El operador mueve el robot secuencialmente a todas las posiciones pertinentes, utilizando un dispositivo de aprendizaje. Este puede ser el teclado de la computadora o una unidad manual de manejo con botones, los cuáles representan cada posible movimiento del robot. Cada posición es especificada por el operador y almacenada en un archivo del directorio.

También se especifican y almacenan aquellos comandos para la interacción con equipo periférico. A los comandos y a la secuencia en la que estos se almacenan en el registrador de la computadora, se le comoce como "la instrucción" del robot. Puede crearse una subrutina para cada operación de la unidad, combinando varios movimientos tales como tomar un objeto de un lugar y colocarlo en otro sitio. Finalmente se construye un programa general en el que se integran todas las subrutinas. Una vez que este programa se ha instalado, la operación puede repetirse tantas veces como sea necesario, además puede modificarse para ajustar cambios en el ambiente o para satisfacer alguna modificación en los objetivos de la tarea del robot.

○ *Medidas de precaución*

Durante las evaluaciones de las tareas individuales, el sistema se revisa para que realice una operación mecánica confiable. Los sensores y los procedimientos de verificación se incrementan en aquellos pasos en que el robot puede encontrar dificultad o cuando un descuido en el desempeño satisfactorio del procedimiento automáticamente detiene toda la actividad.

Ejemplos de las técnicas de sensibilidad incluyen: al sensor táctil en una mano robot para asegurar la presencia del objeto que se va a sujetar; un microswitch cercano para verificar el movimiento del objeto; las fotoceldas para revisar que el objeto se halla movido o reemplazado en la dirección adecuada; las lecturas del peso con el fin de asegurar que el robot ha obtenido la cantidad de muestra correcta, etc.

○ *Ventajas y desventajas*

El sistema robot puede manejar grandes lotes de muestras, consistente y constantemente. A diferencia del personal de laboratorio, el robot no necesita descansos, no se cansa y trabaja efectivamente las 24 horas al día, los 7 días de la semana. Lo cual provoca un ahorro en trabajo y costos para el laboratorio.

Otras ventajas son: se incrementa la productividad, se reduce la exposición humana a materiales o medios peligrosos, elimina el tedio que provocan algunas tareas manuales, permite manejar muestras que requieren análisis con múltiples instrumentos o técnicas. Sin embargo, requieren de grandes áreas de trabajo, requiere mantenimiento de especialistas, tal vez se vuelva obsoleta rápidamente por el progreso de la tecnología en ese campo.

○ *Observaciones*

La Oficina de Residuos Sólidos de la USEPA, recientemente comisionó al Research Triangle Institute para dirigir un estudio preliminar sobre este campo, en el que se empleen los métodos SW-846 diseñados para las determinaciones de residuos peligrosos. Dichos métodos están contenidos en "Métodos de Prueba para la Evaluación de Residuo Sólido: Métodos Físico/Químicos", USEPA, SW-846, 3rd. edición.

3.3 La aplicación de la espectroscopía infrarroja a los residuos peligrosos (Douglas S. Kendall)

○ *Antecedentes*

Existe una enorme necesidad de disponer de métodos que determinen a aquellos constituyentes omitidos por las técnicas que se utilizan comunmente. Una técnica tiene mucha aplicación en el campo de los análisis químicos y que a su vez puede contribuir significativamente al análisis de residuos peligrosos es la espectroscopía infrarroja.

○ *Aplicación*

El empleo de esta técnica a los residuos peligrosos se puede dividir en dos grupos: 1) la identificación rápida de los principales componentes de la muestra; 2) la selección preliminar de las muestras que se van a someter a análisis posteriores, eliminando así el trabajo innecesario.

Se utiliza para identificar compuestos orgánicos no volátiles, compuestos y/o iones inorgánicos (cromato, sulfato, cianuros, carbonatos), algunos ingredientes como la tierra diatomacea, el cuarzo, etc., que son comunmente utilizados en formulaciones industriales. Además, residuos orgánicos que son muy polares o iónicos a pH neutral y no se pueden determinar con la cromatografía de gas (GC) o cromatografía de gas/espectroscopía de masas (GC/MS). También, se usa para confirmar resultados iniciales obtenidos con otras técnicas.

○ *Requerimientos de la muestra*

La muestra puede ser líquida o sólida, la cual requiere una preparación correcta para obtener un espectro infrarrojo de buena calidad, ya que los espectrómetros comunes están muy automatizados y son fáciles de operar. Se debe seleccionar un método de preparación de la muestra adecuado, una celdilla para muestra y materiales ópticos apropiados.

○ *Equipo utilizado*

Los espectrómetros infrarrojos modernos son instrumentos automáticos, fáciles de operar y requieren de un mantenimiento mínimo. Entre los que se encuentran:

1. Instrumentos de dispersión tradicional.
2. El espectrómetro infrarrojo de transformación de Fourier (FTIR).

Los instrumentos de dispersión tradicional emplean un enrejado de hierro para dispersar la radiación infrarroja proveniente de la fuente. La dispersión de la radiación se dirige hacia la muestra y después al detector. En contraste con el espectrómetro infrarrojo de transformación de Fourier, el cual dirige la radiación directamente de la fuente a la muestra. En ocasiones, se utilizan conjuntamente otras técnicas como la cromatografía de gas (GC) y la espectroscopía de masa (MS), con objeto de obtener mejores resultados en la identificación de sustancias.

○ *Procedimiento*

Estos equipos son automáticos y de fácil manejo, para lo cual se requiere de un operador capacitado que verifique que el equipo está funcionando correctamente y se encuentre configurado en forma adecuada para el tipo de muestra que se va a analizar.

El espectro infrarrojo producido para cada sustancia analizada, contiene mucha información en las posiciones de las bandas de absorción, las intensidades y las formas. Se puede considerar como una colección de un gran número de constantes físicas para un compuesto. Mediante la comparación del espectro de un material desconocido con el espectro de un material de referencia, se logra una buena identificación de sustancias. Se han obtenido muchas correlaciones entre la estructura identificada y el espectro, las cuales aparecen agrupadas en tablas de frecuencias, que a su vez están disponibles en la literatura.

○ *Medidas de precaución*

Una vez que se posee un espectro aceptable, se debe contar con un especialista que lo interprete correctamente. No obstante, existen algunos programas de computadora que se han creado para este fin, los cuales presentan algunos problemas al interpretar espectros de mezclas. Cabe aclarar que en las muestras de residuos peligrosos, generalmente predominan 2 ó 3 componentes.

○ *Ventajas y desventajas*

Se pueden identificar rápidamente sustancias que no se pueden estudiar con otras técnicas, incluyendo una gran variedad de especies orgánicas y/o inorgánicas, requiere de una preparación mínima de la muestra, ahorra tiempo, trabajo y esfuerzo, se puede acoplar al cromatógrafo de gases (GC) y al espectrómetro de masa (MS) obteniéndose buenos resultados.

○ *Observaciones*

El grupo carbonilo es el que más fácilmente se identifica mediante esta técnica. Los ésteres saturados, ésteres aromáticos y cetonas son los más comunes en los residuos peligrosos.

Dos referencias en donde se pueden encontrar las Tablas de correlaciones de frecuencias que se utilizan en la identificación de sustancias son:

1) Lambert, J. B., Shurvell, H. F., Verbit, L., Cooks, R. G., and Stout, G. H. Organic Structural Analysis, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1976, pp. 151- 314.

2) Silverstein, R. M., Bassler, G. C., and Morrill, T. C. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981, pp. 95-180.

3.4 La aplicación de la espectrometría fluorescente de rayos X para el análisis de residuos peligrosos (Douglas S. Kendall)

○ *Antecedentes*

Una técnica que tiene varias aplicaciones importantes es la espectrometría fluorescente de rayos X (XRF), a pesar de que aún está siendo desarrollada. Un inconveniente que presenta, es que no siempre ofrece suficiente sensibilidad, ya que sus límites de detección se encuentran en un intervalo de 1 a 100 ppm. Sin embargo, generalmente se aplica con éxito a los residuos peligrosos porque éstos presentan concentraciones importantes de contaminantes.

○ *Aplicación*

Se aplica a aquéllos residuos que tienen altas concentraciones de metales pesados y otros elementos (suelos contaminados o aceites gastados); la industria del petróleo emplea esta técnica para determinar metales en sus productos; las fábricas de acero, fundidoras e industrias relacionadas la utilizan para realizar análisis rápidos; la industria minera emplea el XRF desde las pruebas iniciales de un proyecto hasta las que se realizan a los productos finales.

A nivel laboratorio se emplea para hacer un análisis cualitativo de las muestras y seleccionar de esta forma aquéllas que se van a utilizar para el trabajo analítico posterior. Además, es útil para confirmar rápida y fácilmente los resultados preliminares obtenidos con otras técnicas.

○ *Requerimientos de la muestra*

Se pueden analizar muestra difíciles como lodos, residuos de pinturas, aceites gastados, suelos contaminados, rocas, etc. Frecuentemente se requiere de poca preparación de la muestra, los procedimientos que se utilizan es el secado del material y posteriormente se tritura para obtener un tamaño uniforme.

○ *Equipo utilizado*

Existen dos tipos de espectrómetros fluorescentes de rayos X: el dispersor de energía y el dispersor de longitud de onda. Los espectrómetros dispersores de longitud de onda, emplean un tubo de rayos X de alta potencia para irradiar a la muestra. Los rayos X fluorescentes son característicos de los elementos presentes en la muestra, y son dirigidos con otro dispositivo (tubo que hace paralelos a los rayos de luz) hacia un cristal analizador, donde se separan de acuerdo a su longitud de onda. Estos son enviados al detector, en donde son contados todos los rayos X. Se obtiene los espectros que contienen información acerca de la identidad de las muestras.

El espectrómetro dispersor de energía, funciona de la misma forma que el equipo anterior. La diferencia es que en él se produce una corriente proporcional a la energía del rayo X que llega a el detector, que por lo general es un producto de investigación en la radioactividad, el cual sirve como un dispersor y detector de energía.

○ *Procedimiento*

Los rayos X son una forma de radiación más energética y de menor longitud de onda que la luz ultravioleta y visible. Estos rayos pueden emitirse por un átomo si un electrón de un nivel exterior se mueve hacia una vacante que se encuentre en un nivel electrónico interno, el exceso de energía se puede remover del átomo por medio de la emisión de un rayo X fluorescente.

Cuando los rayos X irradian un material, éstos se pueden absorber, dispersar o transmitir. Los que son absorbidos inducen la fluorescencia o la emisión de rayos X característicos. Los que se dispersan contribuyen al trasfondo. La cantidad y el tipo de dispersión es una fuente de información acerca de la muestra. Para casi todos los elementos los coeficientes de absorción y dispersión son bien conocidos.

○ *Medidas de precaución*

La principal dificultad que presenta esta técnica es la calibración del instrumento. Entre los factores que la afectan se encuentran las necesidades del proyecto, la disponibilidad de patrones y el tiempo de que se dispone para realizarla. Estos instrumentos son muy estables y mantienen bien la calibración.

○ *Ventajas y desventajas*

Los sólidos y líquidos se pueden simplemente colocar en tazas con una ventana transparente a los rayos X y analizarlos directamente; necesitan de poca preparación de la muestra; los aceites de residuos viscosos y lodos de pinturas se pueden caracterizar sin las digestiones problemáticas requeridas por otras técnicas; permite realizar análisis cualitativos rápidos; el instrumento XRF es de fácil mantenimiento, es muy estable y mantiene bien la calibración; la precisión en la repetición de las determinaciones es generalmente buena; los espectrómetros que poseen cambiadores de muestra y que son controlados con computadoras pueden analizar un gran número de muestras mientras trabaja sin supervisión. El XRF es un equipo portátil que se puede utilizar para realizar una inspección inicial del lugar que se va a caracterizar.

○ *Observaciones*

Existen varios libros disponibles sobre la espectrometría fluorescente de rayos X, algunos de ellos son:

* Jenkins, R. "X- ray Fluorescence Spectrometry", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1988.

* Bertin, E. P. "Principles and practice of w-Ray Spectrometric Analysis", Plenum Press, New York, (1975).

* Jenkins, R., Gould, R. W., and Gedcke, D. "Quantitative X-Ray Spectrometry". Marcel Dekker, Inc., New York, 1981.

3.5 Método de campo de fluorescencia de rayos X para la recolección de contaminantes inorgánicos en lugares de disposición de residuos peligrosos (G. A. Raab, R. W. Enwall, W. H. Cole, M. L. Faber, and L. A. Eccles)

○ *Antecedentes*

Entre los principales problemas que se presentan durante el ciclo de limpieza de lugares contaminados con residuos peligrosos, se encuentran el alto costo de los análisis químicos de las muestras y el tiempo en que se realizan. Desde la colección de la muestra hasta su empaque, embarque, análisis químico y entrega de los resultados analíticos al personal del lugar, generalmente se lleva de 20 a 45 días por cada lote completo.

Para combatir este problema el Laboratorio de Sistemas de Monitoreo Ambiental de la EPA, inició un proyecto para desarrollar y evaluar métodos de campo utilizando la tecnología fluorescente de rayos X (XRF), el sistema XRF portátil de campo (FPXRF) se puede utilizar para hacer determinaciones directamente en el lugar que se va a caracterizar.

○ *Aplicación*

El equipo portátil realiza determinaciones inmediatas de la identidad y concentración de contaminantes inorgánicos. Los datos de concentración una vez adquiridos se pueden procesar y graficar para producir un mapa de concentraciones en el lugar de investigación. De esta manera se pueden identificar las áreas contaminadas y restringir la investigación a dichas zonas, seleccionar las muestras que se van a estudiar posteriormente en base a una determinación aproximada de su concentración. En general permite conocer la extensión y distribución de los contaminantes en el lugar.

○ *Requerimientos de la muestra*

La preparación de la muestra de ser posible debe incluir: secarse al horno; pasarse a través del tamiz de 2.0 mm (ASTM # 10); pulverizarse hasta que atraviese un tamiz de 0.053 mm o más fino (ASTM # 270); homogenizarse; tomar una submuestra; formar una bolita o meterla dentro de un disco de vidrio, el cual se convierte en el espécimen a analizar. Estos procedimientos se deben seguir cuidadosamente para asegurar que el manejo de todas las muestras enviadas al laboratorio sea uniforme.

○ *Equipo utilizado*

El X-MET 880 es un espectrómetro fluorescente de rayos X de dispersión de energía. La unidad es segura, tiene una batería de potencia, un microprocesador y pesa 8.5 kg. La probeta de análisis de superficie se diseña especialmente para emplearse en el campo. Este equipo esta sellado herméticamente y se descontamina con agua y jabón. La probeta incluye una o dos fuentes de radioisótopos, un contador proporcional de gas y equipo electrónico adicional.

La unidad tiene 32 memorias de calibración llamadas "modelos". Cada uno se puede calibrar independientemente para 6 elementos, los cuales se pueden identificar siempre y cuando se disponga de la fuente de isótopo adecuada. Las intensidades de las muestras se comparan con las curvas de calibración para estimar las concentraciones.

○ *Procedimiento*

La fluorescencia de rayos X (XRF) se basa en el principio de que los fotones producidos por un tubo de rayos X o una fuente radioactiva, bombardean una muestra para generar la fluorescencia, la cual es característica del átomo en que fue producida. De esta manera se obtiene un espectro de radiación, que es cuantificado por un detector. La determinación se realiza directamente en el lugar de interés mediante un instrumento de rayos X portátil, de dispersión de energía. Los datos de concentración se almacenan y procesan dentro de una computadora para producir mapas planimétricos entre otros.

○ *Medidas de precaución*

Se debe cuidar que los resultados que se obtengan tengan una calidad conocida, por lo que es necesario definir y minimizar las fuentes de error. En el análisis XRF de suelos, las fuentes más pronunciadas de errores analíticos son introducidos por la heterogeneidad de la muestra, lo cual se soluciona realizando una adecuada preparación de esta, de acuerdo a los procedimientos de laboratorio convenientes.

◦ *Ventajas y desventajas*

Los costos de muestreo y análisis son bajos en comparación con otros métodos; requiere de unos cuantos segundos para realizar una determinación; si se trata de un proyecto de restauración, el sistema FPXRF se puede emplear para volver a muestrear rápidamente después de cada fase del trabajo para determinar las áreas que requieren una restauración posterior. Como este instrumento es portátil presenta las siguientes ventajas: El personal del proyecto durante la primera visita al lugar de investigación, puede analizar muestras de suelos y revisar los resultados inmediatamente, identificando y verificando la distribución espacial de la contaminación. Además, el XRF produce un análisis elemental total sin importar la fase del constituyente.

◦ *Observaciones*

Se debe aclarar que los métodos químicos húmedos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para la determinación de metales, pueden producir resultados analíticos muy diferentes a aquéllos que produce el XRF. Sin embargo, es de gran utilidad durante el proceso de Investigación de la Restauración/Estudio de Factibilidad (RI/FS), como un apoyo para el proceso de interpolación, en el que se establece la relación existente entre las muestras y la población espacial a la que representan, la que se expresa por medio de un modelo espacial que proporciona una descripción cuantitativa de la concentración del contaminante a través del lugar, y en base a este modelo se toman todas las decisiones subsecuentes con respecto a la restauración.

BIBLIOGRAFIA

Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ), "Guía de Respuestas Iniciales en caso de Emergencias ocasionadas por materiales peligrosos", Sistema de Emergencias en Transporte para la Industria Química (SETIQ), México, D.F., 1991.

CAMPBELL, R. L., Longford, R. E., "Fundamentals of Hazardous Materials Incidents", Lewis Publishers, Inc., Michigan, 1991, pp. 105-115.

CHEREMISINOFF, Paul N., "Management of Hazardous Occupational Environments", Technomic Publishing Company, Inc., New York, 1984, pp. 21-44.

Environmental News Data Service (ENS), Report 123:19, 1985.

Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), "Tabla de Materiales Peligrosos". Gerencia de Prevención de Accidentes, México, D. F., Febrero de 1989.

FREEMAN, Harry M., "Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal", McGraw-Hill, Inc., New York, 1989, pp. 12.16, 13.3, 13.9-13.14, 13.17.

GRIFFIN, D. R., "Principles of Hazardous Materials Management", Lewis Publishers, Inc., Michigan, 1988, pp. 97-114, 135-144.

KOKOSCKA, Leopold C., Flood, Jared W., "Environmental Management Handbook. Toxic Chemical Materials and Wastes". Marcel Dekker Inc., New York, 1989, pp. 183-281, 295-315.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos", Paris, 1990, pp. 1-25.

SIMMONS, Milagros S. "Hazardous Waste Measurements". Lewis Publishers, Inc., Michigan, 1991, pp. 3-13, 17, 20-25.

The Canadian Transport Emergency Center (CANUTEC), "Guía 1986 sobre Respuestas iniciales en caso de Emergencias causadas por mercancías peligrosas, Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Programa de Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, Metepec, México, 1988, pp. 1-14.

The Hazardous Waste Consultant, "Toxicity Characteristic Leaching Procedure Finalized", Mayo-Junio 1990, pp. 2.1-2.9.

U. S. Department of Transportation, "Hazardous Materials Warning Labels", Research and Special Programs Administration, Chart 8, Washington, D. C., Febrero 1986.

U. S. Department of Transportation, "Hazardous Materials Warning Placards". Research and Special Programs Administration, Chart 8, Washington, D.C., Febrero 1986.

U. S. Environmental Protection Agency (USEPA), "Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP". Code of Federal Regulations, CFR, Title 40, part 240, Washington, D. C., 1991.