

**BOLETINES DEL GRUPO DE TRABAJO DEL IMTA PARA  
EMERGENCIA DE GUADALAJARA**

# CONFINAMIENTO DEL DERRAME DE HIDROCARBUROS Y SANEAMIENTO DEL ACUIFERO DE GUADALAJARA

Reporte de avance al 26 de abril de 1992

## DETECCION DE HIDROCARBUROS EN EL SUBSUELO

Las gasolinas típicas están compuestas por benceno, etilbenceno, heptano, hexano, tolueno, naftaleno y fenol. Algunos de estos compuestos, los más pesados, son adsorbidos por la estructura del suelo o se incorporan al acuífero, mientras los más ligeros se volatilizan. De todos estos elementos el de mayor solubilidad con el agua es el fenol (91%) y se usa por ello como indicador de contaminación, el hexano se volatiliza en 99.8%.

En las primeras fases del derrame, el movimiento del contaminante es claramente vertical con mínima dispersión lateral, una vez alcanzado el acuífero, por su densidad, los hidrocarburos "flotan" en la parte superior de éste, aunque posteriormente sus constituyentes más pesados se precipitan para incorporarse a capas más profundas.

Debido a la flotación de los hidrocarburos en el nivel freático, los pozos de agua potable que tienen en su mayoría ademe ciego en la parte superficial, no son buenos elementos de medición del nivel de contaminación en el agua.

La detección de los hidrocarburos puede realizarse a través de perforaciones someras en las cuales se efectúan mediciones de la concentración de volátiles orgánicos, como son varios de los compuestos que constituyen a las gasolinas.

Para la perforación de los pozos someros de medición se utilizan equipos especialmente diseñados para ello, y que consisten de un martillo eléctrico, al cual se unen barras de perforación. Su operación es manual y su costo bajo.

## **MEDIDAS DE SANEAMIENTO DEL ACUIFERO**

La mancha contaminante se mueve en la dirección del gradiente de la superficie piezométrica.

Los principales métodos de saneamiento son:

- **Excavación:** remoción del suelo contaminado (técnicamente factible cuando la permeabilidad es muy baja y la mancha no ocupa áreas muy grandes).
- **Volatilización:** Consiste en la inyección de aire al subsuelo a través de pozos. El aire inyectado es extraído por otro pozo y arrastra los componentes volátiles. Se piensa que este método no sería efectivo si el área es muy grande.
- **Biodegradación:** Consiste en promover crecimiento de microorganismos existentes en el subsuelo mediante oxígeno y nutrientes. Es un método lento y deben hacerse pruebas de laboratorio, por lo que en este caso no sería una solución tan rápida como se requiere..
- **Vitrificación:** Se vitrifica la arcilla por medio de calor, proporcionado por corrientes eléctricas. En el caso de Guadalajara no es recomendable dado que podría favorecer la volatilización y peligro de explosiones.
- **Aislamiento:** Se aísla la zona contaminada formando barreras subterráneas alrededor de la zona contaminada. Se trata de barreras físicas o de acciones hidrogeológicas. Este método es uno de los más recomendables en este caso, se comentará con mayor detalle adelante.
- **Extracción de agua y tratamiento:** El agua y gasolina son bombeados al exterior, aprovechando la flotabilidad de los hidrocarburos. Este método sería recomendable en adición al anterior.
- **Autoeliminación:** Se deja que el acuífero se autodepure. No es recomendable para niveles de contaminación como el de este caso.

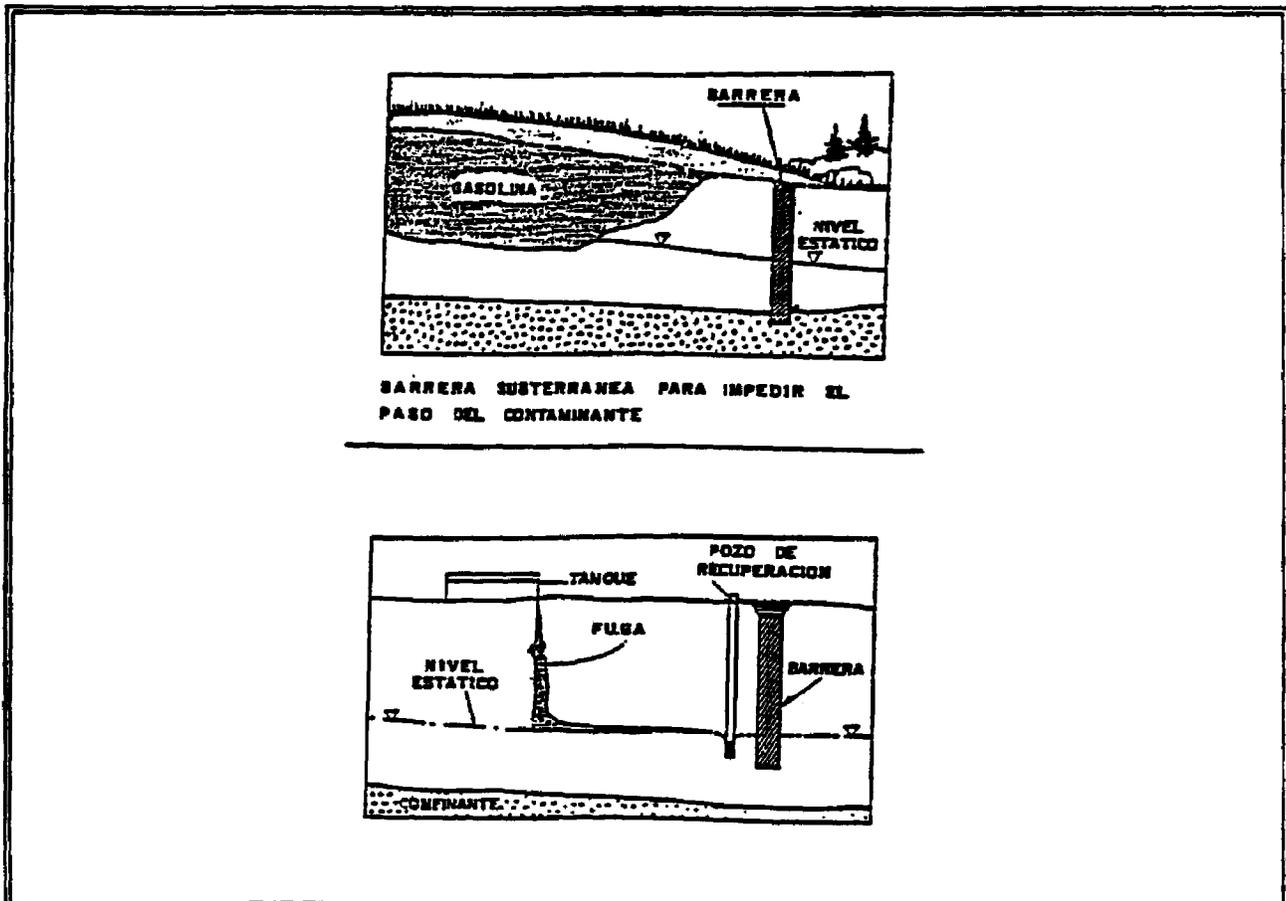
## ASLAMIENTO DE LA ZONA CONTAMINADA

El aislamiento de la zona contaminada puede conseguirse mediante el establecimiento de barreras subterráneas alrededor de la zona de derrame. Estas barreras son físicas o derivadas de acciones hidrogeológicas. Las primeras son construidas con cemento, bentonita y arcilla, rellenando zanjas o inyectándose por medio de pozos. Este método se encuentra limitado a la profundidad que sea necesaria la excavación.

La barrera impermeable formada por la inyección en el subsuelo se distribuye tratando de aislar el área hacia donde fluye el contaminante en el subsuelo (ver Figura No. 1).

Las acciones hidrogeológicas consisten en inducir la formación de una barrera hidráulica mediante la inyección de agua o creando gradientes que impidan el desplazamiento del fluido.

Figura No. 1.- Barrera para aislamiento de zonas contaminadas

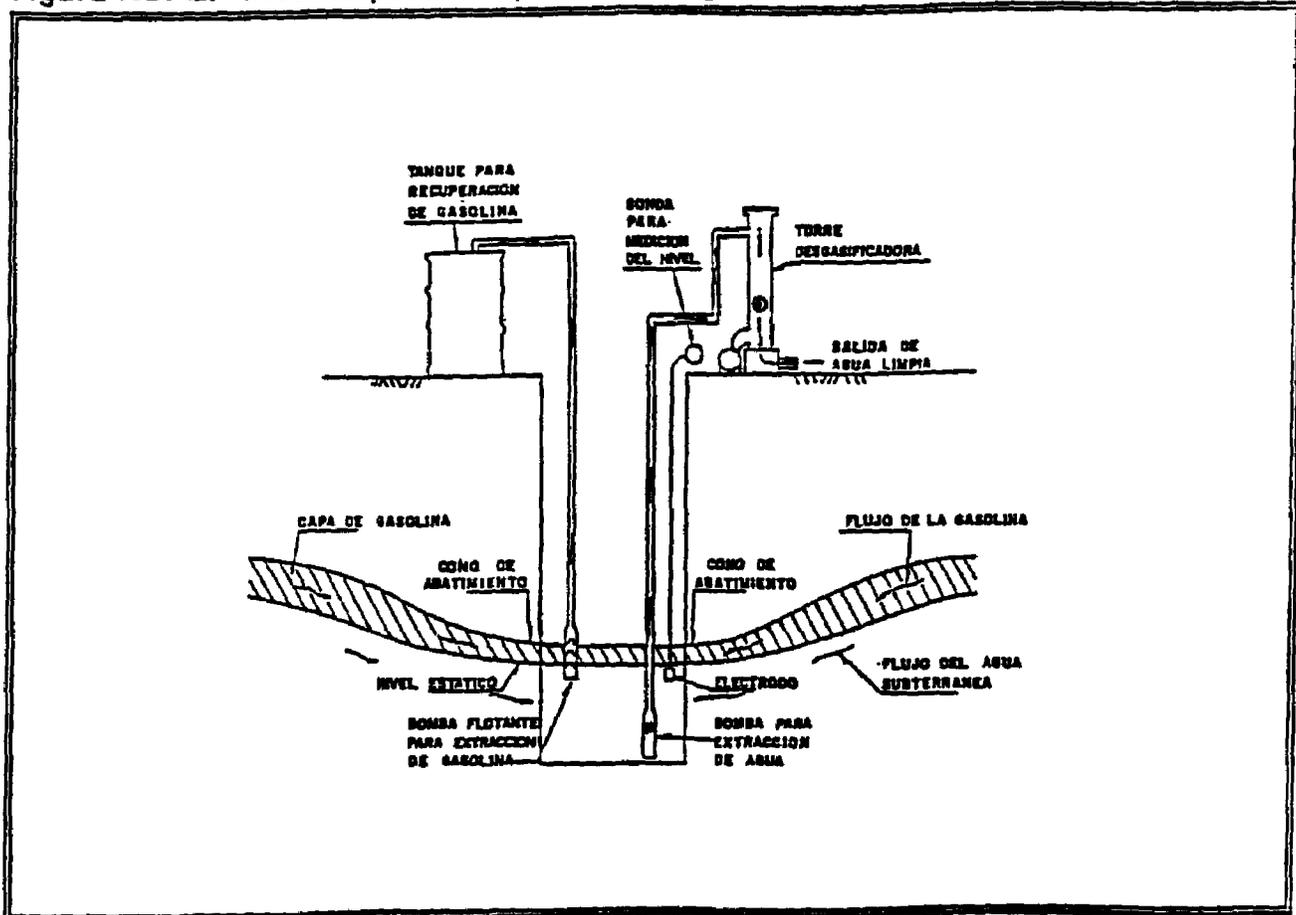


## EXTRACCION DE AGUA Y TRATAMIENTO

Este es un método usual para la extracción y eliminación de los hidrocarburos que tienden a flotar sobre la superficie freática. El agua y la gasolina son bombeados al exterior mediante dos procedimientos:

1. **Bombeo agua-gasolina.** Esta mezcla se bombea a través de un pozo y se separa en la superficie, para eliminar los residuos de hidrocarburos el agua se trata mediante carbón activado. El agua una vez tratada puede inyectarse al subsuelo para ayudar al flujo del agua a lavar el suelo.
2. **Bombeo de agua y gasolina en forma independiente.** Consiste en una perforación de diámetro amplio o pozo a cielo abierto construido hasta alcanzar el nivel del agua. Mediante una bomba se abate el nivel del agua hasta provocar un cono que facilite el flujo del hidrocarburo que flota sobre la superficie freática, consecuentemente el contaminante se dirigirá hacia el pozo donde es extraído por otra bomba (ver Figura No. 2).

Figura No. 2.- Método para recuperación de gasolinas



## INFORME DEL GRUPO DE CONTROL DE RIESGOS DE EXPLOSION Y LIMPIEZA DE DRENAJE.

### ANALISIS BIBLIOGRAFICO:

Se consultaron 5 bases de datos técnicos, en las cuales se reportan estudios en modelos físicos, sistemas de identificación y prevención, modelos matemáticos, etc., sin embargo, no estudios del caso.

Se localizaron sólo 3 monografías en la biblioteca del Congreso de los Estados Unidos de América. Se están haciendo gestiones para conseguir copias.

Las monografías son:

- Planeación de emergencias y desastres para agua y drenaje.
- Riesgo de gas en drenajes y plantas de tratamiento.
- Cantidades de gasolina necesarias para producir condiciones de explosión en drenajes.

Además existe un manual de procedimiento para la atención de emergencias en el sistema de drenaje del Departamento del Distrito Federal, del cual dispondremos el lunes.

### ACCIONES INMEDIATAS:

1.- Arrojar hielo seco (bióxido de carbono) durante el día para disminuir el riesgo de explosión, enfriando el agua y formando una capa de bióxido de carbono que impide el contacto con el aire.

2.- Construir sobre los registros que actualmente están abiertos tiros de láminas pintadas de negro de 2 ó 3 metros de altura, con objeto de expulsar al exterior los gases atrapados en el drenaje.

3.- Hacer trabajar a tubo lleno el alcantarillado. Esta operación debe hacerse por tramos y en forma lenta, para que los gases salgan por los tiros sin comprimirse y evitar la posibilidad de explosiones.

Los trabajos deben iniciarse cerrando la parte más baja del tramo de alcantarillado, el colector principal y ramales secundarios, tomando como base el nivel topográfico de los registros, y recuperando aguas arriba por bombeo el combustible contenido en el alcantarillado en cada tramo.

Una vez llena completamente la red y aislado el circuito, se debe garantizar el vertido de excedentes, a través de un tubo de 20 a 30 cm de diámetro, habilitado con una válvula para regular el flujo, colocado en los broqueles provisionales de los registros, los cuales pueden construirse con costalera de arena.

Cuando las condiciones se mejoran, se destruyen los broqueles y el agua liberada servirá para limpieza del drenaje.

4. Conseguir equipo de detección de riesgos de explosión y monitorear en forma continua los drenajes en la zona afectada. Es conveniente que el personal que realiza estas actividades cuente con equipo adecuado como: ropa anti-inflamable de fibra de asbesto y mascarilla de oxígeno.

## SUMINISTRO DE AGUA POTABLE A LA POBLACION AFECTADA EN LA ZONA DEL SINIESTRO.

Se realizó una búsqueda bibliográfica con el objeto de conocer experiencias para remover hidrocarburos del agua subterránea, encontrándose que las técnicas adecuadas son:

- a) Separación hidráulica de hidrocarburos por medio de la técnica de placas verticales, cuando la concentración deje película visible (mayor a 10 mg/l).
- b) Desorción por medio de aire.
- c) Uso de carbón activado.
- d) Ozonización, peroxidación u oxidación avanzada con rayos Ultra Violeta.
- e) Resinas aniónicas de intercambio.
- f) Ultrafiltración y ósmosis inversa.

### A) ACCIONES INMEDIATAS:

- 1.- Ubicar los pozos dentro de los perímetros de la zona siniestrada.
- 2.- Muestreo y aforo de los pozos, analizando con cromatografía de gases, las sustancias orgánicas.
- 3.- Aislar los circuitos en donde exista evidencia de agua contaminada.
- 4.- Suministrar agua mediante pipas a la población.

### B) ACCIONES A CORTO PLAZO EN EL IMTA:

- 1.- Trazo de líneas de isoconcentración de contaminantes, con ubicación de pozos, usados en agua potable.
- 2.- Encontrar una metodología para limpiar la tubería de agua potable que contenga contaminantes, utilizando un oxidante fuerte, un agente dispersante y/o un absorbedor en suspensión como:
  - a) Permanganato de Potasio ( $KMnO_4$ ).
  - b) Agente dispersante.
  - c) Carbón activado en polvo 120 mesh, para evitar futuras contaminaciones.

## CONTROL DE RIESGOS DE EXPLOSION Y LIMPIEZA DEL DRENAJE.

### ACCIONES INMEDIATAS:

1. Arrojar hielo seco (bióxido de carbono) durante el día como una acción inmediata para disminuir el riesgo de explosión.
2. Cerrar los registros que actualmente están abiertos y construir tiros de expulsión de gases, de lámina pintada de negro, de 2 ó 3 metros de altura, con objeto de expulsar al exterior los gases atrapados en el drenaje.
3. Hacer trabajar a tubo lleno el alcantarillado. Esta operación debe hacerse por tramos y en forma lenta para evitar explosiones.

Los trabajos deben iniciarse cerrando la parte más baja del alcantarillado, el colector principal y ramales secundarios, tomando como base el nivel topográfico de los registros, y recuperando aguas arriba por bombeo, el combustible contenido en el alcantarillado en cada tramo.

Una vez llena completamente la red y aislado el circuito, se debe garantizar el vertido de los excedentes, colocando en los broques provisionales de los registros, los cuales pueden construirse mediante costalera de arena un tubo de 20 a 30 cm. de diámetro habilitado con una válvula para regular el flujo y continuar con la extracción de combustible.

Realizadas estas operaciones, se prevee que es posible trabajar prácticamente sin riesgos en el resto de las operaciones de reconstrucción y limpieza del drenaje.

4. Conseguir equipo de detección de riesgos de explosión y monitorear en forma continua los drenajes en la zona afectada. Es conveniente que el personal que realiza estas actividades cuente con equipo adecuado como: ropa anti-inflamable de fibra de asbesto y mascarilla de oxígeno.

## CALIDAD DEL AGUA.

- Se inició la búsqueda bibliográfica para montar la técnica analítica por cromatografía de gases, así como el muestreo. Todo específicamente para agua potable.
- Se está realizando la lista de necesidades (reactivos y material).
- El laboratorio puede realizar el análisis, sólo hay que hacer pruebas preliminares para definir técnica y capacidad. Podemos recibir muestras preservadas a partir del lunes y se inicia el procesamiento el miércoles. Las respuestas se dan en 24 hrs.
- Se va a implementar un equipo para que reduzca el tiempo a 2 horas (aún en proceso)

RESPONSABLE

QUIM. VICTORIA NAVARRETE.

## EXPLOSIMETROS

- Se han detectado 11 instrumentos de siete fabricantes (ver lista anexa).
- El Ing. José Ignacio Ustaran distribuye en México equipo de HNU. Mañana a las 10:30 tendremos información completa en el IMTA para ordenar compra y envío a través de CDM, de 20 aparatos de registro continuo con sonda de 15 metros. Se solicitará técnico de manejo.
- El Ing. Francisco Flores (DGCOH) informa esta noche llegarán al Hotel Plaza del Sol de Guadalajara técnicos de DGCOH con ocho explosímetros de MINE SAFETY APPLIANCES. Contacto: los Ings. César Núñez y Arturo Correa (habitación 1211). Estos aparatos son manuales y no tienen registro consecutivo.

## - CURSOS

- El lunes en la mañana se seleccionará con apoyo de CDM experto para preparar cursos:

"Control y prevención de accidentes en sistemas hidráulicos" operadores en la semana del 4 de mayo. Participarán como expositores especialistas mexicanos y extranjeros.

" Control de desechos peligros de la industria". Para este curso se utilizará básicamente material existente que se obtendrá a través de CDM.

**EXPLOSIMETROS**

INSTRUMENTO	FABRICANTE	CONTACTO
EXPLOSIMETER 2E, 2A PART NO. 89220	MINE SAFETY APPLIANCES CO. PITTSBURG (USA)	1(800)MSA2222
	HNU Systems, Inc. (USA) ABC (D.F.)	(617)964 6090 (915) 500 5696
GAS AND VAPOR DETECTOR 75 TC	CROWCON INSTRUMENTS LTD. (UK)	
GAS MONITOR BZ 3007	NEOTRONICS LTD. (UK)	
GAS MONITOR BZ-LLAGM	NEOTRONICS LTD. (UK)	
GAS MONITOR 1601	SIEGER	
GAS MONITOR 1602	SIEGER	
GASCOPE 2D	DETECTION INSTRUMENTS	
GASMARKER D1300	DETECTION INSTRUMENTS	
LEAKSEEKER TCS	ANALYTICAL INSTRUMENTS	
SFG DETECTOR CROMATOGRAPH	ANALYTICAL INSTRUMENTS	

# IMTA

## EMERGENCIA GUADALAJARA

BOLETÍN NO. 3

28 DE ABRIL DE 1992

### ALCANTARILLAS

- Se recomienda dejar las alcantarillas abiertas para ventilarlas. Cerrarlas nuevamente produciría riesgos muy importantes de nuevas explosiones. En los lugares con alto riesgo de explosividad, se deben colocar extractores de volátiles como los empleados habitualmente en la ventilación industrial.
- Las personas que tengan que trabajar en áreas confinadas de alta peligrosidad deben usar equipos para respiración con oxígeno. No se recomiendan máscaras con filtros o trampas químicas debido a la posibilidad de que falte oxígeno.

### SUBSUELO

- Gases en la zona no saturada. El gas que se acumula en la zona no saturada tiende a moverse sobre la mancha y hacia la superficie del terreno. Parte se acumula en ductos de drenaje y de transmisión telefónica y eléctrica. En las líneas de agua potable, el agua se conduce a presión, por lo que no se afectan por la presencia de gas. Eventualmente, el gas se adsorbe en el medio y puede quedar estacionario aunque la mancha líquida tenga movimiento.
- Gasolina en la zona saturada. Una parte de sus componentes químicos flota sobre el nivel freático y otra se mezcla con el agua. Después de un derrame, una parte del volumen se queda impregnada y semisatura el medio sobre el nivel freático. Esta parte puede ser lavada posteriormente con las infiltraciones y reintegrada a la mancha. Si la mancha se adsorbe en el medio, se inmoviliza.
- Casos en la Ciudad de México. De 29 gasolineras estudiadas, 27 tuvieron derrames de gasolina por fugas en los tanques de almacenamiento en el subsuelo. Las pérdidas pueden llegar a ser del 1% del volumen almacenado en cada tanque, o bien 500 a 1000 l/día, lo que aumenta la peligrosidad del área afectada en el drenaje o cualquier ducto subterráneo.

## EXTRACCIÓN Y ELIMINACIÓN DE HIDROCARBUROS.

○ La extracción de hidrocarburos de zanjas se puede hacer mediante un tubo ranurado colocado horizontal o verticalmente en la zanja. Ésta puede rellenarse con grava para evitar los riesgos de un área abierta y permitir maniobras en el terreno (figs. 1 y 2). La bomba para la extracción de gasolina debe ser especial para evitar la producción de chispas eléctricas, como las utilizadas en las gasolineras.

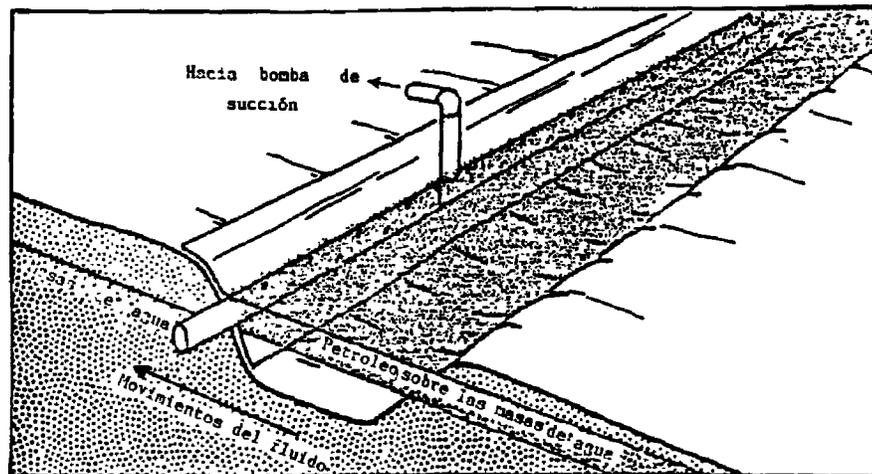


Figura 1

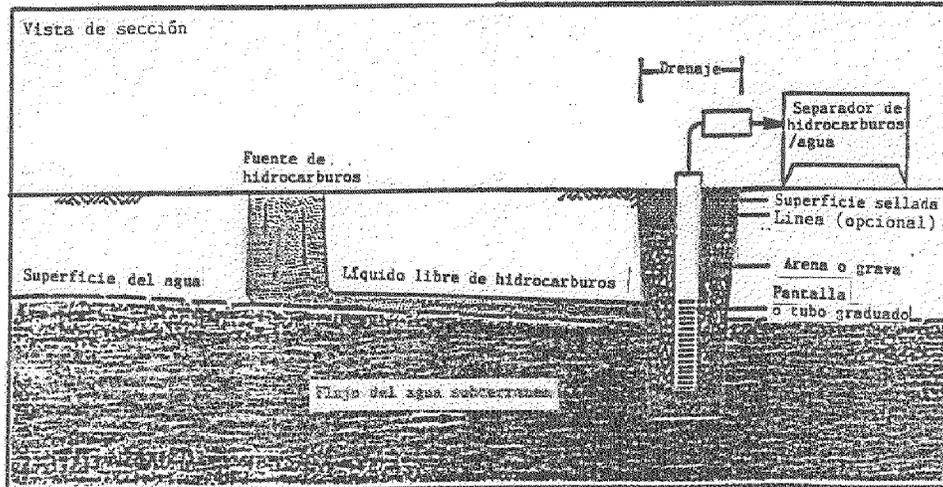
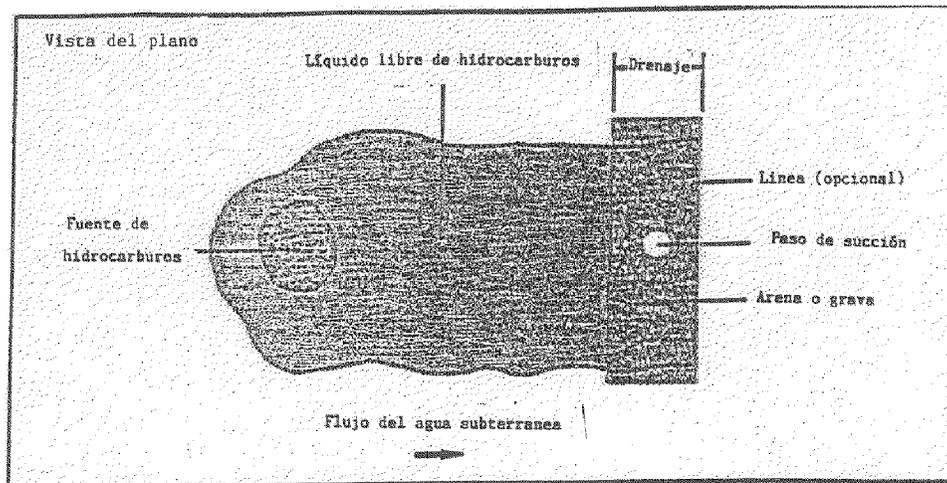


Figura 2

# IMTA

## EMERGENCIA GUADALAJARA

BOLETÍN NO. 4

29 DE ABRIL DE 1992

### ALCANTARILLAS

○ **Extracción de gases.** La tarea prioritaria debe ser la evacuación de hidrocarburos de las alcantarillas. En los lugares con alta explosividad, donde haya extractores de volátiles, debe evitarse la entrada de oxígeno al conducto, no destapando los registros. El motor del extractor debe estar construido para evitar chispas. Conviene introducir CO<sub>2</sub> (hielo seco) o espuma ligera para reducir al mínimo el riesgo de explosión. En zonas de baja explosividad o donde no se cuente con extractores, deben abrirse los registros.

○ **Limpieza de gasolina.** Una posibilidad, donde haya una lámina apreciable de gasolina, es separar algunos de los registros grandes en tres cámaras con muros de separación temporales (fig. 1). La cámara 1 retiene el flujo con la gasolina flotando. La cámara 2 recibe por arriba la gasolina flotante que luego se extrae con una bomba. La cámara 3 recibe agua por debajo de una compuerta y luego la evacúa por el conducto de drenaje.

○ **Monitoreo.** El monitoreo de gases puede avanzar en los conductos ubicados bajo instalaciones y ductos de PEMEX, en conjunto con sus especialistas y en los conductos de drenaje ubicados bajo el nivel freático donde haya concentración de gasolina en el suelo. Se recomienda mantener presión en la red de agua potable para evitar la intrusión de contaminantes.

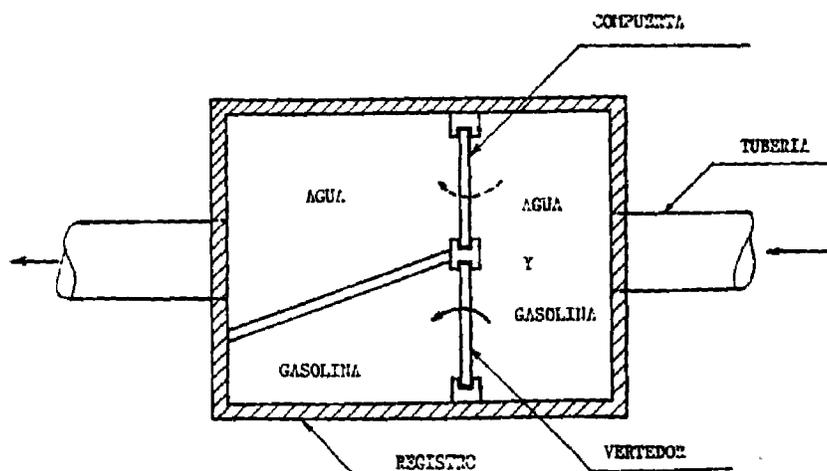


Figura 1

## SUBSUELO

○ Probable situación en la zona de alto riesgo. El derrame principal se produjo a través de un orificio de ca.  $1\text{cm}^2$  de diámetro durante 1 a 2 semanas con un volumen de 200,000 a 500,000 l de gasolina. El fluido debió escurrir lateralmente y hacia abajo, pues sobre el ducto debe haber una capa compactada, lo que hizo que no se manifestara en la superficie (fig. 2). Alrededor del ducto y preferentemente debajo debe haber material granular clasificado, más permeable que el resto. El derrame reconoció primero esta zona permeable hasta que se comunicó con el drenaje. Esto pudo saturar la cama de arena, formando una mancha longitudinal inicial (fig. 3). A partir de esta mancha se debió iniciar la percolación lateral y vertical en la zona no saturada hasta llegar al nivel freático. En este primer estado el movimiento es principalmente vertical, con el contenido de gasolina por unidad de volumen disminuyendo del centro hacia afuera. La mancha se estaciona sobre el nivel freático y se esparce aguas arriba y abajo en la zona capilar. Los compuestos más densos de la gasolina se percolan hasta el fondo del acuífero o impregnan el material sólido. Los menos densos flotan o viajan aguas abajo en la zona capilar. Los miscibles en agua viajan dentro del acuífero. El movimiento se detiene al alcanzarse la saturación de inmovilización (ver boletín 3). En saturaciones bajas, la gasolina se puede inmovilizar en islas. El volumen B de material requerido para inmovilizar un volumen derramado  $B_0$  es

$$B = \frac{B_0}{nS_0}$$

donde  $n$  = porosidad y  $S_0$  = saturación residual, de aproximadamente 0.1 en gasolinas. La solubilidad de la gasolina (20-80 mg/l) hace que una parte de la mancha inmóvil migre paulatinamente en el acuífero, lo que se convierte en una fuente de contaminación hasta que la oxidación bacteriana la degrade.

El centro geométrico de la mancha afectada debe estar en la zona donde se inició el derrame. Ésta no coincide con la zona afectada en el drenaje. Es conveniente ubicar otros posibles derrames. Es muy probable que la zona no saturada afectada esté cercana a la inmovilidad.

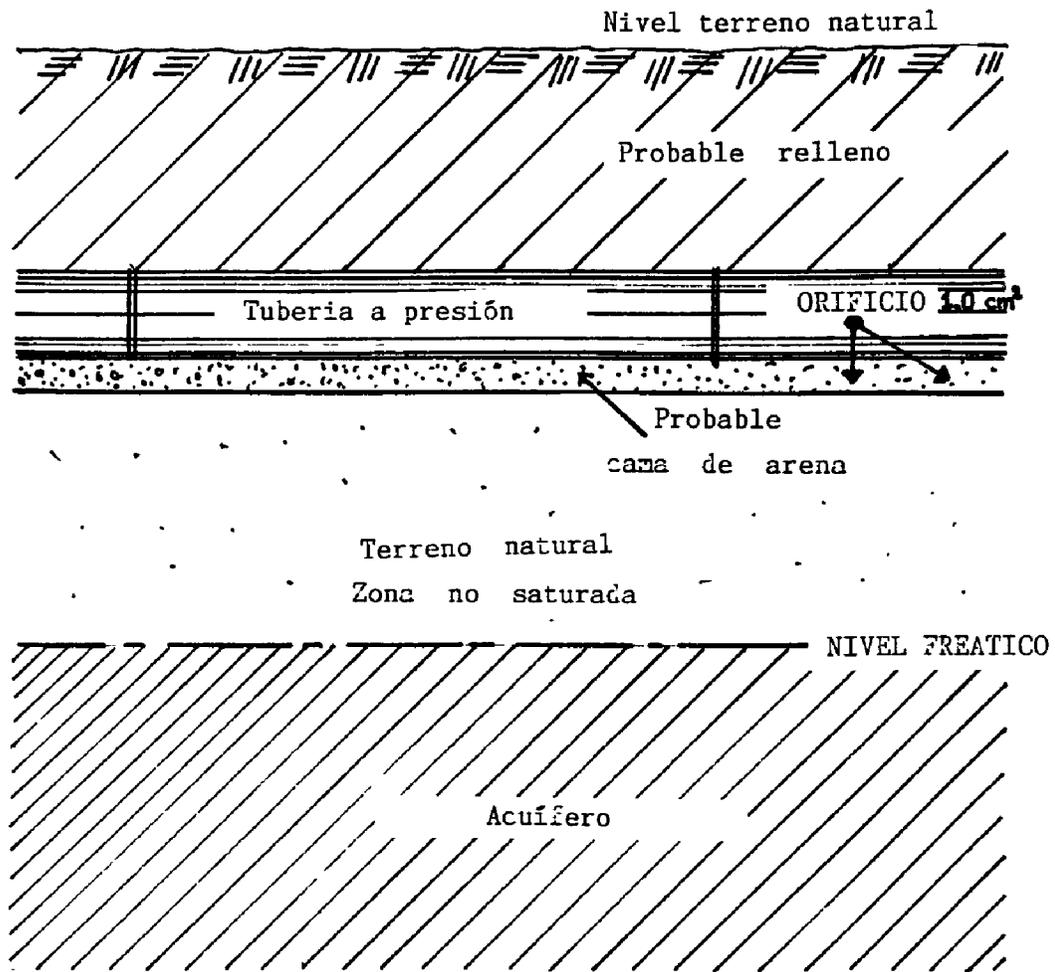


FIG. 2

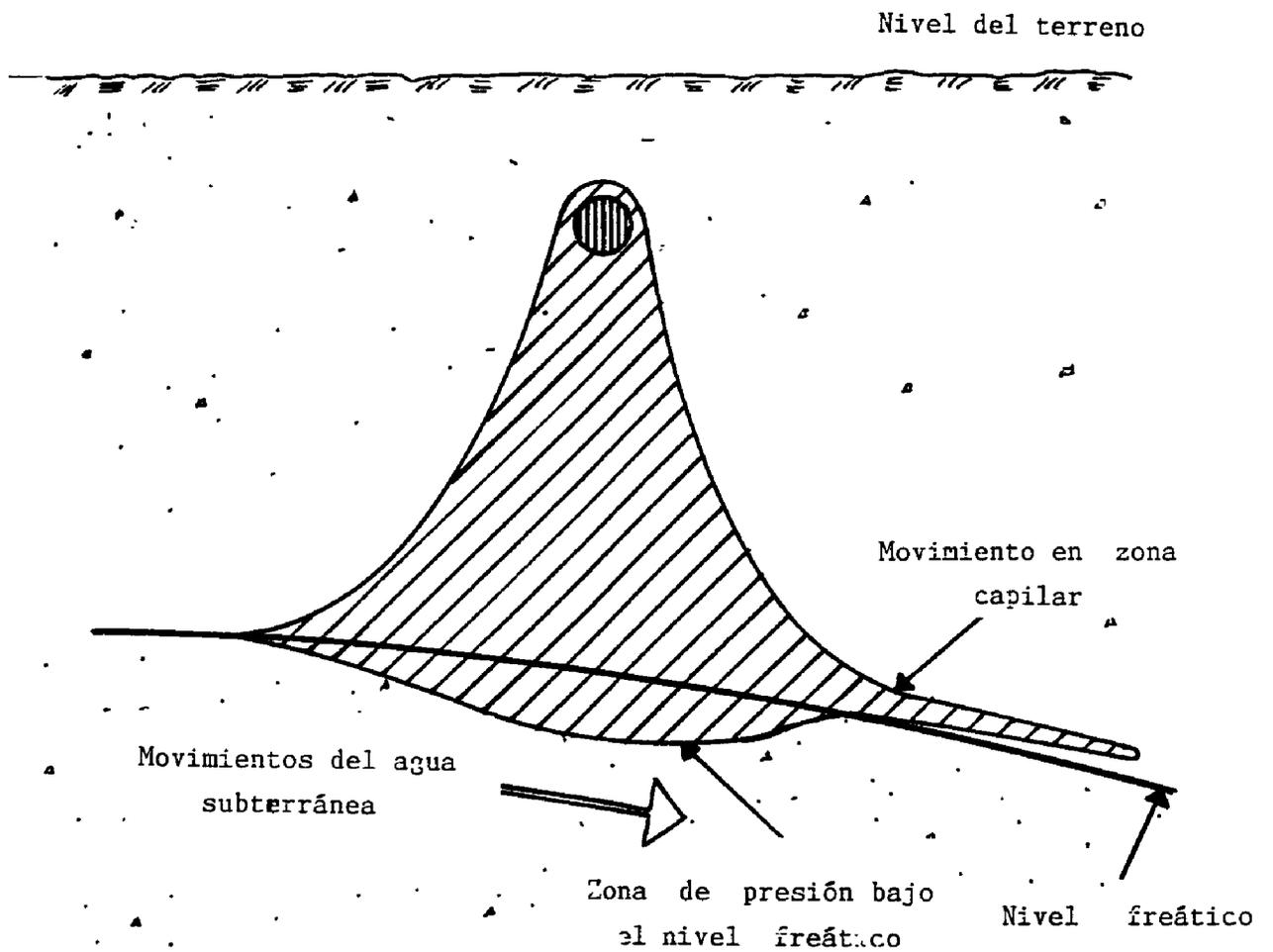


FIG. 3

# IMTA EMERGENCIA GUADALAJARA

BOLETIN No. 7

2 MAYO DE 1992

## Indice de explosividad

El indice de explosividad se define como

$$I_e = \frac{C}{C_{est}}$$

donde C = concentración de combustible

C<sub>est</sub> = concentración estequiométrica

La concentración estequiométrica es:

$$C_{est} = \frac{1}{1 + 4.773 \left( n + \frac{m-2p}{4} \right)}$$

donde 4.773 es el recíproco de la concentración de oxígeno en aire seco (20.95% O<sub>2</sub>) y n, m y p son los coeficientes estequiométricos para un hidrocarburo, C<sub>n</sub> H<sub>m</sub> O<sub>p</sub>

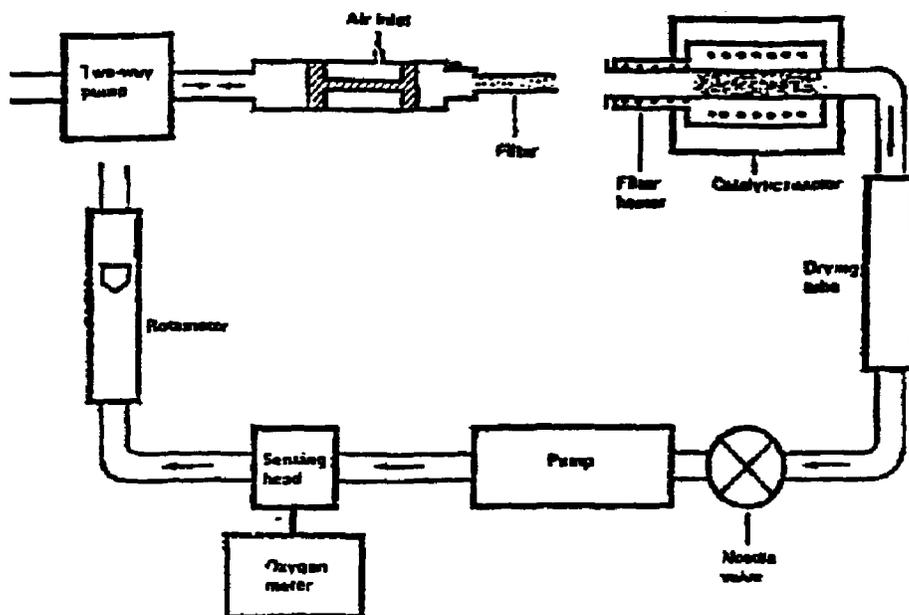


Figure 1 Schematic diagram of apparatus

### **Forma de medir**

El dispositivo para medir la explosividad determina el volumen de oxígeno consumido al oxidar completamente un volumen fijo de la muestra.

La lectura es directamente proporcional a

$$\frac{C}{C_{est}}$$

El promedio de la concentración mínima de explosividad es aproximadamente 50% de la concentración estequiométrica para la mayoría de los gases combustibles, es decir que con *índices de explosividad mayores de 50% puede producirse un estallido.*

**CURSO-TALLER : PREVENCION Y CONTROL DE  
EMERGENCIAS EN REDES DE AGUA POTABLE,  
ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO.**

*Objetivos del Curso: Al finalizar este taller el participante podrá:*

**+ OJETIVO 1 - IDENTIFICAR LOS PELIGROS MAYORES ASOCIADOS CON  
LAS OPERACIONES DE UN ORGANISMO OPERADOR**

1. Desarrollar una conciencia sobre los peligros
2. Mostrar una actitud alerta
3. Describir peligros naturales
  - Terremotos
  - Inundaciones
  - Huracanes
4. Describir peligros ocasionados por el hombre
  - Derrames
  - Peligros operacionales y de mantenimiento (espacio cerrado)
  - Filtraciones (e.g. gas de cloro)
  - Equipo peligroso
  - Incendio/Explosión
  - Sabotaje
  - Disturbio civil
  - Huelgas

**+ OBJETIVO 2 - DESARROLLAR UN MODELO DE ANALISIS DE RIESGO**

1. Identificar y dar prioridades al riesgo
2. Evaluar el impacto de riesgo
  - Infraestructura
  - Edificios
  - Personal
  - Seguridad Pública
  - Medio ambiente
3. Analizar los datos y cuantificar la frecuencia
  - Cuándo
  - Cuántas veces
  - Qué tan serio

**+ OBJETIVO 3 - DESCRIBIR LOS ELEMENTOS NECESARIOS PARA DESARROLLAR UN PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS , USANDO REGLAS ESTABLECIDAS Y ACEPTADOS POR LA INDUSTRIA.**

1. Notificación inicial
2. Comunicaciones internas/externas
3. Personal
4. Comando de operaciones
5. Organización de Emergencia
6. Sistema de aviso
7. Procedimientos de evacuación
8. Procedimientos de cesación de trabajo
9. Primeros auxilios/cuidado médico
10. Notificación regulatoria