

Universidad de Guadalajara

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS



**POZOS DE MONITOREO DE MANTOS FREATICOS
EN LA EVALUACION AMBIENTAL DE DOS AREAS
CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS EN
GUADALAJARA, JALISCO.**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
**INGENIERO AGRONOMO
FORESTAL**

P R E S E N T A :
EMILIO VALDIVIA AGUILAR

Las Agujas Mpio. de Zapopan, Jal.

Junio de 1996



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISION DE CIENCIAS AGRONOMICAS

COMITE DE TITULACION

SOLICITUD Y DICTAMEN

SOLICITUD

M.C. SALVADOR MENA MUNGUIA
 PRESIDENTE DEL COMITE DE TITULACION
 P R E S E N T E

Conforme lo indica la Ley Orgánica de la Universidad de Guadalajara y su Reglamento, así como lo establece el Reglamento interno de la División de Ciencias Agronómicas, hemos reunido los requisitos necesarios para iniciar los trámites de Titulación, por lo cual solicitamos su autorización para realizar nuestro TRABAJO DE TITULACION, con el tema:

"POZOS DE MONITOREO DE MANTOS FREATICOS EN LA EVALUACION AMBIENTAL
 DE DOS AREAS CONTAMINADAS CON HIDROCARBUROS EN GUADALAJARA, JAL."

ANEXO ORIGINAL Y DOS COPIAS DEL PROYECTO DE INVESTIGACION
 MODALIDAD: INDIVIDUAL

NOMBRE DELO SOLICITANTE	CODIGO	GENERACION	ORIENTACION O CARRERA	FIRMA
EMILIO VALDIVIA AGUILAR	80239602	80-85.	BOSQUES	<i>Emilio Valdivia</i>

Fecha de solicitud 30 DE ABRIL DE 1996

DICTAMEN DE APROBACION

DIRECTOR: JESUS N. MARTIN DEL CAMPO MORENO
 ASESOR: JOSE PABLO TORRES MORAN
 ASESOR: JESUS HERNANDEZ ALONSO

[Signature]
 M.C. SALVADOR MENA MUNGUIA
 PRESIDENTE DEL COMITE DE TITULACION

AUTORIZACION DE IMPRESION

[Signature]
 ING. JOSE PABLO TORRES MORAN
 ASESOR

MC. JESUS N. MARTIN DEL CAMPO M.
 DIRECTOR

[Signature]
 M.C. JESUS HERNANDEZ ALONSO
 ASESOR

[Signature]
 Vo. Bo. Pdt. del Comité

Fecha: 22 DE MAYO DE 1996.

AL SER SUPERIOR POR EXCELENCIA:

Por el don de la vida y los talentos recibidos, oportunidad de multiplicarlos en una constante superación y realización integral para ofrecerlos en beneficio de los demás y de esta forma darle sentido al don recibido.

A LA MEMORIA DE MIS PADRES:

SR. EMILIO VALDIVIA ROMERO. +

SRA. MARIA GUADALUPE AGUILAR GALVAN. +

Que con su cariño, sacrificios y bondad hicieron posible mi formación como profesional y al legado de principios y valores morales que me han heredado para continuar mi formación como hombre.

Un justo reconocimiento, desde mi humilde corazón, con profundo respeto, Gracias.

A MIS HERMANOS:

JULIO Y FRANCISCO, SUS RESPECTIVAS

ESPOSAS E HIJOS.

Con agradecimiento por todas sus atenciones y sacrificios; comprensivos y estimulantes que me han ofrecido; esperando seguir actuando dignamente como humano y profesionista por el curso de mi existencia, orgulloso de ser parte de la familia.

A MI ALMA MATER:

Universidad de Guadalajara, emanada del pueblo y para el pueblo, que por medio de sus maestros han puesto en mis manos el conocimiento, las herramientas y la forma de aplicarlo al bien común.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

Por su amistad y al trabajo en equipo de cinco fructíferos años para lograr realizar uno de nuestros mayores anhelos.

A MIS ASESORES:

M. C. JESUS NETZAHUALCOYOTL MARTIN DEL CAMPO MORENO.

ING. PABLO TORRES MORAN.

M. C. JESUS HERNANDEZ ALONSO.

Por sus sabios consejos y su valiosa asesoría otorgada sin límites y desinteresadamente,
que me han permitido llevar a cabo la presente investigación.

CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS.	i
INDICE DE TABLAS.	iv
INDICE DE FIGURAS.	vi
RESUMEN.	xii
1.- INTRODUCCION.	1
2.- LITERATURA REVISADA.	3
2.1.- Evaluación Ambiental de Sitio.	3
2.1.1.- Columna Geológica.	7
2.1.2.- Perfil Estratigráfico.	7
2.2.- Identificación y Clasificación de Suelos.	7
2.3.- Agua Subterránea.	7
2.3.1.- Identificación y Recarga de Acuíferos.	10
2.3.2.- Nivel de Aguas Freáticas y Faja de Capilaridad.	11
2.3.3.- Movimiento.	11
2.3.4.- Permeabilidad de las Rocas.	12
2.3.5.- Extracción.	12
2.3.6.- Explotación.	13

2.3.7.- Rendimiento.	14
2.3.8.- Reabastecimiento Artificial.	14
2.3.9.-Proyectos de Desagüe.	14
2.4.- Contaminación de Aguas Subterráneas con Derrames de Hidrocarburos.	15
2.5.- Hidrocarburos.	16
2.5.1.- Clasificación de los Hidrocarburos del Petróleo.	16
2.5.2.- Gasolina.	17
2.5.3.- Diesel.	19
2.5.4.- Riesgos con Combustibles.	20
2.6.- Pozos de Monitoreo.	24
2.6.1.- Antecedentes.	26
2.7.- Guadalajara.	28
2.7.1.- Situación Geográfica.	28
2.7.2.- Climatología.	28
2.7.3.- Geología.	29
2.7.4.- Recursos Hidrológicos.	30
2.7.5.- Colonia "Moderna".	32
2.7.6.- Sector "Reforma".	32
3.- METODOLOGIA.	36
4.- RESULTADOS Y DISCUSION.	108

5.- CONCLUSIONES.	128
6.- RECOMENDACIONES.	130
7.- LITERATURA CONSULTADA.	136

INDICE DE CUADROS

CUADRO No.		PAGINA
1	Resultados obtenidos en la colonia "Moderna" por el S.I.A.P.A. en 1974.	109
2	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en instalaciones de F.N.M. estación "Sinaloa", región "Pacífico", Guadalajara, Jalisco, (Zona "A") por "Tema, S.A." en 1993.	110
3	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en la colonia "Moderna", (Zona "B") por "Allwaste" en 1995.	112
4	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en la colonia "Moderna", (Zona "C") por "Allwaste" en 1995.	113
5	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en la colonia "Moderna", (Zona "D") por "Allwaste" en 1995.	114

6	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en la colonia "Moderna", (Zona "E") por "Allwaste" en 1995.	115
7	Determinación de características de la contaminación con Diesel en el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna" por "Allwaste" en 1995.	116
8	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en el sector "Reforma", (Zona "A") por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en 1993.	118
9	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en el sector "Reforma", (Zona "B") por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en 1993.	119
10	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en el sector "Reforma", (Zona "C") por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en 1993.	120
11	Resultados obtenidos en pozos de monitoreo en el sector "Reforma", (Zona "D") por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en 1993.	121

INDICE DE TABLAS

TABLA No		PAGINA
1	Sistema unificado de clasificación de suelos.	9
2	Localización de pozos de monitoreo instalados en el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna" por "Allwaste", "Ground-Water Technology, Inc." y "Lainco, S.A. de C.V." en 1995.	52
3	Localización de pozos de monitoreo instalados en el proyecto: "Guadalajara-Coese" en el sector "Reforma" por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en 1993.	57
4	Métodos de perforación en varios tipos de suelo con diferentes materiales geológicos.	71
5	Tipos de materiales de tubería y accesorios para pozo de monitoreo compatibles con características de corrosión y contaminación del sitio.	76
6	Especificaciones de tubería lisa y ranurada en diversos materiales para pozo de monitoreo.	78

7	Composición química de la arena de sílice para el empaque-filtro del pozo de monitoreo.	84
8	Granulometría de la arena de sílice para el empaque-filtro del pozo de monitoreo.	84
9	Características físico-químicas de la arena de sílice para el pozo de monitoreo.	85
10	Relación entre el diámetro de la perforación y el diámetro de la tubería para pozo de monitoreo a instalarse en la perforación.	88
11	Cantidad en peso de arena de sílice a utilizarse en un pozo de monitoreo de acuerdo al volumen anular formado en relación a diferentes dimensiones entre el diámetro de la perforación y el diámetro de la tubería utilizada.	93
12	Cantidad en peso de bentonita peletizada a utilizarse en un pozo de monitoreo de acuerdo al volumen anular formado en relación a diferentes dimensiones entre el diámetro de la perforación y el diámetro de la tubería utilizada.	96

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.		PAGINA
1	Columna geológica.	8
2	Perfil estratigráfico.	8
3	Pozos de monitoreo en la investigación del subsuelo.	25
4	Plano de localización de la colonia "Moderna" de Guadalajara, Jal. Méx.	33
5	Plano de localización del sector "Reforma" de Guadalajara, Jal. Méx.	35
6	Area afectada por la contaminación con Diesel y sitios de localización de pozos de monitoreo en la colonia "Moderna" y patios de F.N.M. en Guadalajara, Jal. por el S.I.A.P.A. en 1974 en la propuesta de "Woodward-Clyde" de 1993.	37

7	Esquema de razonamiento para perforaciones de perímetro y probables conversiones a pozos de monitoreo en la propuesta de "Woodward-Clyde" en 1993.	42
8	Diagrama esquemático típico de pozo de monitoreo sugerido en la propuesta de "Woodward-Clyde" en 1993.	44
9	Plano de localización de pozos de monitoreo instalados por "Allwaste" en el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna" en 1995.	54
10	Pozo de monitoreo instalado por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en el proyecto: "Guadalajara-Coese" en el sector "Reforma" en 1993.	56
11	Plano de localización de pozos de monitoreo instalados por "E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST" en el Proyecto: "Guadalajara-Coese" en el sector "Reforma" en 1993.	59

12	Maquina perforadora rotatoria montada sobre camión transportador.	62
13	Barrena helicoidal hueca ("Auger") con accesorios y brocas de perforación.	63
14	Barril muestreador de media caña, penetrómetro estandard.	64
15	Detectores-medidores de la calidad del aire y atmósferas raras.	65
16	Forma de ("cadena de custodia").	66
17	Sonda medidora del nivel de aguas freáticas y detectora de interfase: agua-hidrocarburos.	67
18	Medidor de conductibilidad eléctrica, temperatura y pH.	67
19	Partes que forman un pozo de monitoreo.	69

20	Pozo de monitoreo tipo único.	75
21	Pozo de monitoreo tipo nido.	75
22	Pozo de monitoreo tipo fardo.	75
23	Tubería lisa y ranurada para pozo de monitoreo.	80
24	Tapa superior a presión para cerrar la tubería del pozo de monitoreo.	81
25	Tapón inferior para sellar el extremo de la tubería ranurada del pozo de monitoreo.	81
26	Centralizador para centrar el pozo de monitoreo dentro del orificio que forman los "Augers" en el agujero de la perforación.	81
27	Tapa protectora: redonda, tipo alcantarilla. que se cierra con tornillos.	81

28	Tapa protectora: cuadrada, tipo baúl, que se cierra con llave tipo alarma de automóvil.	81
29	Tapa protectora: tipo monumento con candado.	81
30	Instalación del pozo de monitoreo: extracción de los "Augers" del agujero de perforación con el jalón de anillo con cadenas y la cuchara sujetadora.	89
31	Instalación del pozo de monitoreo: completo con tubería y accesorios, en el interior del agujero de la perforación.	91
32	Construcción del empaque-filtro con arena de sílice utilizando el tubo "Tremie".	94
33	Construcción del sello anular con bentonita a granel utilizando el tubo "Tremie".	97

34	Relleno con "mortero" del agujero de la perforación; con el pozo de monitoreo instalado, utilizando el método "Tremie" y bomba a presión.	98
35	Instalación de la tapa protectora y construcción de la zona de protección.	100
36	Pozo de monitoreo completamente instalado y construido.	101
37	Muestreador ("bailer") de agua subterránea.	103
38	Lavadora de vapor a presión.	104
39	Conjuntos de protección personal por niveles, según clasificación de la O.S.H.A.	107
40	Detectores de fugas de pozos de monitoreo y estaciones remotas.	132

RESUMEN

En la Zona Metropolitana de Guadalajara, el agua, recurso natural no renovable, es cada día más escaso y de ínfima calidad.

De los mantos freáticos fuente importante de abastecimiento se extraen 2,000 lts/seg representando el 18% del gasto total, (18).

El agua subterránea, no puede ser aprovechada en su totalidad de los mantos freáticos por estar, en su mayor parte, contaminados con residuos peligrosos, específicamente por DIESEL en la colonia "Moderna" y GASOLINA en el sector "Reforma", constituyendo un peligro latente por su alto riesgo a la vida de los habitantes y el medio ambiente.

Se desconoce la magnitud horizontal y vertical de la pluma de hidrocarburos, su concentración en partes por millón, la fase de absorción, el nivel de explosividad y la fuente de escape; por lo que, se hace necesario un instrumento de monitoreo que mida los parámetros anteriores.

Los objetivos del presente trabajo son:

El inmediato, dar a conocer la modalidad "pozo de monitoreo" como piezómetro de los parámetros más importantes de las características generales de los acuíferos en los mantos freáticos contaminados en los proyectos: "Saneamiento de la colonia Moderna" y "Guadalajara-Coese" en el sector "Reforma".

A largo plazo, crear una conciencia responsable en empresarios, universitarios y sociedad en general, cada uno en su ambiente de trabajo de preservar y usar racionalmente los recursos naturales con los que tienen contacto en su vida diaria y generar una cultura que conduzca a la búsqueda de alternativas tecnológicas adecuadas contra la contaminación ambiental que desarrolle alternativas efectivas de conservación y restauración.

Dicha investigación aborda única y exclusivamente los trabajos de instalación de pozos de monitoreo que se colocaron en las dos áreas afectadas, siguiendo de cerca los trabajos y actividades de las compañías nacionales y extranjeras, haciendo referencia a las acciones de evaluación, presentación de propuestas, contratación y de las fases de evaluación ambiental, desde el momento que se detecto el problema de contaminación hace aproximadamente 21 años en la colonia "Moderna", hasta la instalación, desarrollo de los pozos y el intento de extraer el contaminante en el agua de los mantos freáticos del sector "Reforma". La cuál se llevo a cabo de noviembre de 1993 a julio de 1995; con sus características peculiares, condiciones y limitaciones inherentes al tipo de metodología y al grado de exactitud; obteniendose los siguientes resultados:

1.- El tipo de suelos en las dos áreas afectadas como en el resto de la ciudad es uniforme, consistente en depósitos de arena y grava, de fina a gruesa , de origen volcánico.

2.- La profundidad de los pozos de monitoreo en la colonia "Moderna" fue de 12.0 m., en el sector "Reforma" de 6.50 m.

3.- La profundidad del nivel de aguas freáticas se encuentra en la colonia "Moderna" a los 5.0 m., en el sector "Reforma", a los 4.0 m.

4.- El grosor de la faja de hidrocarburos flotantes es en promedio de 3.0 m. en la colonia "Moderna" y de 1.50 m. en el sector "Reforma".

5.- El flujo en la colonia "Moderna" sigue la dirección: noreste, en el sector "Reforma", dirección: noroeste.

6.- La fuente de escape principal de DIESEL se encuentra en las instalaciones de F.N.M. estación "Sinaloa", región "Pacífico", la de GASOLINA, en el oleoducto: "Salamanca-Guadalajara", averiado en la colonia "Alamo-Industrial".

7.- Tanto el DIESEL de la colonia "Moderna", como la GASOLINA del sector "Reforma", se encuentran en "fase libre" de absorción, representando en las dos áreas el 60% del derrame, fase propicia para la extracción de los hidrocarburos en el agua.

8.- Existe la generación de vapores en las dos áreas evaluadas.

9.- En la colonia "Moderna", la extensión horizontal y vertical de la contaminación coincide con la establecida en investigaciones anteriores; en el sector "Reforma" la zona de mayor contaminación se estableció en el parque: "Agua Azul" y la "Antigua Central Camionera".

10.- En la colonia "Moderna" al termino de la presente investigación continuaban los trabajos correspondientes al proyecto de restauración, mientras que en el sector "Reforma" no se tiene noticias de ningún proyecto de continuación.

De la investigación misma, de los trabajos de las compañías en los proyectos de restauración en las dos áreas y de los resultados de monitoreo, se desprenden las siguientes conclusiones:

1.- Se ha cumplido con el objetivo inmediato de dar a conocer la tecnología de pozos de monitoreo de mantos freáticos" y en la evaluación de características hidrogeológicas se han establecido las causas y efectos de la contaminación para aplicar acciones efectivas de restauración. El objetivo a largo plazo se cumplirá cuando investigaciones como la presente aporten alternativas de importancia en el conocimiento, utilización y preservación de los recursos naturales; que sean accesibles a la sociedad en general, rescatando las costumbres que contribuyan a evitar la contaminación del agua, específicamente de los acuíferos subterráneos y generé tecnología adecuada para enfrentar problemas de ésta índole.

2.- La instalación de pozos de monitoreo de mantos freáticos en las dos áreas evaluadas cumplieron con su objetivo.

3.- Los hidrocarburos presentes en las dos áreas se encuentran en fase "LIBRE", fase propicia para extraerlos en el agua del acuífero.

4.- Existe un total hermetismo de parte de las autoridades del gobierno estatal y de las relacionadas con el problema al no informar a la ciudadanía de los proyectos de restauración y procedimientos de respuesta a una posible emergencia de los riesgos latentes que aun persisten.

1.- INTRODUCCION

El agua en la actualidad es un recurso natural no renovable, vital para el hombre. En la zona metropolitana de Guadalajara, el agua es cada día más escasa y de menor calidad. El "Lago de Chapala", fuente importante de abastecimiento con 7,500 lts/seg, 62% del total, está afectado por eutroficación y los niveles descendieron drásticamente en 1990. Otra fuente la constituye el agua subterránea de los mantos freáticos con 2,000 lts/seg. representando el 18% del gasto total, (18).

La ciudad sufre constantemente derrames de hidrocarburos en gasolineras, talleres, plantas de llenado, refinerías y petroquímicas, entre otros. Además de sustancias peligrosas provenientes, no sólo de la industria, sino de las mismas casas-habitación, en donde se descargan al drenaje sin ningún control o tratamiento; o simplemente se tiran en el suelo, yendo a parar finalmente en su recorrido a las aguas subterráneas. Por lo que, se hace imposible el aprovechamiento total de este tipo de agua por encontrarse en su mayor parte contaminada; específicamente; en la colonia "Moderna" con diesel y en el sector "Reforma" con gasolina.

Se desconocen, los parámetros principales de las características hidrogeológicas de los acuíferos subterráneos, así como; el riesgo para los habitantes de las áreas, el daño al medio ambiente y las estructuras. Este desconocimiento, sus factores y la concentración de vapores suscitaron la tragedia de las explosiones del 22 de abril de 1992. Haciéndose necesario un instrumento de monitoreo constante en los mantos freáticos de estos sitios para detectar los parámetros anteriores y determinar alternativas efectivas de restauración.

El objetivo inmediato de esta investigación es dar a conocer la utilización de pozos de monitoreo de mantos freáticos en los proyectos: "Saneamiento de la colonia Moderna" y "Guadalajara-Coese" en el sector "Reforma".

El objetivo a largo plazo. Presentar una aportación de una experiencia de trabajo que pueda contribuir a crear una conciencia más comprometida en el uso racional y preservación de los recursos naturales, en empresarios, universitarios y sociedad en general y motivar a la generación de tecnología adecuada a la presente problemática.

2.- LITERATURA REVISADA

2.1.- En los Estados Unidos de América una Investigación Ambiental de Sitio está íntimamente relacionada con las operaciones de compra-venta y arrendamiento de bienes raíces, bajo la ley CERCLA SUPERFUND (Respuesta Inmediata Contra Todo Riesgo Ambiental, Indemnización y Acciones de responsabilidad, SUPERFONDO), es decir, que el dueño o quiénes en arrendamiento, hagan uso del predio en cuestión, están sujetos a severas normas de responsabilidad en relación a la contaminación y limpieza del mismo, (2).

Con la ratificación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte entre México, Estados Unidos de América y Canadá; empresas extranjeras que se han establecido en México, antes de comprar o rentar terrenos para establecerse, recurren a consultorias para que les efectúen en el predio específico, una investigación de evaluación ambiental de sitio, para asegurarse de no adquirir riesgos y como un antecedente al estudio de impacto ambiental en su modalidad general, requisito que deben presentar ante las autoridades ambientales mexicanas.

Por lo anteriormente descrito, la Investigación de una Evaluación Ambiental de Sitio, tiene importancia relevante dentro del ámbito legal en transacciones comerciales y en pleitos de responsabilidad de generadores de contaminación, quedando en los E. E. U. U. este tipo de Investigación o Procedimiento de Evaluación. incluida en la A.S.T.M. American Society Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales bajo los números E 1528-93 Procedimiento Práctico Para Una Evaluación Ambiental de Sitio en Procesos Comerciales y E 1527-94 Procedimiento para una Evaluación Ambiental de Sitio, (2).

Con el propósito de evitar confusiones entre los términos y conceptos, se usarán los adoptados por la A.S.T.M. y la A.G.W.S.E. Association of Ground Water Scientists And Engineers (Asociación Científica de Ingenieros de Suelo y Agua), refiriéndose a esta investigación como "Evaluación Ambiental de Sitio". (2).

Esta evaluación También es conocida como (RI/FS) por sus siglas en ingles, Investigación Remediadora/Estudio de Vialidad Formal, (2).

De acuerdo a la finalidad de este tipo de estudios, se debe enfocar única y exclusivamente a la información esencial necesaria para la toma de decisiones razonables a cerca del sitio en investigación, evaluando las metas y ajustandose a los requisitos regulatorios vigentes.

Se desarrollan planes de trabajo y muestreo, se establecen guías de salud y seguridad, se obtienen los permisos y aprobaciones necesarias y se supervisa constantemente.

Es importante reconocer que su alcance no está expresamente definido en los estatutos y regulaciones, existiendo confusión en las partes y servicios que incluye.

La industria en los E E. U U. ha dividido el alcance de este "Tramite de Investigación" en tres fases. También el alcance de estas fases no esta plenamente definido. De este modo, la siguiente es una descripción general de cada fase, (2).

Fase I.- Recolección y Análisis de Datos y Reconocimiento del Sitio.

Es una inspección o historial de las condiciones físicas del terreno en estudio, que consta de:

- 1.- Recopilación y análisis de antecedentes.
- 2.- Fotografía aérea en avión o globo aerostático, en blanco y negro, color, infrarrojo, que determinen con precisión y detalle actividades tanto humanas como de la naturaleza.
- 3.- Sensores remotos, sensores de radar y escaners, que proporcionen detalles y características especiales del sitio.
- 4.- Cartografía: geológica, hidrológica, del uso y potencial del suelo, edafológica, urbana, etc., que ayuden a la caracterización del lugar.

5.- Recorrido de verificación en campo; inspección física de características y actividades del sitio y predios circunvecinos detalladamente.

6.- Recopilación, análisis, selección y procesamiento de la información recabada durante esta fase.

7.- Preparación del informe con las actividades de la investigación llevadas a cabo, resultados, conclusiones, recomendaciones y presentación del mismo, (2).

Fase II.- Caracterización (Muestreo y Análisis Químicos) del Sitio.

Usualmente conducida después de la Fase I, para obtener mayor información específica de las condiciones del subsuelo y aguas freáticas del sitio. Generalmente incluye muestreos de suelo y agua y consta de:

1.- Exploración geofísica del área por cualquiera de los siguientes métodos: gravimétrico, magnético, sísmico y eléctrico.

2.- Exploraciones geológicas directas.

El procedimiento más común para hacer investigaciones subterráneas, es practicar perforaciones en los sitios escogidos para obtener muestras de roca, suelo y agua.

Los métodos de muestreo más empleados son: pozos a cielo abierto, penetración estandar, tubo ("Shelby"), perforación rotatoria con barrena helicoidal hueca y taladro muestreador con barrenos.

Se puede incluir en la información, columnas geológicas y el perfil estratigráfico durante la perforación para identificar y clasificar el tipo de suelos en los estratos y detectar potenciales sendas de migración de contaminantes hacia el subsuelo y mantos freáticos, (2).

Durante la Fase II, también se incluye:

La perforación e instalación de piezómetros de investigación y monitoreo, entre los más comunes se encuentran:

Pozos de monitoreo de mantos freáticos.

Pozos de observación en estaciones de servicio de despacho de combustibles, tanque-trinchera.

Pozos de doble función: monitoreo-recuperación.

Pozos de extracción de vapor.

El muestreo de suelo y agua subterráneos de acuerdo con la normas de control de calidad y procedimientos de la U.S. E.P.A. (Environmental Protection Agency) Agencia de Protección Ambiental de los E. E. U. U.

El análisis químico e interpretación de resultados de suelo y agua de acuerdo a normalización de control de calidad, metodología y límites de niveles de elementos contaminantes permitidos por la U.S. E.P.A.

El monitoreo y la determinación de la dirección del flujo del agua del acuífero, origen de la contaminación aproximada horizontal y vertical de los contaminantes en el subsuelo y mantos freáticos.

La identificación de riesgos al ambiente, infraestructura, propiedades y salud pública.

El informe y el dictamen, (2)

Fase III.- Evaluación de Datos y Alternativas Factibles de Restauración.- No es prácticamente una investigación, es un análisis que relaciona los datos de las dos fases anteriores identificando y caracterizando exactamente el impacto o riesgo, determinando si hace falta o no una acción restauradora y evaluando las diferentes opciones de reacción en términos de costo, rapidez, seguridad, disponibilidad y capacidad de cumplir con todas las normas reguladoras, (2).

2.1.1.- Columna Geológica.- Puig (14). En la práctica la columna geológica es una perforación, es la sucesión de los estratos encontrados. El conocimiento de la columna geológica es el objeto directo de cada excavación. Se presenta a escala dando a cada capa su espesor relativo, figura No. 1.

2.1.2.- Perfil Estratigráfico.- Puig (14). También llamado perfil geológico o de suelos.- Se forma uniendo gráficamente los contactos entre los diferentes estratos de cada una de las columnas geológicas. La formación del perfil estratigráfico requiere un criterio geológico y el conocimiento de la geología superficial, figura No. 2.

2.2.- Identificación y Clasificación de Suelos.- I.M.S.S. (10). Los principales componentes de los suelos son: los boleos, los guijarros, las gravas, las arenas, los limos, las arcillas y la materia orgánica

Existen tres grandes grupos de suelos: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos. Los suelos se identifican de acuerdo con el tamaño de sus partículas (SUELOS GRUESOS) y su plasticidad (SUELOS FINOS) basándose en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, Tabla No. 1, (10).

2.3.- Agua Subterránea.- Fair, et al (8). Menor en su aportación diaria pero muchas veces más numerosa que los abastecimientos superficiales, son los suministros subterráneos municipales y privados.

Puig (14). Con respecto a la geohidrología, la porción superficial porosa de la corteza terrestre puede ser dividida en dos zonas:

1.- Zona de Saturación.- Es aquella cuya superficie superior está limitada por el nivel de aguas freáticas (N.A.F.), o por una formación impermeable, (14).

TABLA No. I SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS

SUS TIPOS		IDENTIFICACION		Simbolo de Clase	Notas
GRANDES MAYORES DE 75 cm MENORES DE 75 cm	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.			Fg	1.—Cuando los fragmentos de roca constituyen más del 10% de suelo, el material se clasifica con símbolo doble, utilizando símbolos del suelo correspondiente y del fragmento respectivo. Si el volumen de suelo es mayor del 50% el símbolo de suelo se antecederá al de fragmentos; si el volumen de suelo es comprendido entre 10 y 50%, se usará lo que se considere en el símbolo de los fragmentos de roca.
	Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.			Fgm	
	Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.			Fgc	
	Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.			Fgms	
MEDIANOS MAYORES DE 20 cm MENORES DE 75 cm	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.			Fn	Ejemplo 1 Ejemplo 2 Un material contiene: Un suelo contiene: 80% de FO 20% de FM 20% de FN 30% de GM 10% de FG 30% de FN 5% de FO 10% de FG Su símbolo sería: Su símbolo sería OC-Fgn Fm-GM Los porcentajes en volumen de los diferentes fragmentos de roca que constituyen el material, se hará en forma similar.
	Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.			Fnc	
	Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.			Fng	
	Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.			Fngc	
CHICOS MAYORES DE 7.6 cm (3") MENORES DE 20 cm	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.			Fc	2.—La clasificación de suelos que aparecen en este cuadro corresponde, en general, al Sistema Unificado de Suelos, y puede considerarse como la versión I.C.F. de dicho sistema. 3.—Todos los tamaños de las mallas que se refieren en este cuadro son los de la U.S. Standard (abertura cuadrada). 4.—Como los símbolos de los suelos preceden en general a los de los fragmentos de roca que constituyen el material, se darán los requisitos de los suelos que aparecen en el material: O — Grava S — Arena M — Limo C — Arcilla W — Brea gruesa F — Mal graduada L — Baja compresibilidad H — Alta compresibilidad D — Suelo orgánico P — Turba 5.—Tratándose de suelos con partículas gruesas, se que el 75% se pase por la malla N.º 20, el 20% se pase por la malla N.º 40, y el 5% se pase por la malla N.º 100, se usará como de brea, que requiere el uso de símbolos dobles. Ejemplos: OW-OC corresponde a una mezcla de arena y arena bien graduada con arcillas azules; OS-OS, corresponde a un material bien graduado con menos del 5% pasando la malla N.º 100 y formada en fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena. 6.—Los coeficientes de Uniformidad (Cu) de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}, Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$ Donde D ₁₀ y D ₆₀ son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes al 10, 30 y 60% de peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica. 7.—La clasificación de los suelos de partículas finas se determina principalmente haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla N.º 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad, a que se refiere el inciso 90-01.1, que aparece separado.
	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.			Fcm	
	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.			Fgc	
	Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo.			Fgmc	
GRAVAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas) GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas) ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas) LIMOS Y ARCILLAS LIMOS VIBRIOS LIMOS Y ARCILLAS LIMOS VIBRIOS LIMOS Y ARCILLAS LIMOS VIBRIOS	GRAVAS LIMPAS (Poco o nada de partículas finas)	Gravas bien graduadas, mezcla de grava y arena, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota N.º 2.)	Menos de 5% en peso pasa la malla N.º 200.	GW	1.—Como los símbolos de los suelos preceden en general a los de los fragmentos de roca que constituyen el material, se darán los requisitos de los suelos que aparecen en el material: O — Grava S — Arena M — Limo C — Arcilla W — Brea gruesa F — Mal graduada L — Baja compresibilidad H — Alta compresibilidad D — Suelo orgánico P — Turba 5.—Tratándose de suelos con partículas gruesas, se que el 75% se pase por la malla N.º 20, el 20% se pase por la malla N.º 40, y el 5% se pase por la malla N.º 100, se usará como de brea, que requiere el uso de símbolos dobles. Ejemplos: OW-OC corresponde a una mezcla de arena y arena bien graduada con arcillas azules; OS-OS, corresponde a un material bien graduado con menos del 5% pasando la malla N.º 100 y formada en fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena. 6.—Los coeficientes de Uniformidad (Cu) de Curvatura (Cc), que se utilizan para juzgar la graduación de los suelos GW, GP, SW y SP, están dados por las siguientes expresiones: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}, Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$ Donde D ₁₀ y D ₆₀ son los diámetros o aberturas de las mallas correspondientes al 10, 30 y 60% de peso, respectivamente, del material que pasa, según la curva granulométrica. 7.—La clasificación de los suelos de partículas finas se determina principalmente haciendo pruebas de límite de plasticidad, a la fracción que pasa la malla N.º 40 para ubicarlos en la carta de plasticidad, a que se refiere el inciso 90-01.1, que aparece separado.
	GRAVAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para OW.	Menos de 5% en peso pasa la malla N.º 200.	GP	
	GRAVAS LIMPIAS, mezcla de grava, arena y arena, mal graduada.		Más de 15% en peso pasa la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, e $Ip > 4$. (Véase abajo, grupo ML.)	GM	
	Grava arcillosa, mezcla de grava, arena y arcilla, mal graduada.		Más de 15% en peso pasa la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, e $Ip > 4$. (Véase abajo, grupo CL.)	GO	
	ARENAS LIMPIAS (Poco o nada de partículas finas)	Areñas bien graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. Deben tener un coeficiente de uniformidad (Cu) mayor de 4 y un coeficiente de curvatura (Cc) entre 1 y 3. (Ver nota N.º 2.)	Menos de 5% en peso pasa la malla N.º 200.	SW	
	ARENAS CON FINOS (Cantidad apreciable de partículas finas)	Areñas mal graduadas, arenas con grava, poco o nada de finos. No satisfacen los requisitos de graduación para SW.	Menos de 5% en peso pasa la malla N.º 200.	SP	
	ARENAS LIMPIAS, mezcla de arena y limo mal graduada.		Más de 15% en peso pasa la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasifican como un suelo ML, abajo de la línea "A" de la carta de plasticidad, e $Ip > 4$. (Véase abajo, grupo ML.)	SM	
	ARENAS ARCILLOSAS, mezcla de arena y arcilla mal graduada.		Más de 15% en peso pasa la malla N.º 200 y las pruebas de límites, efectuadas en la fracción que pasa la malla N.º 40, la clasifican como un suelo CL, arriba de la línea "A" de la carta de plasticidad, e $Ip > 4$. (Véase abajo, grupo CL.)	SO	
	LIMOS INORGANICOS y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas y arcillosas ligeras o plásticas. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)			ML	
	Arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, arcillas con grava, arcillas arcillosas, arcillas limosas, arcillas pobres. (Dentro de la zona II de la carta de plasticidad.)			CL	
	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. (Dentro de la zona I de la carta de plasticidad.)			OL	
	Limos inorgánicos de baja o mediana plasticidad, arenas finas o limos maladosos o distorcidos, limos alélicos. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)			MH ₁	
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas limosas. (Dentro de la zona IV de la carta de plasticidad.)			CH ₁		
Limos y arcillas orgánicas de media o alta plasticidad. (Dentro de la zona III de la carta de plasticidad.)			OH ₁		
Limos inorgánicos de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)			MH ₂		
Arcillas inorgánicas de muy alta plasticidad. (Dentro de la zona VI de la carta de plasticidad.)			CH ₂		
Limos y arcillas orgánicas de alta plasticidad. (Dentro de la zona V de la carta de plasticidad.)			OH ₂		
ALTAMENTE ORGANICOS	Fácilmente identificables por su color, olor, una alta esponjosa y frías al tacto. Se desmenuzan por su textura fibrosa. Turba y otros suelos altamente orgánicos.			P	

2.- Zona Suprayacente o de Aereación.- Comprende desde el N.A.F. hasta la superficie, (14).

El agua que se encuentra en la Zona de Saturación se llama generalmente agua del subsuelo; el agua de la Zona de Aereación se le llama agua vadosa o quedada, incluida en la designación de humedad del subsuelo. El término agua subterránea incluye tanto el agua vadosa como a la que se encuentra debajo del nivel freático, (14).

2.3.1.- Infiltración y Recarga de Acuíferos.- Puig (14). Se define como acuífero a una roca que contiene agua.

Los movimientos del agua en las rocas y en los suelos forma parte del ciclo hidrológico. El primer paso en la etapa subterránea del ciclo es la infiltración. El agua infiltrada puede seguir dos caminos: permanecer en el suelo hasta ser devuelta a la atmósfera por evaporación directa o por transpiración de las plantas o bien ir hacia abajo hasta llegar al N.A.F. a juntarse con el resto del agua del subsuelo, (14).

Tanto la infiltración como la recarga se ven afectadas por las reacciones en la precipitación y por las diferencias que hay en las rocas en cuanto a las facilidades de infiltración.

Bajo similares condiciones de precipitación y clima, la infiltración y recarga de los acuíferos difiere demasiado de un lugar a otro de acuerdo con las diferencias en la facilidad de infiltración. Esas diferencias son debidas a la morfología, estratigrafía, estructura, textura, espesor del suelo y cubierta vegetal, (14).

Fair, et al (8). El área de alimentación puede encontrarse cerca o a una distancia considerable, especialmente cuando el flujo esta confinado dentro de un estado freático o acuífero, yacente bajo un estrato impermeable o acuíclusa.

Puig (14). Un levantamiento rápido del N.A.F. es indicativo de una baja permeabilidad o sea, falta de capacidad de las rocas para almacenar o para permitir el paso del agua.

2.3.2.- Nivel de Aguas Freáticas y Faja de Capilaridad.- Puig (14). Inmediatamente encima del manto freático se encuentra la faja de capilaridad, en la cual el agua se haya "colgada", como si hubiera tubos capilares irregulares. El manto freático es una superficie imaginaria que señala el nivel hidrostático al que se encuentra el agua subterránea bajo la presión atmosférica. La superficie real del agua es irregular en la parte superior de la faja de capilaridad.

Cuando el manto freático baja por causas naturales o bombeo, la faja capilar también desciende y el agua que llenaba los intersticios es evacuada parcialmente.

2.3.3.- Movimiento.- Puig (14). El agua subterránea, en la zona de saturación generalmente se encuentra en movimiento muy lento y continuo por lo menos hasta la profundidad donde el agua es dulce.

El flujo en tubos muy pequeños varía directamente con el gradiente hidrostático.

La energía que gasta el agua subterránea en su movimiento, por la fricción interna debida a su propia viscosidad, es proporcionada por la diferencia de cargas entre el lugar de entrada y el de salida de un acuífero, (14).

Fair, et al (8). El flujo se extiende lateralmente a través de la anchura del acuífero; verticalmente es tan profundo como la zona de poros abiertos y pasajes en la costra de la tierra y tan vadoso como el nivel freático. Cuando la superficie del agua sube y baja con los cambios de estación, en la recarga, el flujo es no confinado o libre y el nivel freático se inclina hacia abajo, más o menos paralelamente a la superficie del suelo. El flujo se mueve entonces en ángulo recto a los contornos del nivel freático.

Si un estrato poroso yace bajo una capa impermeable, el flujo está confinado como si se encontrará en un tubo que penetra bajo la línea piezométrica. Cuando se perfora esta clase de acuífero, brota de él, a presión agua artésiana; en algunas situaciones geológicas, sale en forma de fuentes brotantes. En otra formación geológica, el agua está confinada sobre lentes de material impermeable sobre el verdadero nivel freático, (8).

2.3.4.- Permeabilidad de las Rocas.- Puig (14). La permeabilidad de las rocas puede diferir demasiado aun en una misma formación geológica. Frecuentemente las rocas poseen cierta estructura y el flujo del agua es controlado por la alteración de capas permeables e impermeables, por los echados y pliegues, por discordancias, fallas, diques, mantos u otras estructuras.

2.3.5.- Extracción.- Fair, et al (8). El agua subterránea se extrae de muchas formaciones geológicas:

1.- De los poros de depósitos aluviales: (arrastrados por las aguas); glaciales o eólicos (arrastrados por los vientos) de materiales granulares no consolidados, tales como arena y grava y materiales consolidados como areniscas, (8).

2.- De los pasajes, cavernosos y planos de fracturas de soluciones en rocas sedimentarias, tales como piedra caliza, pizarra y esquistos, (8).

3.- De las fracturas y fisuras de rocas ígneas, (8).

4.- De combinaciones de estas formaciones geológicas consolidadas y no consolidadas, (8).

2.3.6.- Explotación.- Fair, et al (8). El agua subterránea sale a la superficie a través de:

1.- Manantiales.- Normalmente se aprovechan para captar el flujo de un acuífero y pueden ser:

A).- Manantiales de Presión.- Cuando la superficie del suelo cae bruscamente bajo el nivel freático normal.

B).- Manantiales de Contacto.- Cuando una obstrucción geológica lleva tras de sí agua del suelo y la presiona hacia la superficie o cuando una falla en un estrato impermeable permite al agua artesiana escapar de su confinamiento.

2.- Pozos.- Dependiendo de las formaciones geológicas a través de las que pasan y de su profundidad, los pozos son: clavados, perforados o barrenados en el suelo.

3.- Galerías Filtrantes.- Las aguas subterráneas, que se desplazan hacia las corrientes o lagos, procedentes de tierras altas vecinas.

Pueden ser interceptadas mediante galerías filtrantes, tendidas más o menos a ángulos rectos a la dirección del flujo y que conducen el agua entrante a las estaciones de bombeo. En el caso de corrientes, el agua se lleva a conductos más o menos horizontales, situados a ambos lados, a veces se cierra el lado que da al río, para excluir el agua que se infiltra de este y que resulta a menudo menos satisfactoria, (8).

Puig (14). Cuando el agua es sacada de un acuífero por flujo artesiano o bombeo, el régimen de las aguas subterráneas se altera indirectamente, afectando la carga, la dirección y la velocidad de su movimiento en las cercanías del pozo, extendiéndose gradualmente esos cambios a mayores distancias. En muchos lugares donde se explotan aguas subterráneas, se bombea ésta en grandes cantidades, que la razón de bombeo no puede ser mantenida por mucho tiempo, y los pozos dejan de dar agua aunque el área general no haya sido explotada totalmente y sea capaz aun de proporcionar grandes volúmenes, (14).

En algunos lugares el agua subterránea se encuentra a poca profundidad y buscarla más abajo es tiempo perdido; sin embargo, en otros sitios los verdaderos acuíferos se encuentran a varios miles de metros y su posición puede predecirse con un límite de error razonable a través de estudios geológicos y geofísicos, (14).

2.3.7.- Rendimiento.- Fair, et al (8). En cuanto al rendimiento máximo del agua subterránea es directamente proporcional al tamaño del área de toma y a la diferencia entre la precipitación y la suma de la evaporación y el escurrimiento de las tormentas. Algunos manantiales rinden menos de 3.785 lts/min. otros producen más de 131.250 lts/min. Unos son perennes, otros son periódicos o intermitentes durante las estaciones.

En regiones bien provistas de agua los pozos que tienen éxito, de profundidad y diámetro moderados, proporcionan de 3.78 a 189 lts/min. en roca dura y de 189 a 1,890 lts/min. en arena y arena gruesa, así como en arenisca gruesa, (8).

Los pozos de acuíferos profundos pueden suministrar 378.5 lts/min. o más.

Algunas galerías filtrantes producen hasta 3.78 millones de litros de agua por día por 304.8 m. de galería, (8).

2.3.8.- Reabastecimiento Artificial.- Puig (14). En muchas áreas el suministro de aguas subterráneas puede incrementarse por medio de procesos de reabastecimiento artificial o de infiltración inducida de corrientes, pero el éxito de estas operaciones depende de un adecuado conocimiento de las condiciones geohidrológicas del lugar.

2.3.9.- Proyectos de Desagüe.- Puig (14). Se hacen principalmente con el propósito de descender el nivel de aguas freáticas. El objeto para fines agrícolas es bajar ese nivel controladamente a una profundidad óptima para cada cultivo.

2.4.- Contaminación de Aguas Subterráneas Con Derrames de Hidrocarburos.- Contreras (4).

En las actividades diarias, en refinerías, complejos petroquímicos, terminales de servicio, talleres de mantenimiento, etc. es común la pérdida de fluidos combustibles en tanques, tuberías, en fugas y derrames. Cuando los combustibles entran en contacto con el suelo, no son hechados de menos, pues no son visibles; estos son absorbidos hasta que el suelo se satura, contaminando líneas y depósitos de agua potable y alcantarillado. Una vez que el suelo se satura, los combustibles fluyen hasta encontrar una capa del subsuelo impermeable, o bien el manto freático. Si la fuente de contaminación sigue en constante derrame los combustibles impregnarán el manto en la dirección de menor resistencia, en los sedimentos más permeables.

Quando los combustibles se derraman en el subsuelo, generalmente, este proceso puede clasificarse en cuatro fases:

1.- Fase Absorbida.- Fase en la que se satura el suelo. El combustible es retenido entre las partículas del suelo y es mantenido por fuerzas de capilaridad. El producto absorbido representa aproximadamente 35% del derrame, (4).

2.- Producto Libre.- Esta es la fase líquida, que es encontrada flotando en el espejo del agua. Esta representa cerca del 60% del derrame y frecuentemente es recuperable y reutilizable, a menudo con poco procedimiento, (4).

3.- Producto Disuelto.- Fase en que las fracciones solubles del combustible derramado son capaces de disolverse en el agua del subsuelo. Solo 5% del derrame es representado por esta fase, pero puede ser el mayor problema, ya que los hidrocarburos disueltos se mueven hasta lugares no deseados, (4).

4.- Fase de Vapor.- Generado por las etapas anteriores. Los vapores se mueven de acuerdo con los gradientes de presión en el suelo, de breas, de mayor a menor presión, como en líneas de edificios, drenajes o túneles de excavación. Las acumulaciones significativas pueden causar explosiones, (4).

2.5.- Hidrocarburos.- Chow (5). Los hidrocarburos son compuestos que contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno. Una mezcla de estos compuestos, además de partes por millón de compuestos con átomos de nitrógeno, fierro, níquel, cromo, vanadio, cobalto y derivados de azufre forman el petróleo crudo. El número de átomos de carbono y la forma en que están dentro de las moléculas de los compuestos dan al petróleo diferentes propiedades. Los hidrocarburos compuestos de uno a cuatro átomos de carbono son gaseosos, los que tienen de cinco a veinte son líquidos y los de más de veinte son sólidos a la temperatura ambiente.

El petróleo crudo generalmente, contiene entre 83 y 86% de carbono y entre 11 y 13% de hidrógeno, dependiendo del tipo de yacimiento de donde provenga. Mientras mayor sea el contenido de carbono en relación al hidrógeno, mayor es la cantidad de productos pesados que contiene. Esto depende de la antigüedad y de ciertas características de los yacimientos. No obstante, se ha comprobado que entre más viejos son, tienen más hidrocarburos gaseosos y sólidos y menos líquidos entran en su composición. Algunos crudos tienen compuestos hasta de 30 a 40 átomos de carbono, (5).

Por lo general, el petróleo tal como se extrae no sirve como energético ya que requiere de altas temperaturas para arder, pues el crudo en sí está compuesto de hidrocarburos de cinco átomos de carbono, es decir, hidrocarburos líquidos. Por lo tanto, para poder ser aprovechado como energético es necesario separarlo en diferentes fracciones que constituyen los diferentes combustibles como el gasavión, gasolina, turbosina, diesel y gasóleos, (5).

2.5.1.- Clasificación de los Hidrocarburos del petróleo.- Chow (5). Se clasifican en tres series:

Primera Serie.- Esta formada por los Hidrocarburos Acíclicos Saturados, llamados también parafínicos, no reaccionan fácilmente con otros compuestos. Su nombre proviene de las raíces griegas "parum", pequeña y "affinis", afinidad, (5).

Los tres primeros hidrocarburos de esta serie son: el metano, el etano y el butano y son los principales compuestos de los gases del petróleo, (5).

Segunda Serie.- Formada por los Hidrocarburos Cíclicos Saturados o Nafténicos, tales como: el ciclopentano y el ciclohexano, (5).

Tercera Serie,- Formada por los Hidrocarburos Cíclicos No Saturados. más conocidos como Hidrocarburos Aromáticos. El compuesto más simple de esta serie es el benceno, que tiene seis átomos de carbono unidos por dobles ligaduras alternadas formando anillos. Estos hidrocarburos se encuentran principalmente en las fracciones pesadas, (5).

Existen en pequeñas cantidades otros hidrocarburos tales como los acíclicos no saturados, llamados también etilénicos u olefinos, los diolefinos, los acetilénicos, además de otros hidrocarburos formados por la combinación de anillos de cadenas que pueden semejar a varios de las series precedentes, (5).

El petróleo crudo casi no tiene hidrocarburos bencénicos ligeros como el benceno, el tolueno y el xileno. Tampoco cuenta con gran cantidad de olefinas ni diolefinas de pocos carbonos como el etileno, propileno, butenos, butadieno e isopreno. Sólo mediante procesos específicos separándolos al fabricar gasolinas, es posible obtener estos hidrocarburos, (5).

2.5.2.- Gasolina.- Chow (5). A principios del siglo, la obtención de gasolina de calidad era cuestión de suerte. La naturaleza proporcionaba los ingredientes , casi siempre parafinas (hidrocarburos lineales cíclicos), pero diluidos con otros componentes en el petróleo crudo.

En la actualidad, la gasolina es un producto hecho por el hombre, o sea que es sintética. Las principales razones son:

1.- Los crudos tienen un máximo de 25 a 30% de gasolina natural con índice de octano de 40 a 60, los cuales son demasiado bajos para usarse en los motores de combustión interna. Esto se debe a la estructura molecular de los hidrocarburos que la constituyen.

2.- La cantidad de gasolina primaria o natural contenida en los crudos es insuficiente para satisfacer la gran demanda provocada por los cientos de millones de vehículos que circulan diariamente por las calles del mundo entero. Sin embargo, a medida que se han hecho mejores gasolinas, simultáneamente los diseñadores de automóviles han aumentado la compresión de los motores elevando así su potencia, necesitando entonces un índice de octano mayor, (5).

Suponiéndose, que un barril de 159 litros de petróleo crudo proporcione, por medio de refinación; por separación 50 litros de gasolina cuyos componentes tienen de 5 a 9 átomos de carbono y que de los 109 litros restantes algunos de los hidrocarburos contenidos no sean apropiados para ser usados como gasolina, ya sea porque su composición no cuenta con suficientes átomos de carbono por molécula o porque tiene demasiados. Otros quizá cumplan con el número de carbonos pero sus moléculas están en forma lineal en vez de ramificada, (5).

Hay que romper las moléculas que unen los átomos de carbono para obtener moléculas más chicas. Para separarlas se usan dos procesos en las refinerías: El Proceso de Desintegración Térmica y el de Desintegración Catalítica. Para unirlos existen dos tipos de procesos: Uno es la Polimerización y el otro la Alquilación, (5).

La gasolina natural o primaria esta compuesta por el número adecuado de átomos de carbono, pero la forma en que están en la molécula no le imparte un buen octanaje. Para mejorar la calidad de esta, en las refinerías se procesa por isomerización o por Reformación, (5).

El heptano normal, cuenta con siete átomos de carbono formando una cadena normal y un índice de octano de cero; al izomerizarse se le hace altamente ramificado obteniéndose el isoheptano que tiene 110 de octano. En la reformación no sólo se favorece la ramificación de hidrocarburos, sino también les permite ciclizarse dando lugar a los hidrocarburos cíclicos, llamados aromáticos, constituidos principalmente por BENCENO, TOLUENO y XILENO, impartiendo un alto índice de octano a la gasolina reformada, (5).

Otra forma de subir el octanaje a las gasolinas a un índice similar al del isoocatano, se logra adicionando a la mezcla de gasolina antidetonantes como el tetraetilo de plomo (TEP). Este producto impide que la gasolina explote dentro de los cilindros del motor con demasiada rapidez y permite usar mayor cantidad de gasolina natural. El principal problema que se presenta con el uso del TEP como antidetonante, estriba en el hecho de que el plomo se elimina con los gases de combustión que salen por el mofle de los automóviles, causando un problema grave de contaminación ambiental debido a su toxicidad. Una forma más de subir el octanaje es agregar butano a las gasolinas, (5).

Actualmente, los automóviles están provistos de mofles catalíticos a fin de disminuir el problema del llamado "SMOG", usando gasolinas sin plomo, utilizando concentraciones de hidrocarburos aromáticos. El hecho de que una gasolina no contenga TEP no significa que los automóviles que la usan no provocan ninguna contaminación en el ambiente por el "SMOG", ya que, este proviene principalmente de los hidrocarburos no quemados del monóxido de carbono y de los compuestos de azufre que salen del mofle, (5).

2.5.3.- Diesel.- Chow (5). Otra fracción del petróleo crudo que sirve como energético es la de los gasóleos, que antes de 1910 formaba parte de los aceites pesados que constituyen los desperdicios de las refinerías.

El consumo de los gasóleos como combustibles se inicia en 1910, cuando el almirante Fisher de la flota británica ordenó que se substituyera el carbón por el gasóleo en todos sus barcos, argumentando su decisión en la superioridad calorífica de este en relación al carbón mineral, ya que, el gasóleo genera aproximadamente 10,500 calorías /kg mientras que un buen carbón sólo proporciona 7,000 calorías/kg, (5).

Más tarde se extendió el uso de este energético en la marina mercante, en los generadores de vapor, en los hornos industriales y en la calefacción casera, (5).

El empleo del gasóleo se extendió rápidamente a los motores DIESEL, a pesar de que Rudolph Diesel inventó el motor que lleva su nombre poco después de que se desarrolló el motor de combustión interna. La aplicación del motor Diesel no tubo gran éxito pues estaba originalmente diseñado para trabajar con carbón pulverizado. Cuándo al fin se logró separar la fracción ligera de los gasóleos, a la que se le llamo DIESEL, el motor de Rudolph Diesel empezó a encontrar un amplio desarrollo, (5).

La principal ventaja de los motores Diesel en relación a los motores de combustión interna, estriba en el hecho de que son más eficientes, ya que, producen más trabajo mecánico por cada litro de combustible. En los automóviles con motor de combustión interna sólo se aprovecha del 22 al 24% de la energía consumida, mientras que los motores Diesel aprovechan el 35%. Por tal motivo, estos motores encontrarón rápida aplicación en los barcos militares y mercantes, en los camiones y maquinaria pesada, en los tractores agrícolas y en las locomotoras de los ferrocarriles, (5).

2.5.4.- Riesgos con Combustibles.- Del Toro (6). Además de los riesgos comunes, los lugares con desperdicios peligrosos presentan riesgos especiales para la seguridad, que hay que enfatizar:

- Espacios confinados,
- Incompatibilidades químicas, y
- Fuego y explosión.

Además de sus efectos tóxicos los elementos químicos pueden reaccionar entre ellos con el agua, aire y otros materiales orgánicos como papel y madera. Pudiendo ocurrir cualquiera de las reacciones siguientes:

Producción de calor o presión, fuego, explosión, formación de gases tóxicos y vapores, formación de gases inflamables, etc., (6).

El fuego y la explosión pueden resultar al juntar una fuente de encendido con una atmósfera inflamable o un material combustible, (6).

Fuego.- Es la quema activa de combustible y oxígeno en presencia de calor, (6).

Explosión.- Es la reacción o transformación rápida de un químico que produce grandes cantidades de calor y gases, (6).

Los gases producidos en dicha reacción se expanden y mueven rápidamente, a veces superando la velocidad del sonido. El resultado es una onda de presión y mucho ruido, (6).

Combustión.- Es la reacción química que conduce al fuego y a las explosiones, (6).

Cuando se clasifica una sustancia como combustible, inflamable o explosiva se refiere a la velocidad o tasa de combustión, (6).

Combustibilidad.- Es la propiedad de un material para actuar como combustible, (7).

Los materiales que pueden quemar fácilmente y pueden mantener el fuego se les conoce como combustibles, (6).

Inflamabilidad.- Es la propiedad de un material para emitir concentraciones suficientes de vapores que encienden y arden con facilidad, bajo condiciones normales cuando hay chispa o llama, (6).

El fuego necesita para comenzar y continuar ardiendo de tres elementos que lo componen y que son: combustible, calor y oxígeno (triángulo del fuego), (6).

El combustible para el fuego puede ser líquido, sólido o gaseoso, por ejemplo:

Gases.- propano, acetileno, metano.

Líquidos.- gasolina, queroseno.

Sólidos.- pólvora, polvo de aluminio, limalla de magnesio, (6).

El punto de inflamación (flash point o FP) es la temperatura mínima a la que un líquido emite vapores que forman una mezcla de aire inflamable. Cuando un líquido tiene punto de inflamación, se debe de considerar como fuente potencial de combustión, (6).

Materiales con punto de inflamación por debajo de 100 ° F se consideran inflamables.

Materiales con punto de inflamación entre 100° y 200° F se consideran combustibles.

Mientras más bajo es el punto de inflamabilidad, mayor es el peligro de inflamación del material, (6).

Ejemplo de algunos materiales y su punto de inflamación:

Gasolina	-43° F	-41° C
Benceno	12	-11
Tolueno	40	4
Xileno	90	32

El combustible y el oxígeno deben estar presentes en las proporciones correctas para mantener el fuego, (6).

El Rango de Inflamabilidad representa las concentraciones químicas mínimas y máximas de vapores necesarios para que un vapor inflamable permita la diseminación de la llama al contacto con la fuente de calor, (6).

El límite inferior de inflamabilidad (lower flammable limit LFL) o el límite inferior de explosión (lower explosive limit o LEL) son las concentraciones mínimas de un vapor (como % del aire) necesarias para que un vapor quemé, (6).

El límite superior de inflamabilidad (upper flammable limit o UFL) o el límite superior de explosión (upper explosive limit o UEL) son las concentraciones máximas de vapor (como % del aire) para que empiece a quemar, (6).

Para quemar, la concentración o porcentaje de vapor inflamable en el aire, tiene que estar entre el LEL y el UEL (o el LFL y el UFL). Si la concentración es muy baja, la mezcla aire-vapor es muy "débil". Si la concentración es muy alta, la mezcla de aire-vapor es muy "alta", (6).

Por ejemplo: la gasolina necesita para quemar, estar entre un LEL de 1.4% y un UEL de 7.6%. Cuando un carro no enciende porque esta "ahogado", lo que sucede es que los niveles de vapor de gasolina en el área de combustión están por encima del 7.6%. Mientras mayor sea el rango de inflamabilidad, mayor es la inflamabilidad del material, (6).

Fuente de Encendido o de Calor.- Es la forma de energía que hace subir la temperatura. Una fuente de encendido es el medio o proceso por el cuál se inicia el fuego. Entre las fuentes de encendido están: las llamas, cigarillo encendido, corriente eléctrica, electricidad estática, operaciones de soldar o quemar, fricción, rayos, (6)-

Oxígeno.- Es el tercer componente del triángulo del fuego. El aire contiene 21% de oxígeno. Los niveles de oxígeno por encima del 21% hacen que el incendio arda más vigorosamente; los niveles por debajo del 21%, lo contrario, (6).

U.S. A.P. (20).- El diesel y la gasolina están clasificados internacionalmente con los números: 1202.- aceite para calentar y alumbrar y 1993.- líquido combustible.

Son materiales combustibles e inflamables. Pueden producir fuego en contacto con calor, chispa o flama. Los vapores pueden recorrer grandes distancias de la fuente de encendido en forma de fogonazo cuando se produce fuego. Estos vapores pueden causar explosión o fuego tanto en la intemperie como en lugares cerrados.

Daños a la salud.- U.S. A.P. (20).

Venenosos si son inhalados, ingeridos o contactados.

Los vapores causan desvanecimiento y asfixia.

El contacto en piel y ojos ocasiona irritaciones y quemaduras.

Al ser quemados producen gases irritantes y venenosos.

El uso de agua en el control de incendios de estos materiales produce contaminación.

2.6.- Pozos de Monitoreo.- U.S. E.P.A. (21). Como su nombre lo indica, son pozos (piezómetros) de revestimiento de materiales diversos seleccionados de acuerdo a un gran número de características físico-químicas del suelo y agua del sitio en estudio. Instalados en perforaciones previamente realizadas de diámetros diversos en relación al diámetro de la tubería del pozo de monitoreo. Con la finalidad de muestrear y monitorear las aguas subterránea que se encuentran bajo un estricto control, evaluandose constantemente las condiciones del manto freático.

Riggs y Hatheway, (15). En los últimos años se han venido utilizando como puntos permanentes de observación y evaluación de los acuíferos de áreas contaminadas con residuos peligrosos o con derrames de combustibles, figura No. 3. Ayudando en la recopilación de información en la Evaluación Ambiental de Sitio, proporcionando datos como los siguientes:

Profundidad del agua subterránea y su dirección.

Volumen del producto libre flotando en el agua subterránea.

Dirección del flujo del contaminante.

Concentración de contaminantes disueltos en el agua subterránea.

Traslado de contaminantes a propiedades vecinas.

Los datos anteriores aunados a:

1.- La evaluación de resultados obtenidos de las muestras del suelo, como:

A).- Superficie del suelo requerida para inmovilizar cierto volumen de combustible.

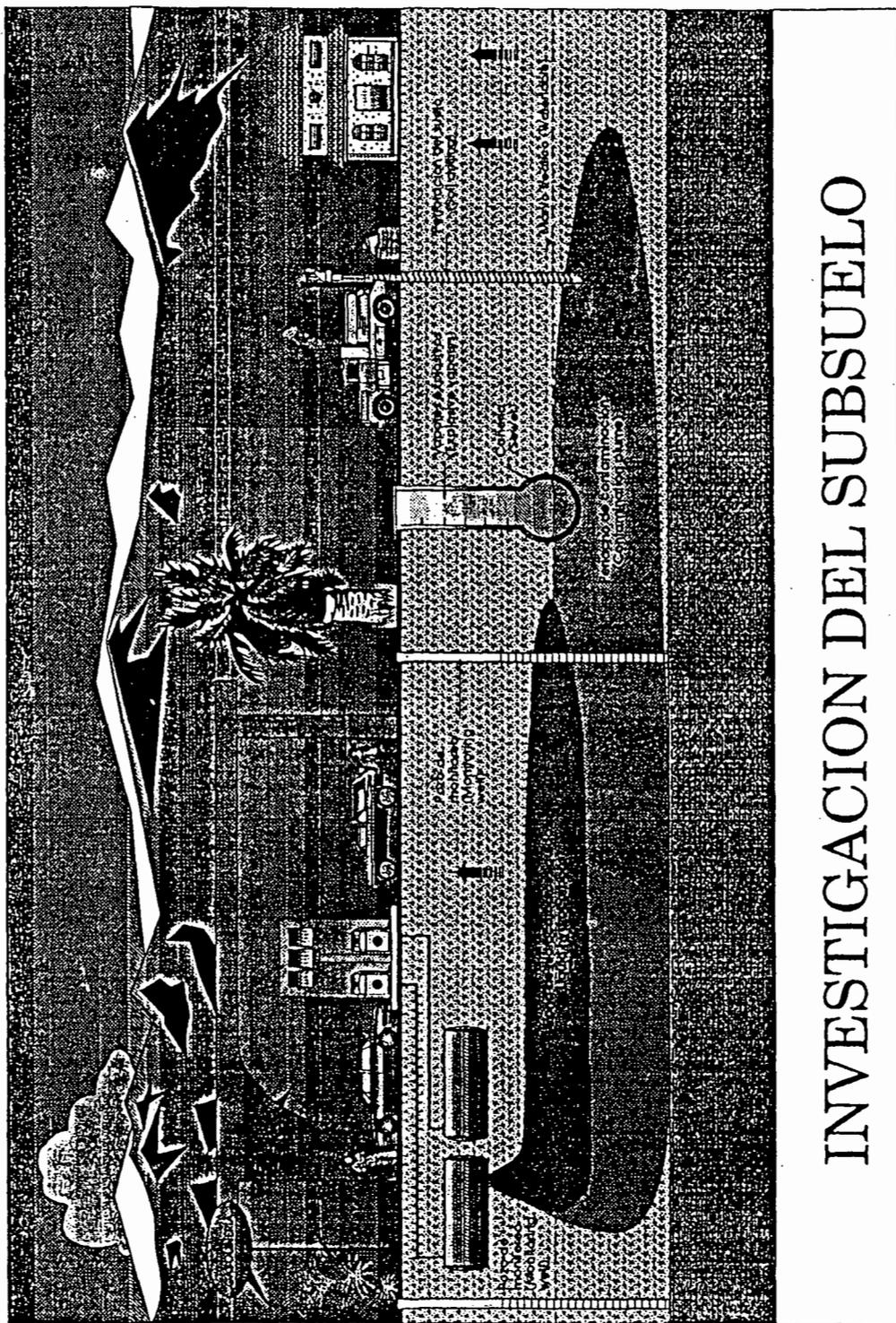
B).- El tipo de suelo y su capacidad de absorción o transmisión de combustible.

C).- El nivel de contaminación en el suelo en la fase absorbida.

D).- La cantidad de combustible que puede ser recuperado en realidad.

2.- A la concentración de vapores en el suelo y la cantidad que se ha difundido, (15).

Aportan elementos para calcular la determinación de la configuración del combustible en el suelo y la valoración del ambiente geológico, (15).



INVESTIGACION DEL SUBSUELO

Fig. 3 Pozos de monitoreo en la investigación del subsuelo.

Dando como resultado un panorama claro de las condiciones del subsuelo y del acuífero; de sus posibles cambios en el futuro y durante las estaciones anuales. De esta manera se cuenta con elementos reales para diseñar un sistema de prevención de problemas originados por el derrame, (15).

2.6.1.- Antecedentes.- Vidaña, (23). En Barcelona, España en septiembre de 1991, poco antes de la realización de los Juegos Olímpicos, se derramó e incendió un oleoducto de gasolina en una área inmediata a la ciudad. En una evaluación superficial, por técnicos especializados, después de ocurrido el accidente, concluyeron que no se había colado ningún hidrocarburo en el terreno. Tres meses más tarde, se detectó gasolina en unos pozos de agua para consumo humano al sureste del lugar de referencia, poniendo en peligro el abasto y la salud de una buena parte de los habitantes de la ciudad.

Se tomaron medidas urgentes para:

- 1.- Aislar la zona de contaminación y no permitir que esta inmigrará hacia las demás.
- 2.- Asegurar un suministro de agua potable suficiente y de calidad a la población.

Se analizó el caso y se propuso como objetivo primordial: "RECUPERAR EL SUELO Y LAS AGUAS SUBTERRANEAS AFECTADAS CON 40 TONELADAS DE GASOLINA DE LAS 70 QUE SE DERRAMARON"

Los objetivos prioritarios serían:

- 1.- Mantener un continuo control de la evolución de la pluma de gasolina (instalación de pozos de monitoreo y obtener muestras de suelo y agua para su análisis).
- 2.- Eliminar los vapores de la zona no saturada (pozos de extracción de vapores).
- 3.- Extraer las aguas contaminadas en la zona del vertido y tratarlas (pozos de recuperación), (23).

La investigación permitió, al usar los pozos de monitoreo de mantos freáticos:

A).- Localizar y delimitar la zona afectada.

B).- Una actuación posterior más objetiva, tanto con la gasolina retenida en la zona no saturada como el impacto ocasionado en las aguas subterráneas, (23).

Los contenidos de hidrocarburos encontrados representaban un máximo de 200 ppm en el suelo y 20,000 ppm en las aguas subterráneas, (23).

Después de la investigación, del emplazamiento, la hidrogeología y la definición completa de la contaminación presente, se propuso una acción inmediata, como respuesta de emergencia, para solucionar el problema en forma efectiva y definitiva, (23).

Las condiciones presentes en la zona no saturada (tipo de contaminantes, tipo de suelo. nivel freático, etc.), eran óptimos para la implementación de un sistema de extracción de vapores en vacío, mientras que las aguas contaminadas se tratarían por sistemas convencionales de extracción en fase líquida, la extracción de agua y la separación de gas líquido mediante un "stripper" "desmantelamiento en franja", (23).

Había que determinar la viabilidad del sistema en condiciones concretas, las direcciones preferenciales de flujo de vapores y la eficiencia de extracción de vapores de gasolina en función del número y combinación de pozos de extracción, (23).

Los resultados obtenidos permitieron determinar anisotropismo existente en la permeabilidad de la zona afectada (condiciones de vacío, caudal, número y localización de pozos, etc.), así como la gran eficiencia del proceso en el caso, (23).

El proceso de extracción en vacío operó en condiciones de 250 mm Hg en cuatro pozos de extracción con un caudal total de vapores de 1,000 metros cúbicos por hora, (23).

Adicionalmente, se extrajo una corriente de agua contaminada con gasolina de los pozos de bombeo, con un caudal aproximado de unos 10,000 metros cúbicos por hora y se trató mediante un "air stripping" "una franja de barrido con aire", (23).

El control de la operación se basó en el análisis del contenido de hidrocarburos del agua extraída de los pozos, de los vapores de los pozos de vacío, del agua del "stripper", del agua de siete pozos de control aguas abajo de la zona afectada y del monitoreo y muestreo de los pozos de monitoreo colocados estratégicamente en la zona con mayor concentración de contaminantes, (23).

El sistema se operó durante siete meses en forma continua.

La concentración de hidrocarburos en los vapores extraídos pasó de 2,000 ppm en septiembre de 1992 a 190 ppm en enero de 1993.

El rendimiento del "stripper" fue del 87 a 99.5% los primeros meses y de 74 a 98% al final de la operación, (23).

2.7.- Guadalajara.- Esquivel, (7). Tal como se localiza actualmente, fue fundada por Juan de Oñate el 14 de febrero de 1542 en el Valle de Atemajac. A partir de esa fecha, se ha desarrollado demasiado, formando parte en la actualidad de la Zona Metropolitana junto con los municipios de Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan, en donde según los reportes del I.N.E.G.I. (11), (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, XI Censo General de Población y Vivienda), existen 2,087,417 habitantes. Guadalajara corresponde en el orden alfabético al municipio No. 39 del estado de Jalisco.

2.7.1.- Situación Geográfica.- I.N.E.G.I. (11). Se encuentra en las coordenadas 20°40'35" de latitud norte y 103°20'46" de longitud oeste, con una altitud de 1,550 M.S.N.M.

2.7.2.- Climatología.- I.N.E.G.I. (11). Su clima es, según Koeppen: semicálido, sub-húmedo, con una temperatura media anual de 20°C y precipitación pluvial de 13.50 mm. anuales.

2.7.3.- Geología.- Esquivel, R. (7). La ciudad de Guadalajara se encuentra dentro de una cuenca de forma casi elíptica, limitada por sierras y cerros que se remontan como máximo a 250.0 m. sobre el nivel del valle, a su vez está comprendida dentro de la gran provincia neovolcánica de México. El Río Grande de Santiago, ha cortado un profundo cañón que limita la cuenca por el lado noroeste.

Las rocas más antiguas de la cuenca son, las andesitas representadas en la Loma de Nextipac al poniente y las latitas que forman el lomerío de La Peñita, (7).

Posteriormente, se formó un basamento riolítico de gran extensión, probablemente a finales del Mioceno. Pertenecen a esta época las riolitas vítreas formando el macizo de La Venta en cuyas depresiones descansan potentes formaciones de materiales piroclásticos constituidos por fragmentos de pómez, (7).

Los basaltos son rocas más recientes que las riolitas (finales del Plioceno hasta el Pleistoceno) y cubren también grandes extensiones, (7).

Se ha encontrado basalto a distintas profundidades bajo el área urbana de Guadalajara, (7).

La mayor parte de los depósitos superficiales en la cuenca y bajo el área urbana son de origen piroclástico; estos suelos son en su mayoría arenas y gravas pumíticas y se consideran del Cenozoico Superior, (7).

Exploración del Subsuelo.- Esquivel, R. (7). La información que presenta en este estudio, proviene de 37 sondeos del subsuelo que se pudieron conseguir hasta 1976. Se puede decir que en la generalidad de los casos, la exploración del subsuelo se realizó a base de sondeos de penetración estandard, para atravesar los potentes depósitos arenosos, usando en algunos de ellos el "Barril Denison" para muestrear suelos cohesivos (limos y arcillas) y broca de diamante para recuperar núcleos de basalto. La profundidad máxima así explorada fue en un caso de 37.0 metros.

La mayor parte de la información estratigráfica superficial, proviene de pozos a cielo abierto de poca profundidad. Analizando, la así obtenida se puede confirmar con base en el gran número de sondeos; lo reportado, en lo referente a la estratigrafía bajo el área urbana de Guadalajara, es muy uniforme, estando constituida básicamente por depósitos granulares de arenas y gravas de granulometría muy variada, cuyas partículas están formadas predominantemente de pómez, (7).

En los estratos de arena se tienen distintos porcentajes de limo (Grupo SM del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS). Ocasionalmente, se encuentran capas de pequeño espesor de arcilla arenosa (CL y CH) y de limo arenoso (MH), (7).

Se encontró superficialmente un relleno de 6.0 m. de espesor, mientras que en dos de los estudios fue del orden de 1.0 m.

En los sondeos en los que se profundizó se detecto basalto entre 8.50 y 13.0 m.

El contacto inferior de los basaltos, se localizó hasta 20.0 m. de profundidad.

En dos estudios se encontraron potentes depósitos de toba areno-limosa compacta subyaciendo a los basaltos, hasta la profundidad máxima explorada de 37.0 m, (7).

2.7.4.- Recursos Hidrológicos.- S.I.A.P.A. (18). En la Zona Metropolitana, 3'380,000 habitantes consumen 11,900 lts de agua por segundo. Siendo las necesidades o gasto de 300 lts por habitante por día que se consumen de la siguiente manera:

32% excusados.

20% baños.

15% lavabos.

15% cocina.

10% lavado de ropa.

08% aseo de vivienda

Fuentes de Abastecimiento.- S.I.A.P.A. (18). El agua que se consume en la zona metropolitana proviene de: Históricamente del Lago de Chapala, del cual se extraían 11,000 lts de agua por segundo. Sin embargo, en 1990 los niveles descendieron drásticamente.

Para evitar que esto vuelva a suceder y como protección del Lago de Chapala, se han construido nuevas presas, acueductos y plantas potabilizadoras, lográndose de esta manera reducir la cantidad de agua que se le extrae al Lago en 43% sin sacrificar la cantidad ni la calidad del agua que se proporciona a los usuarios. Para lograrlo se han hecho obras, como:

El Acueducto "Chapala-Guadalajara".- Que parte del Lago y llega hasta el "Cerro del Cuatro". Transporta entre 6,200 y 7,500 lts/seg representando el 62% del consumo total, (18).

Conducidos por bombeo a través de un acueducto de 2.10 m. de diámetro con una longitud de 42.0 km; venciendo una altura de 138.0 m; llegando directamente a las plantas potabilizadoras de "Miravalle" y "Las Huertas". El agua recibida está sujeta a un proceso de potabilización, regido por los dictámenes de los laboratorios que operan permanentemente en cada una de ellas y que de acuerdo al líquido recibido se determina la cantidad de sustancias por aplicar para lograr un agua 100% potable y ser distribuida. La potabilización consiste en decantar y preclorinar el agua, procurando floculación con polielectrolitos, sulfato de aluminio e hidrato de calcio. Para este objeto se instalaron equipos dosificadores para las sustancias químicas e inyectores de cloro. Este tratamiento se le da al agua antes de distribuirse a través de 220 km. de acueductos de la zona metropolitana durante las 24 horas del día, (18).

Primera Etapa del Sistema "La Zurda-Calderón".- Localizado en las inmediaciones de Zapotlanejo, Jalisco, aporta un gasto de 2,500 lts/seg reforzándose el abastecimiento para la zona norte de la ciudad representando un 20% del gasto total. Este sistema está compuesto por, "La Presa Calderón" con capacidad para 70 millones de metros cúbicos; El acueducto "Calderón-San Gaspar" de 1.83 m. de diámetro y una longitud de 31.0 km. y "El Sifón Invertido" que mide 1,107 m. y salva un desnivel de 270 m. sobre el Río Santiago, (18).

El sistema llega hasta la planta potabilizadora "San Gaspar" con una capacidad de tratamiento de 3,000 lts/seg. en su primera etapa, donde se sigue el mismo proceso de potabilización antes de ser distribuida por gravedad, (18).

La tercera fuente la constituye el Subsuelo.- A través de 180 pozos profundos de los sistemas: "Tesistan" y "Toluquilla" y algunos otros diseminados en la zona metropolitana. Aporta un gasto de 2,000 lts/seg representando el 18% del gasto total, mismos que son conducidos por medio de bombeo a tanques para su cloración y posteriormente ser distribuidos, (18).

2.7.5.- Colonia "Moderna".- Roji (16). Se encuentra localizada al suroeste y a 1.0 km. aproximadamente de la ciudad tomando como referencia la Plaza de Armas. La Colonia "Moderna" se empieza a establecer a principios de siglo, principalmente por extranjeros avecindados en la ciudad, industriales y empresarios en su minoría, de recursos económicos favorables, reflejándose en el tipo de construcción de las casas habitación y los servicios municipales del área. Está limitada al norte por la Av.. Niños Héroes y calle Fermín Riestra, al sur por la Av.. Sta. Eduwiges-Agustín Yañez-Washington, al oeste por la calle Colonias y al este por las avenidas Federalismo Sur y 8 de Julio. Colinda al sur con las instalaciones de la Estación "Sinaloa" de ferrocarriles Nacionales de México, región "Pacífico", patios de maniobras y talleres de mantenimiento, figura No. 4.

2.7.6.-Sector "Reforma".- Roji (16). Guadalajara está dividida por cuatro sectores:

Sector "Hidalgo", dirección noroeste.

Sector "Juarez", dirección suroeste

Sector "Reforma", dirección sureste.

Sector "Libertad", dirección noreste.

En la actualidad los cuatro sectores constituyen el centro de la zona metropolitana.



N



NO ESCALA

Fig. 4 Plano de localización de la colonia "Moderna" de Guadalajara, Jalisco, México.

El Sector "Reforma" se encuentra limitado al norte por la avenida: Gigantes Eje Oriente y colinda con el Sector "Libertad". Al sur esta limitado por las calles: Orozco, San Antonio, San Pedro, Grúa, Rondana, Soplete, Chimenea, Nopal, Niños Héroes, San Rafael, Pintores, Azucena y Gral. González Garza; colindando con el municipio de Tlaquepaque. Al oeste con las avenidas: Calzada Gobernador Curiel y Calzada Independencia Sur, colindando con el Sector "Juarez". Y al este con la Av. Malecón, Presa de Osorio y Parque de la Solidaridad Iberoamericana; colindando con el municipio de Tlaquepaque, (16).

En el Sector "Reforma" se encuentran los barrios y colonias más antiguos de la ciudad, como lo es el "Barrio de Analco". Este sector esta constituido por familias de recurso económicos menos satisfactorios que los de la colonia "Moderna". En el se han establecido infinidad de empresas familiares, tales como: talleres mecánicos, de torno, fundición, artesanales y orfebres y una gran variedad de establecimientos comerciales.

En el año de 1992, el Sector "Reforma" vivió una de las experiencias más desastrosas en su historia: "La Tragedia de las Explosiones del 22 de Abril", causadas por la concentración de vapores de gasolina derramada en el drenaje.

Dichas explosiones provocaron destrucción no solo de casas, automóviles y fuentes de trabajo, sino también desafortunadamente de vidas humanas.

Esta destrucción se manifestó a lo largo 8,000 m. y 16.0 m. de ancho aproximadamente en el 450 aniversario de la fundación de esta ciudad conocida como "La Perla de Occidente", figura No. 5, (16).

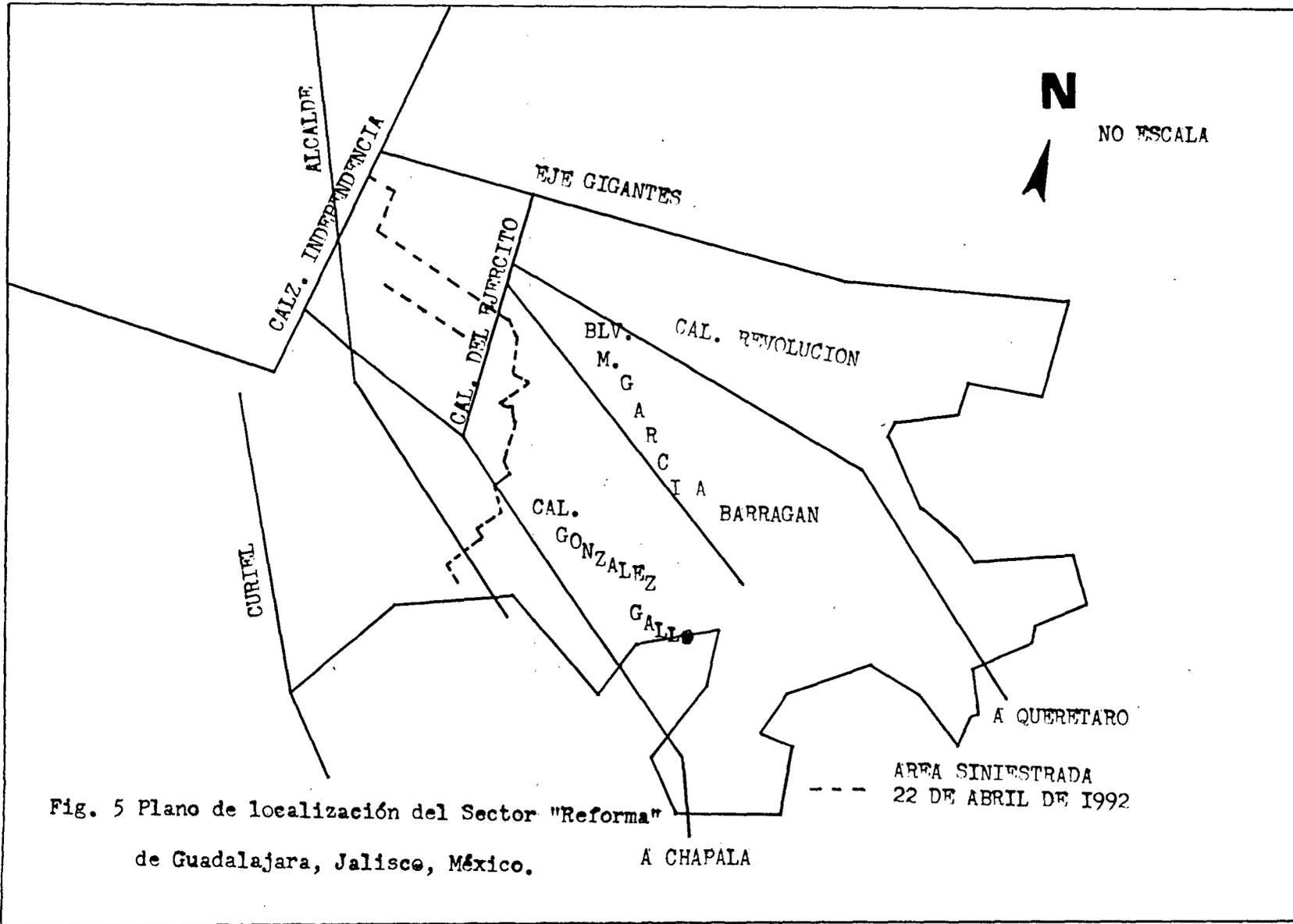


Fig. 5 Plano de localización del Sector "Reforma"

de Guadalajara, Jalisco, México.

A CHAPALA

--- AREA SINISTRADA
22 DE ABRIL DE 1992

A QUERETARO

3.- METODOLOGIA

En la colonia "Moderna", hace aproximadamente 21 años, durante las excavaciones del túnel subterráneo en el curso de la Av. Federalismo, ruta del entonces "trolebús", se observó que el suelo se encontraba contaminado con hidrocarburos hacia el sur de la colonia "Moderna".

Debido a esta circunstancia, se instalaron dos galerías de recolección de 8 pulgadas (20.32 cm.) de diámetro a lo largo del lado oeste del túnel, conectadas a dos cárcamos de bombeo en la Estación "Mexicaltzingo". El propósito del sistema de galerías y bombas era el de controlar el nivel freático en la vecindad del túnel y extraer los hidrocarburos en el agua.

El hidrocarburo contaminante fue identificado como diesel.

El área afectada se delimitó por la Av. La Paz hacia el norte, Av. Federalismo Sur hacia el este, Calle Colonias hacia el oeste calle Ciprés hacia el sur, figura No. 6.

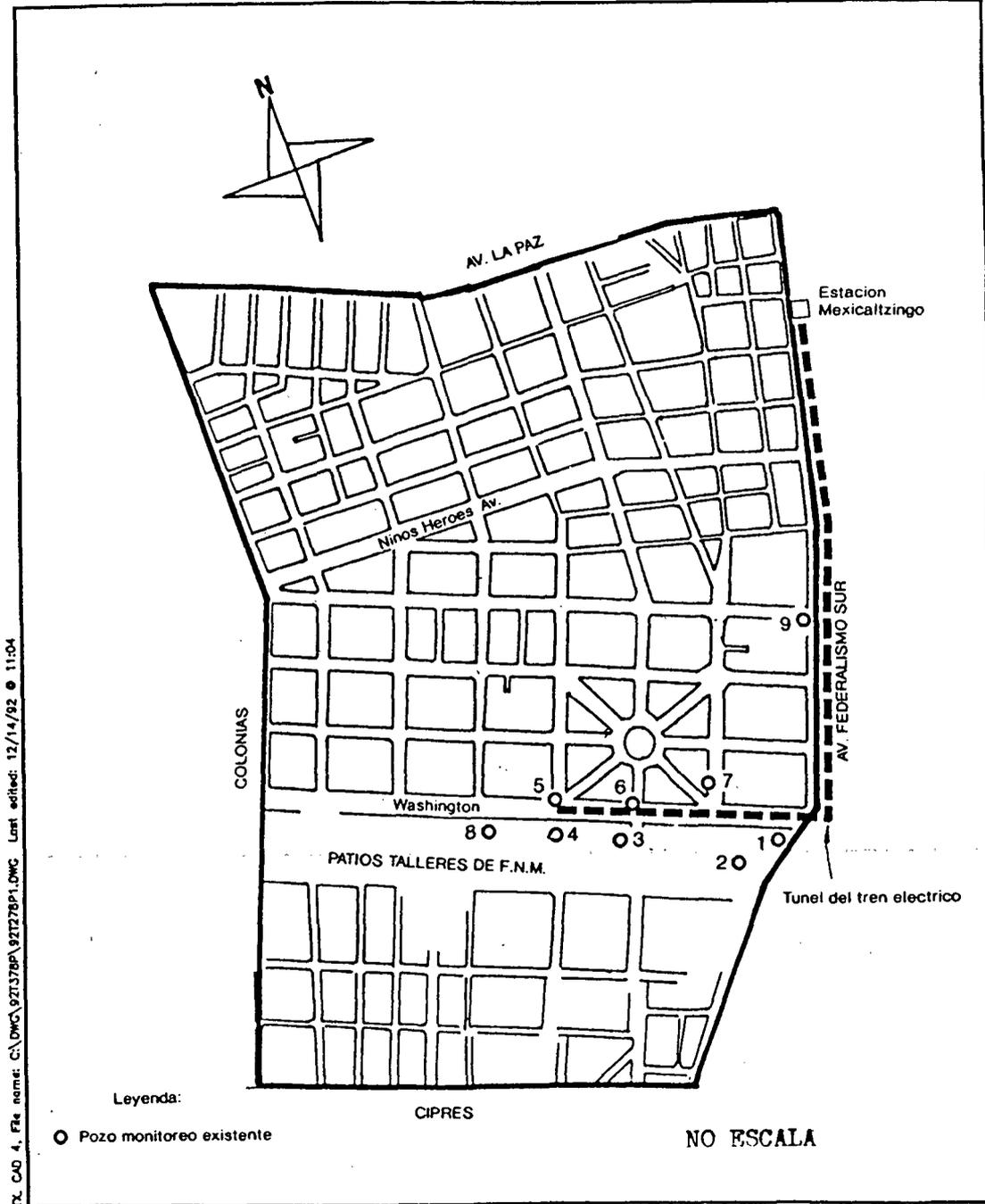
El S.I.A.P.A. (Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado) de la zona metropolitana de Guadalajara en un intento por identificar la pluma de hidrocarburos instaló nueve pozos de monitoreo; cuatro de ellos en la colonia "Moderna" y los cinco restantes en los patios de Ferrocarriles Nacionales de México en las instalaciones cercanas, Figura No. 6.

La profundidad de los pozos de monitoreo fue aproximadamente de 12.0 m.

La profundidad del nivel freático del área se estimó entre los 8.0 y los 9.0 m.

Los suelos del área consisten primordialmente de depósitos granulares de arena y cenizas volcánicas.

El S.I.A.P.A. contrata a la empresa "Woodward-Clyde, Consultants de Houston, Texas, U.S.A. el 15 de diciembre del mismo año, para que presente una propuesta para realizar una "Investigación y Evaluación de Riesgos en una Area de un Derrame de Diesel que ocurrió en la Colonia Moderna, Ciudad de Guadalajara".



Location: HOUSTON, TX. CAD 4. File name: C:\DWG\921378P\921378P1.DWG. Last edited: 12/14/92 @ 11:04

Leyenda:

○ Pozo monitoreo existente

CIPRES

NO ESCALA

PROPUESTA INVESTIGACION DE DERRAME Y EVALUACION DE RIESGOS SIAPA	Woodward-Clyde Consultants Engineering & sciences applied to the earth & its environment Houston, Texas		AREA PROBABLE DE CONTAMINACION POR HIDROCARBUROS	FILE NO. 921378P
	SCALE: NONE	DRAWN BY: S.J. CHKD. BY:		DATE: 1/5/93 DATE:

Los requisitos solicitados por el S.I.A.P.A. para el estudio de la magnitud fueron: descripción de las condiciones del subsuelo, incluyendo niveles freáticos en las áreas afectadas.

Extensión aproximada horizontal y vertical de la pluma de hidrocarburos.

Volumen estimado de los hidrocarburos al momento de la investigación.

Edad, tipo y concentración de hidrocarburos; y

La aparente dirección del flujo en el subsuelo.

El día 6 de enero de 1993 la empresa "Woodward-Clyde" presenta al S.I.A.P.A. la propuesta para realizar una investigación y evaluación, bajo el título: "Investigación de Sitio y Evaluación de Riesgos de un Derrame de Diesel, La Colonia Moderna, Guadalajara; Jalisco, México".

Los objetivos de la propuesta presentada fueron:

Delinear la extensión aproximada vertical y horizontal de la pluma de hidrocarburos.

Asesorar la dirección del movimiento de hidrocarburos.

Estimar las fuentes potenciales de los escapes de hidrocarburos, e

Identificar alternativas viables de restauración, que reduzcan los riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

Los alcances:

Asesorar la magnitud de la pluma de hidrocarburos.

Estimar el origen potencial del escape de hidrocarburos.

Evaluar los posibles riesgos al medio ambiente y las medidas de seguridad requeridas para reducir estos riesgos.

Identificar alternativas viables y procedimientos para el proceso de restauración.

El requisito para estimar el origen del escape de hidrocarburos será el asesorar la fuente potencial de escape y estimar el porcentaje de distribución de cada fuente.

Los requisitos para la evaluación de riesgos y las medidas de seguridad serían:

Asesorar los impactos de los escapes de hidrocarburos en el ambiente en zonas residenciales, en edificios, en sistemas de transporte y de seres humanos.

Evaluar el riesgo de explosión, fuego, inhalación de gases, reacciones alternas antes y después del proceso de restauración u otros efectos que pudieran ser atribuidos a la presencia de hidrocarburos.

Describir medidas de seguridad que han de ser consideradas durante y después de la restauración.

Para definir las opciones de restauración, los requisitos serían:

Describir las alternativas más eficientes mientras se demuestra que estas alternativas no pondrán en peligro la estabilidad estructural de edificios cercanos.

Presentar requisitos para la implementación de las alternativas.

Describir la posible asistencia y servicio de apoyo requerido para la implementación.

Estimar el tiempo que se requiere para la implementación.

Proveer un estimativo de los costos para las alternativas seleccionadas.

Se propusieron tres tareas o fases para responder a los requisitos descritos:

Fase I.- Revisión de Datos Existentes y Reconocimiento del Sitio.

Fase II.- Caracterización (Muestreo) del Sitio, y

Fase III.- Evaluación de Datos y Estudio de Factibilidad de Alternativas.

Las actividades a realizarse bajo cada fase se describen a continuación:

Fase I.- Revisión de Datos Existentes y Reconocimiento del Sitio.- En esta fase "W-C" revisará los datos que han sido obtenidos en actividades previas realizadas por el S.I.A.P.A. concernientes al derrame de hidrocarburos, publicaciones de referencia básicos de ecología, acuíferos, terrenos y evaluaciones de contaminación en el área afectada que estén disponibles al público con facilidad.

Se consideró como supuesto, que los datos obtenidos por el S.I.A.P.A. y que serían proporcionados a "W-C" incluirán: registros de perforaciones, resultados de mediciones de campo (explosividad, concentraciones de vapores orgánicos volátiles, etc.), resultados de análisis de laboratorio de muestras de suelo y agua, medidas del espesor del producto flotante, de la elevación de terreno, de agua del acuífero y puntos de control de agrimensura horizontales y verticales. "W-C" también realizará un reconocimiento de sitio y de las propiedades cercanas para evaluar localizaciones posibles para perforaciones de investigación y para pozos, identificar localizaciones de instalaciones vecinas que pudieran ser fuentes potenciales de escape (tanques sobre el suelo, tanques subterráneos, oleoductos, terminales, etc.).

Los datos disponibles y los resultados de reconocimiento serán usados para redefinir las colocaciones propuestas para nuevas perforaciones de investigación y pozos de monitoreo, evaluar el programa de pruebas de laboratorio propuestas en la Fase II e incrementar la base de datos para evaluaciones de la Fase III.

Fase II.- Caracterización del Sitio.- El sitio del derrame de hidrocarburos será caracterizado en la siguiente forma:

Instalación y muestreo de perforaciones de investigación.

Instalación y muestreo de pozos de monitoreo.

Análisis de laboratorio de muestras de suelo y agua del acuífero; y

Asesoría de la dirección de flujo del agua del acuífero.

Para asesorar la extensión aproximada vertical y horizontal de la contaminación de hidrocarburos, "W-C" construirá varias perforaciones de investigación dentro del área afectada y a lo largo del perímetro de dicha área. Se estima que alrededor de 30 perforaciones y 15 pozos de monitoreo serán necesarios para caracterizar la pluma de hidrocarburos, evaluar la presencia de hidrocarburos contaminantes en áreas adyacentes y asesorar la posible existencia de fuentes de contaminación.

Hasta 6 localizaciones de perforaciones se proponen en cada uno de los lados: norte, este oeste y sur del área afectada. Se propone localizar estas perforaciones a lo largo de dos líneas que se extenderán hacia afuera desde el supuesto centro del área afectada hacia las áreas no afectadas en cada uno de los cuatro lados.

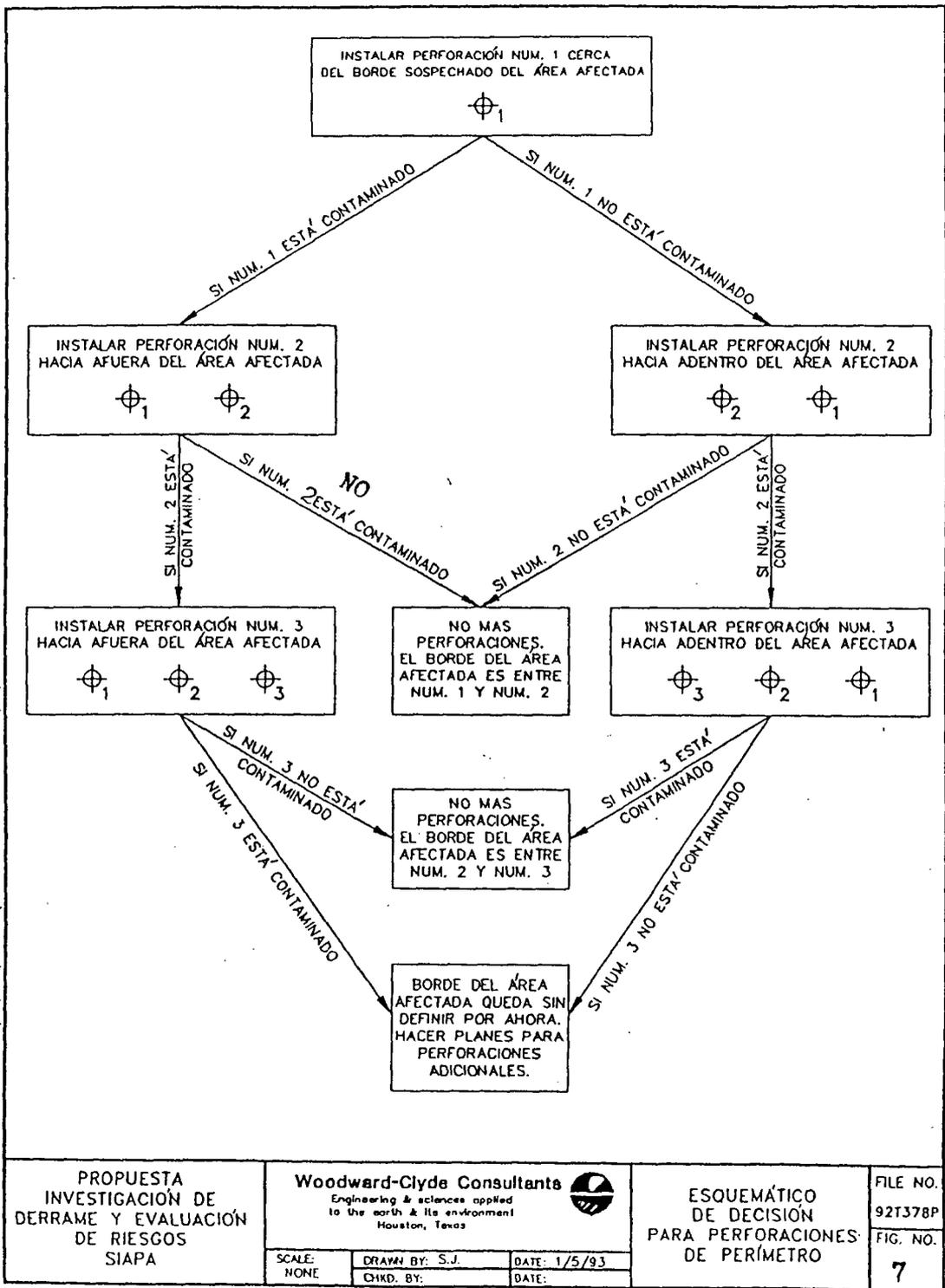
Cada línea consistirá en un máximo de 3 perforaciones. La localización de la primera perforación sobre la línea dada será basada en los resultados de los datos existentes en el mismo lado del área afectada.

Después de localizar una de las perforaciones propuestas en un lado dado del área afectada, la localización relativa de una o dos perforaciones adicionales en ese lado será determinada usando el razonamiento presentado en la figura No. 7.

Este procedimiento se diseñó para asesorar la extensión del área aproximada de la contaminación con un mínimo de esfuerzo y costo. El número de perforaciones en el perímetro requerido según el razonamiento varía entre 16 perforaciones, si sólo 2 se requieren en cada línea y hasta 24 perforaciones si es que 3 se requieren en cada línea, dependiendo de los resultados de la perforación o perforaciones anteriores hechas en ese lado según se indica en la figura No.7.

El espacio entre perforaciones propuesto para una línea dada puede variar entre 30 y 60 metros.

Se proponen 6 perforaciones adicionales a ser localizadas dentro del área de derrame cerca de las fuentes supuestas de dicho derrame, si alguna puede identificarse o donde las concentraciones mayores de hidrocarburos en el terreno se esperan encontrar. Estas perforaciones ayudarán a evaluar el espesor del subsuelo afectado, las condiciones de hidrocarburos, la dirección del movimiento del acuífero y el espesor de la capa flotante de hidrocarburos sobre el agua del acuífero, si es que la hay. Las localizaciones para estas perforaciones serán determinadas usando la revisión de datos de la Fase I en combinación con los resultados preliminares de las perforaciones de perímetro.



Location: HOUSTON, TX, CAD 4, File name: C:\DWG\921378P\92278P1.S.DWG Last edited: 01/06/93 @ 15:03

PROPUESTA
INVESTIGACIÓN DE
DERRAME Y EVALUACIÓN
DE RIESGOS
SIAPA

Woodward-Clyde Consultants
Engineering & sciences applied
to the earth & its environment
Houston, Texas



ESQUEMÁTICO
DE DECISION
PARA PERFORACIONES
DE PERÍMETRO

FILE NO.
921378P
FIG. NO.

7

SCALE: NONE	DRAWN BY: S.J.	DATE: 1/5/93
	CHKD. BY:	DATE:

Así, el número total de perforaciones propuestas varía entre 22 (16 más 6) a 30 (24 más 6), dependiendo de los resultados durante el progreso del trabajo.

Los costos estimados para esta propuesta, sin embargo, suponen que el programa máximo requerirá 30 perforaciones.

Las perforaciones serán hechas en las calles o áreas adyacentes. El programa de perforación descrito supone que el acceso a las localizaciones de perforación, la identificación de líneas subterráneas y el control de tráfico vehicular y de peatonal estará a cargo del S.I.A.P.A..

Cada perforación será hecha a una profundidad de por lo menos el nivel freático, lo cual se estima entre los 8.0 y 9.0 m. de profundidad. La profundidad de las perforaciones será probablemente de 10 a 12 m. bajo la superficie. Cuatro o cinco de los muestreos, sin embargo, podrían ser llevados a profundidades entre 15.0 y 16.0 m. para evaluar la posible existencia de un estrato impermeable por debajo de las zonas afectadas por hidrocarburos, algunas de estas perforaciones serán convertidas a pozos de monitoreo, según el esquema de un pozo típico de la figura No. 8.

Fase III.- Evaluación de Datos y Estudio de Factibilidad de Alternativas.- Los resultados de la revisión de datos existentes, el reconocimiento de sitio, la investigación del sitio y los análisis del laboratorio serán utilizados para:

Describir las condiciones del lugar en la tierra del subsuelo y del agua del acuífero, en el sitio mismo.

Estimar la extensión vertical y horizontal de la contaminación de hidrocarburos.

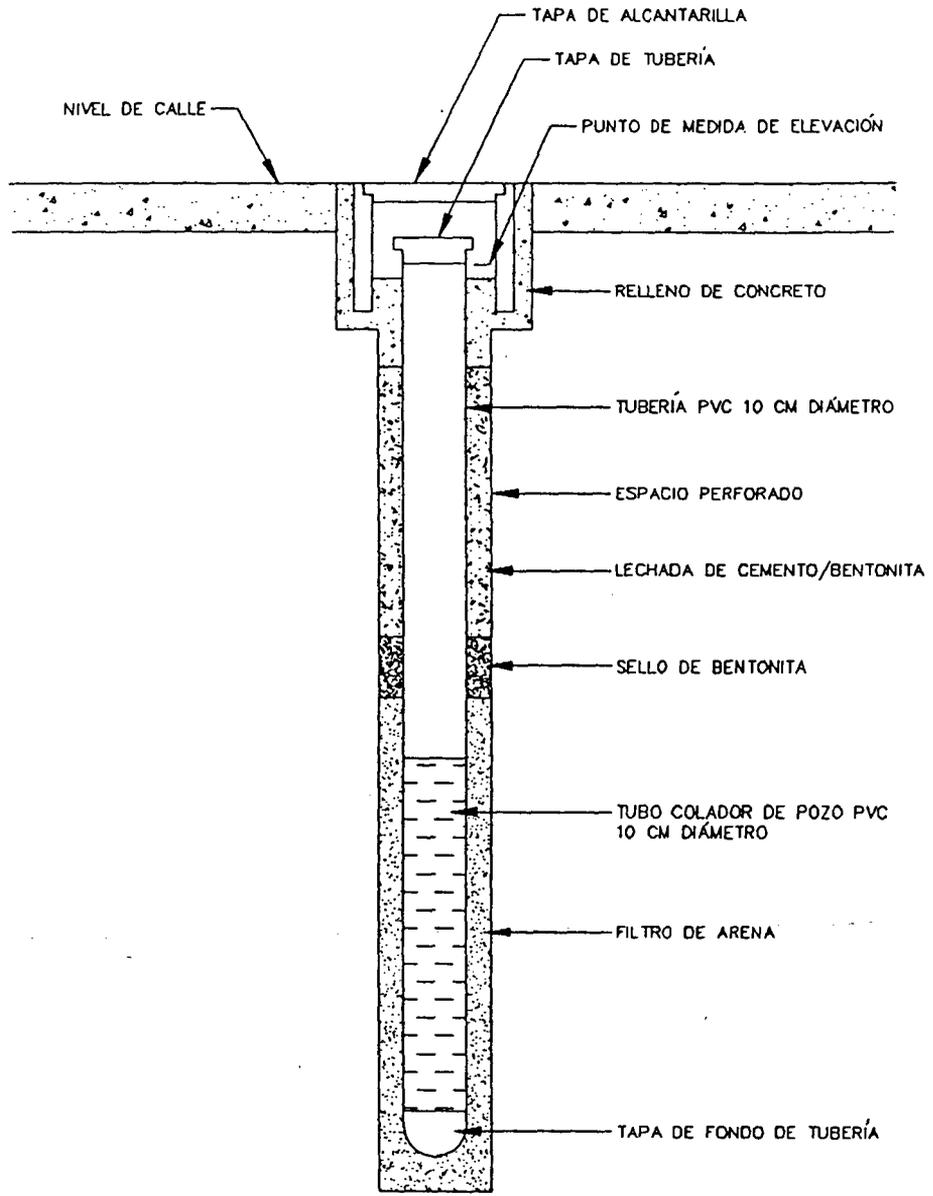
Estimar el volumen de los hidrocarburos fase libre y del suelo contaminado.

Estimar la edad, el tipo y la concentración de hidrocarburos.

Estimar la dirección del flujo del agua del acuífero.

Estimar la localización de la fuente o fuentes potenciales de contaminantes, y si hay más de una, el porcentaje de distribución de cada fuente.

Location: HOUSTON, TX. CAD 4. File name: C:\DWG\92T278P\92278P-25.DWG Last edited: 01/06/93 @ 15:22



<p>PROPUESTA INVESTIGACION DE DERRAME Y EVALUACION DE RIESGOS SIAPA</p>	<p>Woodward-Clyde Consultants Engineering & sciences applied to the earth & its environment Houston, Texas</p>		<p>DIAGRAMA ESQUEMÁTICO TÍPICO DE POZO DE MONITOREO</p>	<p>FILE NO. 92T278C</p>
	<p>SCALE: NONE</p>	<p>DRAWN BY: S.J. CHKD. BY:</p>		<p>DATE: 1/5/93 DATE:</p>

Asesorar los posibles impactos de los escapes de hidrocarburo en el ambiente, áreas residenciales, edificios, sistemas de transporte y seres humanos.

Evaluar el riesgo de explosión, fuego, inhalación de gases, reacciones internas antes y después de la restauración u otros atribuidos a la presencia de hidrocarburos.

Describir las medidas de seguridad a considerarse durante y después del proceso de restauración y llevar a cabo una asesoría preliminar de tecnologías que puedan ser utilizadas para restaurar la contaminación bajo las condiciones específicas del sitio, incluyendo una demostración de que las alternativas no pondrán en peligro la estabilidad estructural de edificios; así como, describir los requisitos para la implementación de cada alternativa y programación de tiempos y costo estimado de las alternativas seleccionadas.

Los resultados de la evaluación de datos y del estudio de factibilidad preliminar serán presentados al S.I.A.P.A. como un informe de ingeniería escrito en español.

Este informe presentará descripciones de las actividades de campo y laboratorio, mapas mostrando las localizaciones de las perforaciones y pozos, los registros de las perforaciones de investigación, dibujos de los pozos de monitoreo tal como fueron construidos.

Las dimensiones horizontales aproximadas de la pluma de contaminación, un corte transversal mostrando el desarrollo de la pluma, los resultados de los análisis de laboratorio y una descripción de tecnologías que pueden ser efectivas en restaurar el sitio de la contaminación.

"W-C" producirá resultados e interpretaciones con base en los datos de campo y análisis de laboratorio a nivel de precisión consistente con la práctica moderna y con las limitaciones de los métodos de investigación de campo y laboratorio usados.

"W-C" advierte al S.I.A.P.A. que la práctica moderna para investigaciones de contaminación en suelo y agua, usando técnicas de perforaciones y pozos de monitoreo y métodos convencionales de laboratorio de U.S. E.P.A. para determinar hidrocarburos totales y fracciones de hidrocarburos, está limitada por ciertas incertidumbres tales como:

La incertidumbre de naturaleza exacta y grado de uniformidad de las condiciones del subsuelo. Condiciones del subsuelo discontinuas o no anticipadas pueden no ser detectadas por una estrategia de muestreo limitada.

Resultados de pruebas de campo y laboratorio pueden no reflejar exactamente las condiciones físico-químicas en el rango de subsuelo en total, debido a condiciones externas (por ejemplo, un nivel freático fluctuante) que no están bajo control dentro de la estrategia de muestreo.

Métodos de laboratorio para determinar la edad de hidrocarburos son inherentemente imprecisos; como regla general, sólo edades relativas pueden ser obtenidas a través de los análisis de laboratorio.

La identificación de las fuentes potenciales de contaminación será conducida usando una combinación de técnicas de investigación del subsuelo y reconocimiento de la superficie buscando localizaciones de almacenamiento de hidrocarburos.

Asignación de porcentajes precisos de la contribución de contaminación a cada fuente puede ser difícil dentro de las limitaciones del programa propuesto.

Como subcontratista de perforación "W-C" utilizará a Lainco. S.A. de C.V. de esta ciudad y que tiene equipo de perforación montado sobre camión y es adecuado para las investigaciones propuestas. Para los servicios de agrimensura, utilizara como subcontratista, también de esta ciudad, a Estudios Topográficos, S.A.

Una firma de Estados Unidos, "Core Laboratories" de Houston Texas, se utilizara para las pruebas de laboratorio de las muestras de suelo y agua.

El proyecto presentado en la propuesta anterior pretendía una duración de 15 a 19 semanas, con un costo de U.S. dollars \$ 190,159.40 el cuál, no se llevo a cabo, simplemente fue conservada por el S.I.A.P.A. como una referencia al problema de la colonia "Moderna".

Posteriormente, en octubre de 1993 Ferrocarriles Nacionales de México, contrató a la empresa "Territorio y Medio Ambiente, S.A." de Barcelona, España y con sucursal en México, D.F. para que realizará una serie de perforaciones de investigación consistentes en:

14 pozos o sondeos de observación.

11 pozos de monitoreo y

5 pozos de recuperación.

Las perforaciones de investigación se realizaron en las instalaciones de la estación "Sinaloa" de la región "Pacífico" en Guadalajara, Jalisco, diseminadas en talleres de mantenimiento de locomotoras, patios de maniobras y llenaderas de combustible.

Se obtuvieron muestras de suelo a cada 1.5 m. de profundidad con el muestreador de media caña o probador estandard, dichas muestras fueron entregadas al responsable de la supervisión.

En diciembre de 1993 la empresa Germex, S.A. de C.V. de Zapopan, Jalisco en colaboración con Protección Civil, inició una serie de estudios tendientes a detectar el problema de hidrocarburos en la colonia "Moderna", denominados "Moderna II" y cuyos objetivos pretendidos fueron:

Detectar el problema, valorarlo y realizar trabajos de restauración, todo esto sin costo alguno para el Gobierno del Estado.

En trabajos de laboratorio realizados por Germex y según versión de esta misma, se detectó en el subsuelo frente a Ferrocarriles Nacionales de México una bacteria especial que se alimenta de diesel, bautizada como "La Tapatía" y la que- según esta empresa, con algunos procesos biológicos ensayados han logrado reproducirla en los grados que se requiere para que una vez extraído todo el diesel posible del subsuelo, comience su labor final de restauración.

Se perforaron 47 pozos de extracción de los cuales sólo 12 se equiparon perfectamente para la extracción y finalmente en 5 de ellos se llevo a cabo dicha extracción.

La zona en donde se extrajo el combustible en el agua, esta comprendida por las calles: 8 de Julio y Suecia, Alemania, Niños Héroes y Federalismo Sur.

En el área se instaló una red de aproximadamente 2,500 m. de tubería y los pozos en los que se extrajo se denominaron: "Kuwait I", "Kuwait II", "Arabia Saudita", "Ixtoc I" e "Ixtoc II", nombres alusivos a su intensa actividad, según el responsable de la empresa.

A partir del miércoles 3 de agosto de 1994 se extrajeron alrededor de 1,000 lts/hr, teniéndose un promedio de 21,000 litros por día lo cuál permitía llenar la pipa de Protección Civil del producto: diesel-agua, entre cada 4 y 6 horas, la cuál lo transportaba hasta las instalaciones de "Pemex", en donde era recibido por técnicos que refieren que la pureza del diesel en el agua es bastante alta.

El diesel que se encontró en el área señalada se encuentra impregnado en los materiales principalmente en el "jal" (pómez), informe referido por técnicos de Germex. Por lo que la técnica que se utilizó fue la inyección de aire caliente con una temperatura entre 35 y 36°C para alcanzar la viscosidad del combustible, condensarlo y lograr su acumulación en las partes bajas para su posterior extracción.

Técnicos de Protección Civil afirmaron, que: "el procedimiento no significaba riesgo", debido a que en la extracción se sacan también los gases, los que van a parar a una esfera que se encuentra localizada en una unidad de la empresa y la cuál esta llena de bacterias.

Esta empresa, se retiró del área de trabajo en enero de 1995 sin dar ningún informe de los trabajos y actividades aplicadas, ni de las condiciones en que dejaron el sitio del problema.

De nueva cuenta, Ferrocarriles Nacionales de México en marzo de 1994 contrata a la empresa: "Territorio y Medio Ambiente, S.A." para que presentará una propuesta para la restauración de suelos en los talleres de locomotoras. La propuesta fue presentada bajo el título: "Propuesta Para Prueba Piloto de Remediación de Terrenos, Talleres de F.N.M. en Guadalajara".

Dicha propuesta contemplaba un proyecto con los siguientes objetivos:

1.- Construcción de pozos de monitoreo y tomas de muestras, según sean requeridos para la definición clara del programa (especificar cantidades cotizadas).

2.- Estudio que determiné las características del subsuelo y de los mantos freáticos afectados por la contaminación eventual como consecuencia de la migración de los hidrocarburos.

3.- Estudio que describa las plumas de hidrocarburos; configuración, profundidad, dinámica aparente, comportamiento probable, etc.

4.- Estudio de contaminación de mantos freáticos resultante de los análisis correspondientes.

5.- Estudio de legislación vigente y propuesta de grado de limpieza que debe contemplarse para suelos y mantos freáticos, aportar el proyecto técnico ante las autoridades competentes para justificar estos objetivos.

6.- Evaluación de la trayectoria y velocidad de migración de los contaminantes hacia mantos freáticos o cuerpos de agua existentes.

7.- Proyecto ejecutivo para la "remediación" de suelos y mantos freáticos.

El proyecto que describe la propuesta anterior tampoco fue realizado.

El 24 de marzo de 1995 el director de la Comisión Estatal de Ecología (Jalisco) da a conocer a los medios de comunicación: que "Allwaste, Servicios Industriales de Control Ecológico, S.A. de C.V." será la empresa que llevé a cabo los trabajos de "remediación" de la contaminación de hidrocarburos en el subsuelo de la colonia "Moderna" de esta ciudad. Trabajos que deberán terminarse en un plazo de 10 meses a partir del 1ro. de abril del año en curso. El compromiso adquirido por la empresa será: "Eliminar el gas presente en el subsuelo de dicha colonia y extraer los hidrocarburos flotantes en los mantos freáticos hasta reducirlos en 50 partes por millón (ppm)".

El costo de la "remediación" ascenderá a 5'907,299.00 de nuevos pesos que pagará el gobierno del estado de los 6'000.000.00 de nuevos pesos que la federación aportó para tal objetivo a través de la Secretaría de Desarrollo Social".

La empresa "Allwaste" resulto ganadora por encima de la denominada: "Germex, S.A. de C.V." la cuál presento un proyecto con un costo de 14'000,000.00 de nuevos pesos.

El proyecto de "Allwaste" incluye:

La perforación y desarrollo de pozos.

Líneas de interconexión y recolección.

Suministro e instalación de equipos, y

El suministro, monitoreo, operación y mantenimiento durante los 10 meses de trabajo.

Así mismo, la empresa asume el compromiso de reparar cualquier daño que pudiese llegar a ocasionar con motivo del "saneamiento".

El director de la Comisión Estatal de Ecología, informó que; el contrato entre la empresa "Allwate" y el gobierno estatal de Jalisco, establece cuales son los objetivos a cumplir por parte de la misma, así como las penalidades a que se hace acreedora en caso de incumplimiento.

"Allwaste" determinará la ubicación exacta de la mancha de contaminante, para posteriormente iniciar de lleno los trabajos de "saneamiento" terminando en febrero de 1996.

El monto de las partidas presupuestales será como sigue:

Evaluación de las condiciones actuales de la pluma de contaminación: N\$ 316,067.00.

Perforación y desarrollo de pozos: N\$ 1'310,455.00.

Líneas de interconexión y recolección: N\$ 1'300,151.00.

Suministro e instalación de equipos: N\$ 2'074,823.00.

Muestreo, monitoreo, operación y mantenimiento: N\$ 905,803.00.

Dando como concluida la fase de evaluación de las condiciones actuales de la pluma de contaminación con los antecedentes proporcionados por el S.I.A.P.A. y siguiendo el razonamiento de la propuesta de "Woodwar-Clayde" en las perforaciones de investigación, el día 8 de mayo de 1995 se inicia la perforación y desarrollo de pozos bajo la supervisión de la empresa "Grondwater Technology, Inc." de Torrance, California, EE. UU.

Del 08 al 31 de mayo se perforarán 14 pozos para extracción de vapor a una profundidad promedio de 9.0 m. y se perforan e instalan 18 pozos de monitoreo a una profundidad promedio de 12.0 m. La localización de los pozos de monitoreo que se perforarán se indica en la tabla No.2 y gráficamente se indica la ubicación en el plano de la figura No. 9.

Al momento de terminada está investigación, julio de 1995, se encontraba la compañía subcontratista "Groundwater Technology, Inc.", preparandose para dar inició en el mes de agosto a la perforación e instalación de aproximadamente 70 pozos de extracción de vapor.

En cuanto al sector "Reforma" de esta ciudad de Guadalajara se refiere, los trabajos de perforación e instalación de pozos de monitoreo son los siguientes:

Como respuesta a las demandas de los habitantes circunvecinos de la zona siniestrada por las explosiones del 22 de abril de 1992 y a la preocupación despertada por el insistente y penetrante olor de los vapores de gasolina, percibidos todavía a través de las alcantarillas del drenaje y las mediciones periódicas que el H. Cuerpo de Bomberos realizó con índices del 100% de explosividad, la Comisión Estatal de Ecología contrató a la empresa "S.I.P.A.S.A." (Servicios Integrales de Protección Ambiental, S.A. de C.V.) de la ciudad de México, D.F. para que realizará una serie de perforaciones de investigación, y convertir varias de estas perforaciones en pozos de monitoreo.

TABLA No. 2 LOCALIZACION DE POZOS DE MONITOREO INSTALADOS EN EL PROYECTO:
 "SANEAMIENTO DE LA COLONIA MODERNA" POR "ALLWASTE" EN 1995

TIPO DE POZO Y No.	LOCALIZACION
MONITOREO No. I	CALLE MONTENEGRO Y AV. 8 DE JULIO
MONITOREO No. 2	CALLE PAVO FTE. No. 650 Y CALLE MEXICALTZINGO
MONITOREO No. 3	CALLE COLON Y CALLE ALZATE
MONITOREO No. 4	CALLE PAVO Y CALLE VIDRIO
MONITOREO No. 5	CALLE ESCORZA Y AV. NIÑOS HEROES
MONITOREO No. 6	CALLE PAVO FTE. No. 768 Y AV. NIÑOS HEROES
MONITOREO No. 7	ACERA OTE. DE C. PENITENCIARIA Y C. LAZARO PEREZ
MONITOREO No. 8	C. FERMIN RIESTRA ENTRE AV. FEDERALISMO Y C. PAVO
MONITOREO No. 9	ACERA NTE. DE C. FERMIN RIESTRA Y C. ESCORZA
MONITOREO No. 10	AV. 8 DE JULIO Y CALLE SUECIA
MONITOREO No. 11	CALLE PAVO Y CALLE SUECIA
MONITOREO No. 12	CALLE RAYON Y AV. ALEMANIA
MONITOREO No. 13	CALLE LORENA Y AV. ALEMANIA
MONITOREO No. 14	CALLE RUSIA Y AV. DEL CAMPESINO
MONITOREO No. 15	COLON Y AV. 8 DE JULIO

MONITOREO No. I6	C. NICOLAS REGULES ENTRE C. CARTERO Y AV. ESPAÑA
MONITOREO No. I7	AV. ESPAÑA ENTRE C. AUSTRIA Y AV. FEDERALISMO
MONITOREO No. I8	AV. CIRC. STA. EDUWIGES ENTRE C. BELGICA Y AV. TOLSA

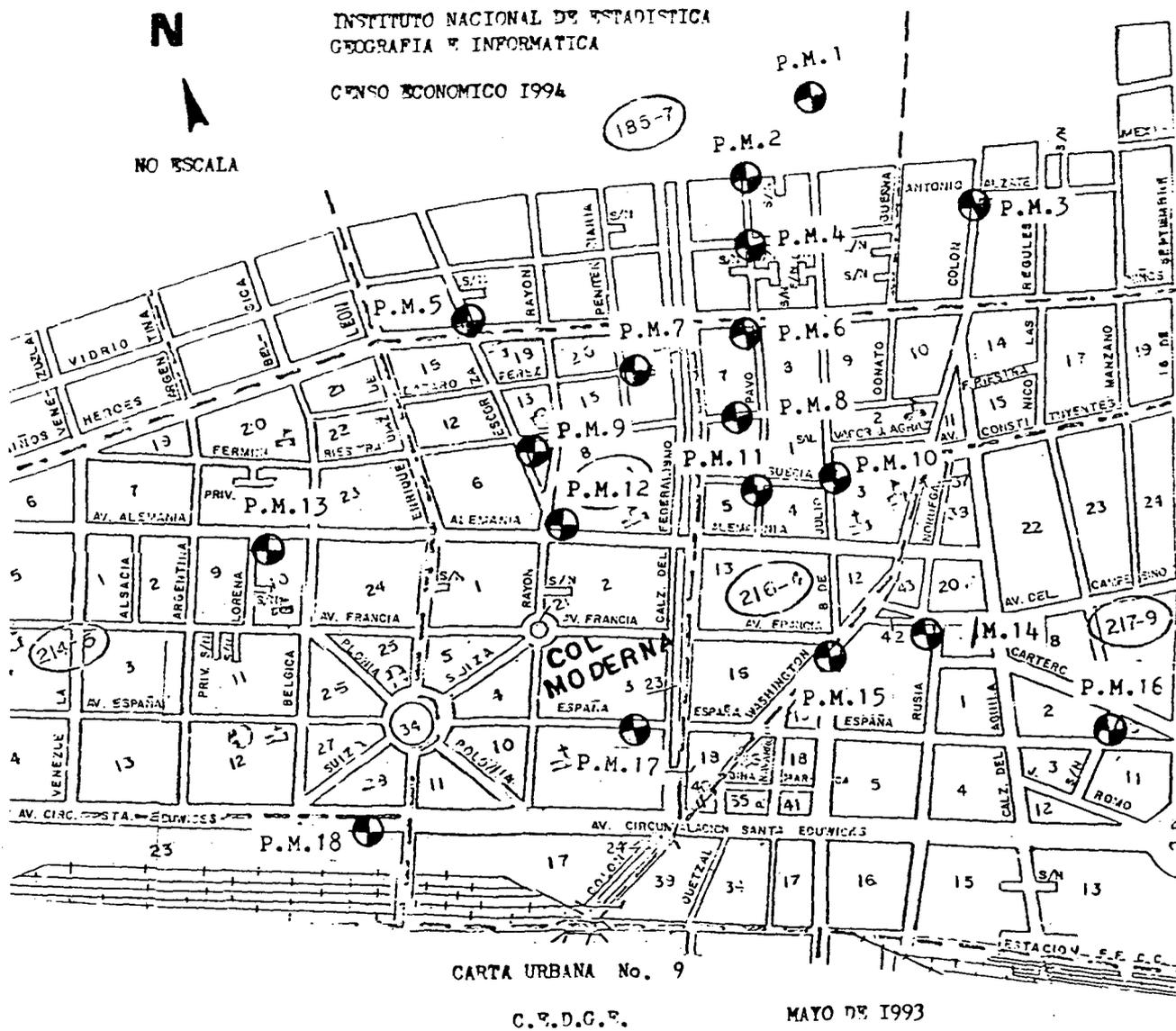


Fig. 9 Plano de localización de pozos de monitoreo instalados por "Allwaste" en el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna" en 1995.

En el mes de mayo de 1993 se inicián las actividades de perforación e instalación de pozos de monitoreo por la empresa "S.I.P.A.S.A." junto con la compañía "E.T.I." (Exploration Technologies, Inc.) de Houston, Texas, EE. UU. en el proyecto denominado: "Guadalajara-Coese".

El objetivo principal del proyecto fue:

Detectar la existencia de la pluma de hidrocarburos presente en el área. Para lo cuál se seleccionarán localizaciones para realizar las perforaciones de investigación muy cerca de la franja del siniestro y en estaciones de servicio de venta de combustibles (gasolinerías) cercanas.

25 perforaciones se desarrollarán y se convirtieron en pozos de monitoreo bajo la supervisión de "E.T.I./S.I.P.A.S.A.".

En la figura No. 10. se muestra en detalle un pozo de monitoreo típico, utilizado.

La localización, profundidad y número de designación de los pozos de monitoreo instalados se indica en las tablas No. 3. Se anexa plano de localización gráfica en la figura No. 11.

En los proyectos que se realizarón, tanto en la colonia "Moderna" por "Tema, S.A." en 1993 y "Allwaste" en 1995; como E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST en el sector "Reforma" se aplicó la metodología de procedimientos recomendados por la E.P.A. Environmental Protection Agency (Agencia de Protección al Ambiente de los EE. UU.), La A.S.T.M. American Society Testing and Materials (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales de los EE. UU.) y la O.S.H.A. Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales de los EE. UU.). en la perforación e instalación de Pozos de Monitoreo de Mantos Freáticos en sitios con derrames de hidrocarburos, que consisten en:

RUST ENVIRONMENT
& INFRASTRUCTURE

TYPICAL
MONITORING WELL DETAIL

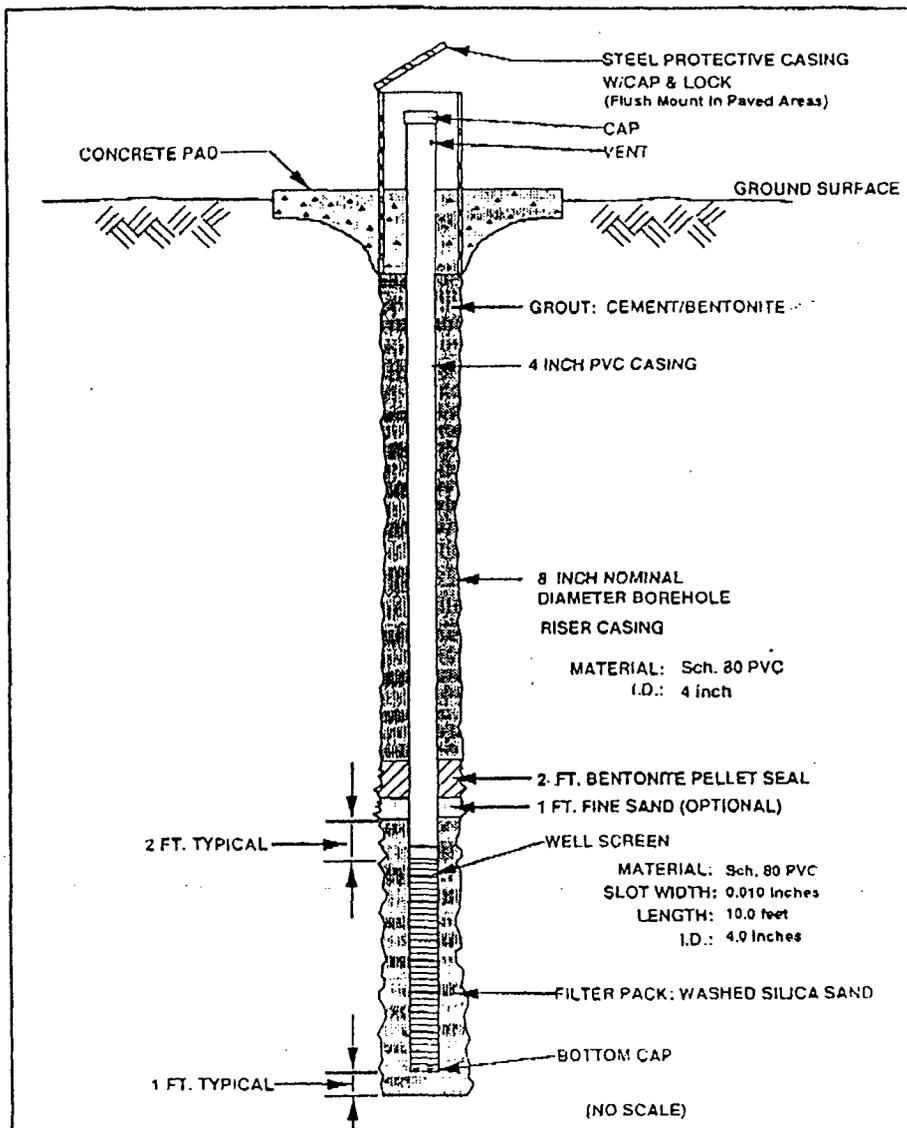
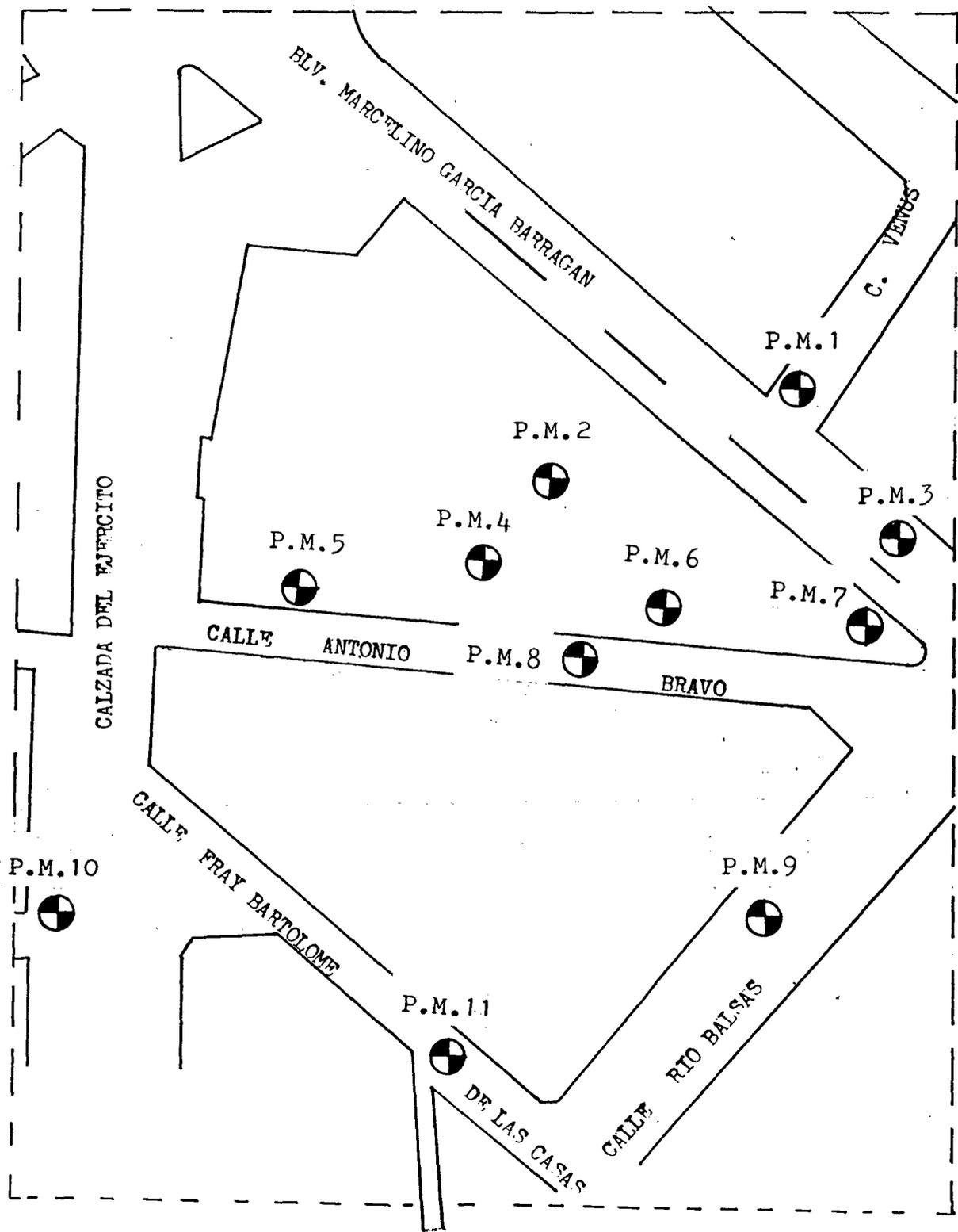


Fig. 10 Pozo de monitoreo típico instalado por "F.T.I./
S.I.P.A.S.A./RUST" en el proyecto: "Guadalajara-
Coese" en el sector "Reforma" en 1993.

TABLA No. 3 LOCALIZACION DE POZOS DE MONITOREO INSTALADOS EN EL PROYECTO:
 "GUADALAJARA-COESE" EN EL SECTOR "REFORMA" POR E.T.I./
 S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993

TIPO DE POZO Y No.	LOCALIZACION
MONITOREO No. I	LADO NTE. DE C. VENUS Y BLV. M. GARCIA BARRAGAN
MONITOREO No. 2	INTERIOR DE GASOLINERA HACIA C. ANTONIO BRAVO
MONITOREO No. 3	BLV. M. GARCIA BARRAGAN Y CALLE ANTONIO BRAVO
MONITOREO No. 4	CENTRO DE LA GASOLINERA HACIA BLV. M. GARCIA B.
MONITOREO No. 5	INT. DE GASOLINERA HACIA C. ANTONIO BRAVO Y CALZ. DEL EJERCITO
MONITOREO No. 6	INT. GASOLINERA HACIA C. ANTONIO BRAVO Y BLV. MARCELINO GARCIA BARRAGAN
MONITOREO No. 7	INT. DE GASOLINERA HACIA BLV. M. GARCIA BARRAGAN Y CALLE ANTONIO BRAVO
MONITOREO No. 8	SOBRE LA CALLE ANTONIO BRAVO ENTRE RIO BALSAS Y CALZADA DEL EJERCITO
MONITOREO No. 9	C. RIO BALSAS ENTRE C. FRAY BARTOLOME DE LAS CASAS Y CALLE ANTONIO BRAVO
MONITOREO No. IO	CALZ. DEL EJERCITO Y FRAY B. DE LAS CASAS
MONITOREO No. II	C. FRAY B. DE LAS CASAS ENTRE RIO BALSAS Y EJERCITO

MONITOREO No. 12	C. RIO BALSAS ENTRE F. B. DE LAS CASAS Y C. GANTE
MONITOREO No. 13	CALLE GANTE Y CALZADA DEL EJERCITO
MONITOREO No. 14	CALLE BUGAMBILIAS Y CALLE LUIS VERDIA
MONITOREO No. 15	INT. ANTIGUA CENTRAL CAMIONERA HACIA CALLE LOS ANGELES ENTRE C. 28 DE ENERO Y C. 5 DE FEBRERO
MONITOREO No. 16	INT. ANTIG. C. CAMIONERA HACIA CALZ. DR. R. MICHEL ENTRE C. 5 DE FEBRERO Y CALLE ESTADIO
MONITOREO No. 17	CALZ. DR. R. MICHEL NTE. Y CALLE 5 DE FEBRERO
MONITOREO No. 18	CALLE 5 DE FEBRERO Y CALZ. DR. R. MICHEL SUR
MONITOREO No. 19	CALZ. DR. R. MICHEL ENTRE C. AZUCENA Y C. 5 DE FEB.
MONITOREO No. 20	INT. GASOLINERA HACIA C. 5 DE FEB. Y DR. R. MICHEL
MONITOREO No. 21	C. 5 DE FEB. ENTRE R. MICHEL Y CALZ. INDEP. SUR
MONITOREO No. 22	INT. GASOLIN. R. MICHEL Y CALZ. INDEPENDENCIA SUR
MONITOREO No. 23	INT. GASOLIN. C. 5 DE FEBRERO Y CALZ. INDEP. SUR
MONITOREO No. 24	5 DE FEB., CALZ. INDEP. SUR Y CALZ. DR. R. MICHEL
MONITOREO No. 25	INT. PARQUE "AGUA AZUL" HACIA CALZ. INDEPENDENCIA SUR Y CALZADA J. GONZALEZ GALLO



... continuación de la figura II

1.- Perforación de Suelos.- Fair, et al (8). Se realizó utilizando maquina perforadora rotatoria montada sobre camión transportador, figura No. 12; con barrena helicoidal de tallo hueco ("Auger"), figura No. 13; de 16.70 cm. (6 5/8") de diámetro interior aprox. en seco para facilitar la detección del acuífero y disminuir perturbaciones al mismo, hasta una profundidad de 4.6 m. por debajo del nivel estático del agua subterránea; dejando en la perforación las barrenas como recubrimiento de las paredes.

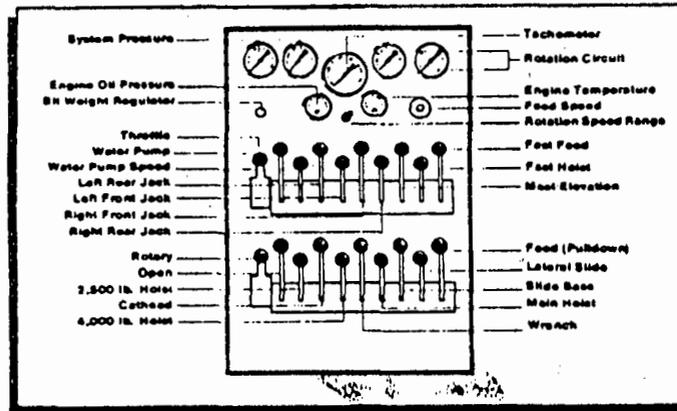
2.- Muestreo de Suelo.- S.M.M.S. (19). Se utilizó un probador de penetración estandar ("standard penetration (test) sampler") para obtener muestras en suelos granulares no (arenas) a cada 1.5 m. desde el suelo superficial hasta el fondo de la perforación, figura No. 14.

Las muestras obtenidas, fueron monitoreadas con el ("OVM") "Organic Vapor Monitor" monitor de vapores orgánicos, figura No. 15 (6). Se colocaron en frascos de vidrio certificados como limpios por un laboratorio. Se les agregaron conservadores según el tipo de muestra y el análisis pretendido; se hicieron las anotaciones correspondientes, se colocaron en hieleras, y se realizo el seguimiento de "cadena de custodia", figura No. 16, entregandose al responsable de la compañía, (22).

3.- Desarrollo del Pozo.- Fair, et al (8). Después de 72 horas de la perforación, recobrado el nivel freático y estabilizado del espesor de la capa flotante de hidrocarburos, se determinó el gradiente aparente del agua del acuífero con una sonda medidora de interfase; figura No. 17.

Después de establecidos, la conductibilidad eléctrica, temperatura y pH del agua del pozo; se purgó utilizando una bomba sumergible manual, extrayendose aproximadamente 5 veces el volumen del agua. El último parámetro a estabilizarse es el pH, las mediciones se realizaron con un aparato que mide los tres parámetros al mismo tiempo, figura No. 18, (8)

TABLERO DE CONTROLES E INDICADORES



MOTOR 106 HP DIESEL

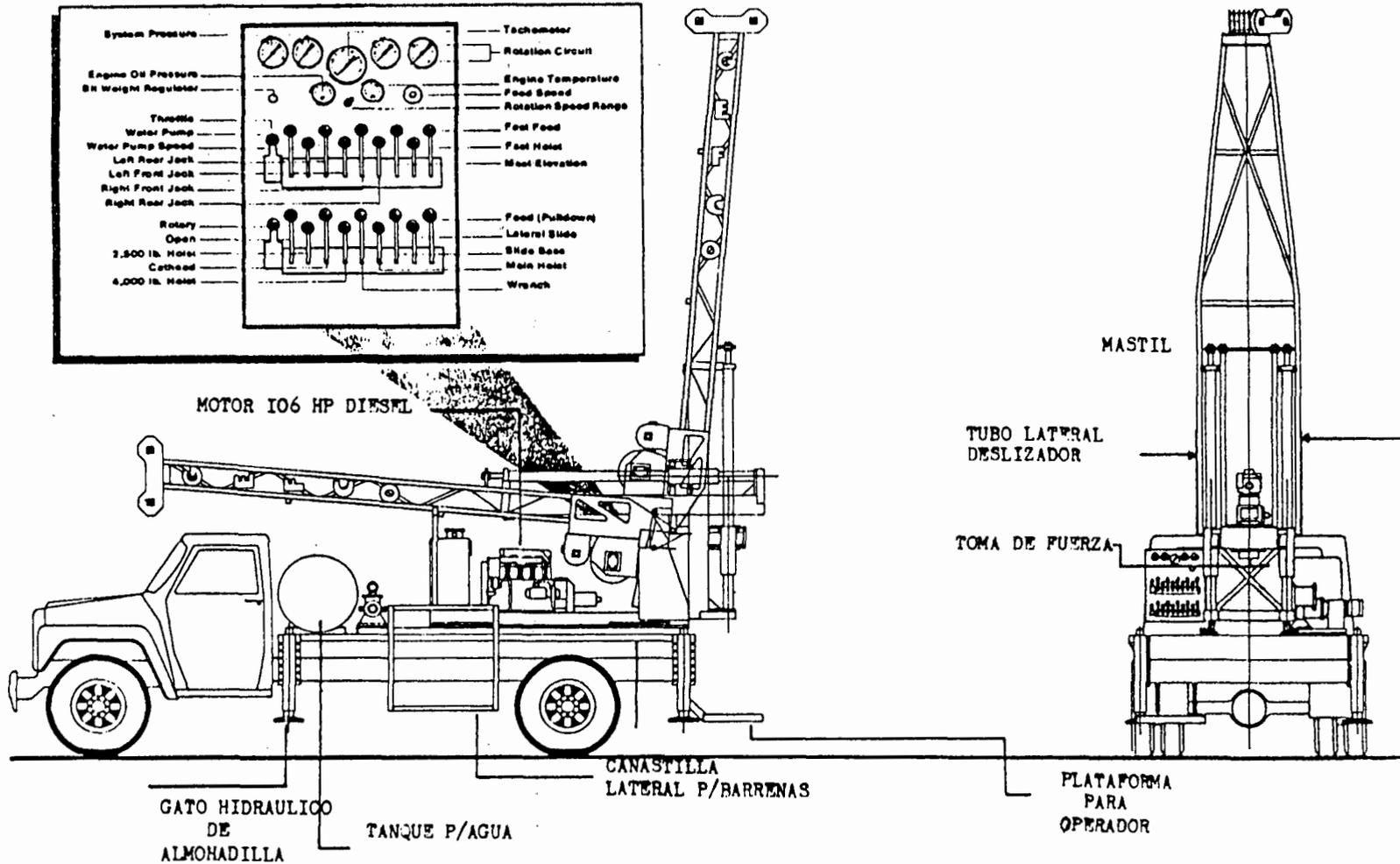
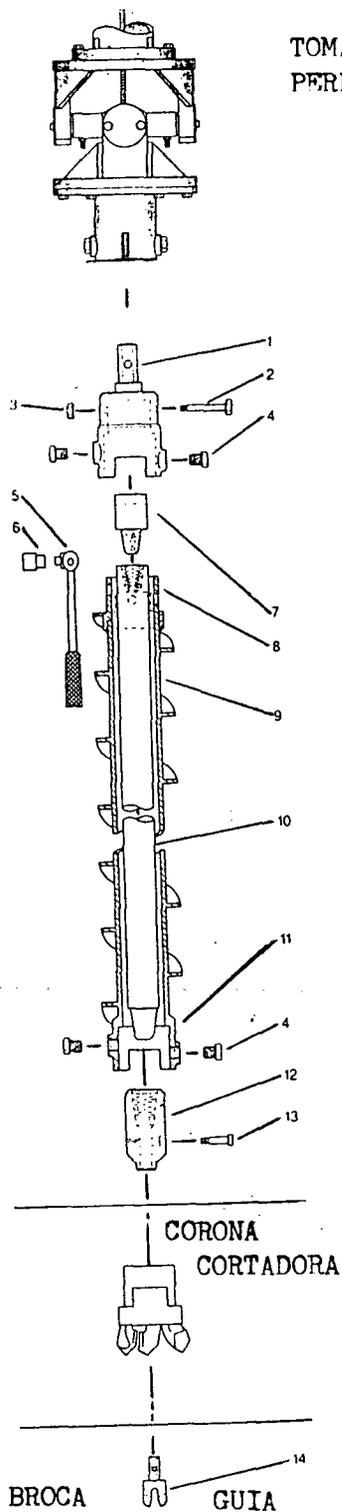


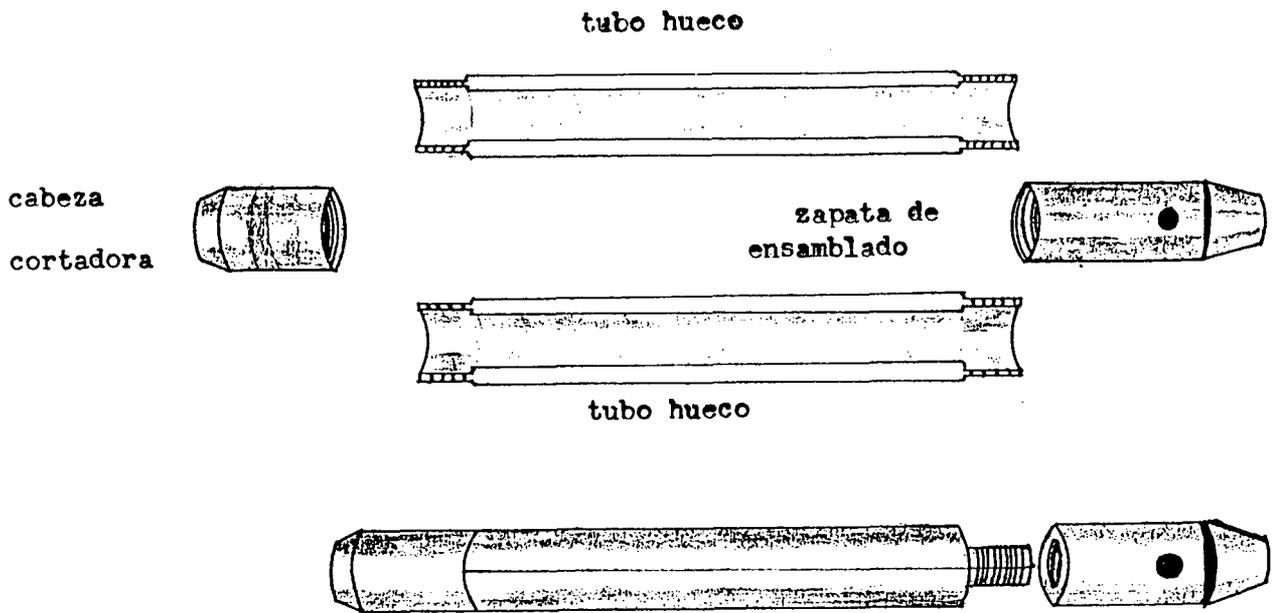
Fig. I2 Maquina perforadora rotatoria montada sobre camión transportador.

TOMA DE FUERZA DE LA MAQUINA
PERFORADORA ROTATORIA

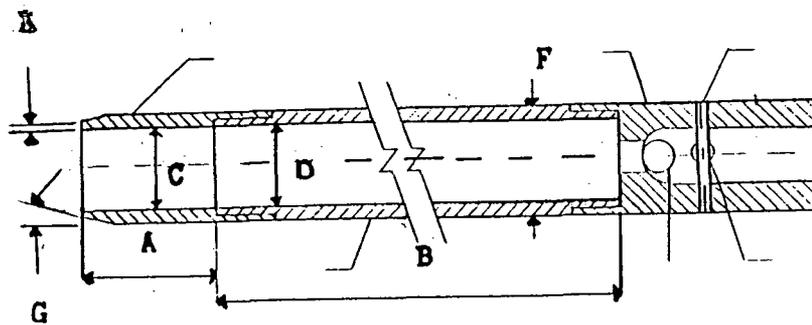


- I.- Perno de la Cabeza de ensamble
- 2.- Tornillo de ensamble
- 3.- Tuerca de Tornillo de ensamble
- 4.- Perno Sujetador de Barra Guia
- 5.- Maneral para Dado
- 6.- Dado (dif. dimensiones)
- 7.- Adaptador de Barra Guia con Tornillo de Ensamble.
- 8.- Conección de Barra Guia con Bolo de Ensamble
- 9.- Barrena Helicoidal Hueca (Auger)
- 10.- Barra Central .
- 11.- Conección Cajón para Broca Piloto
- 12.- Adaptador para Broca Piloto
- 13.- Perno del Adaptador
- 14.- Broca Piloto o Guia

Fig. 13 Barrena helicoidal hueca ("Auger") con accesorios y brocas de perforación.



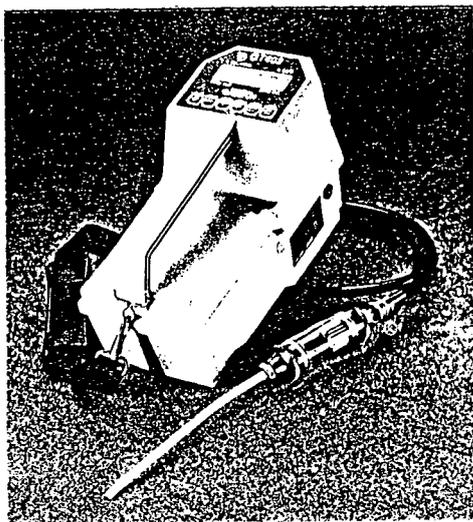
Muestrador de media caña.



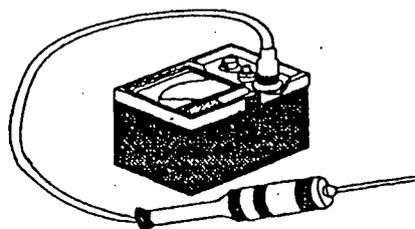
Dimensiones según la A.S.T.M.

- A.- 25 a 50 mm. B.- 0.457 a 0.762 mm.
- C.- 34.93 ± 0.13 mm. D.- $38.1 \pm 1.3 - 0.0$ mm.
- E.- 2.54 ± 0.25 mm. F.- $50.8 \pm 1.3 - 0.0$ mm.
- G.- 26 a 23°

Fig. 14 Muestrador de media caña e penetrómetro estándar.



SERIE GT
ANALIZADOR PORTATIL DE GAS



PID
PHOTOIONIZADOR

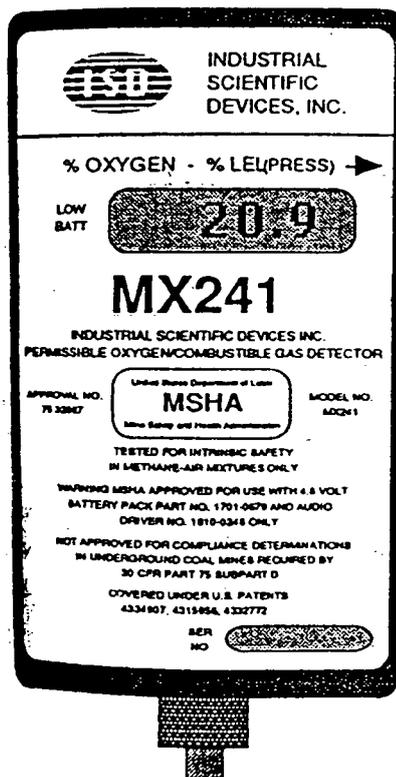


Fig. I5 Detectores-medidores de la calidad del aire y atmósferas raras.



Environmental Laboratory
8880 Interchange Drive
Houston, Texas 77054
713/660-0901

Analysis Request and Chain of Custody Record

Project No. <i>Proyecto n°</i>		Client/Project Name <i>cliente / nombre del proyecto</i>				Project Location <i>localización del proyecto</i>			
Field Sample No./ Identification	Date and Time	Grab	Comp	Sample Container (Size/Mat'l)	Sample Type (Liquid, Sludge, Etc.)	Preservative	ANALYSIS REQUESTED	LABORATORY REMARKS	
<i>Muestra de campo n°</i>	<i>Fecha hora</i>			<i>Recipiente de muestra</i>	<i>Tipo de muestra (liquido, slodo, etc)</i>	<i>Preservativo</i>	<i>Análisis requerido</i>	<i>Observaciones del laboratorio</i>	
<i>Identificación</i>				<i>Tamaño/mat. env.</i>					
Samplers: (Signature)		Retinquired by: (Signature)		Date: <i>Fecha</i> Time: <i>hora</i>		Received by: (Signature)		Date: <i>Fecha</i> Time: <i>hora</i>	Intact
<i>Muestreador (firma)</i>		<i>Entregado por (firma)</i>		<i>Fecha hora</i>		<i>Recibido por (firma)</i>		<i>Fecha hora</i>	Intact
Affiliation		Retinquired by: (Signature)		Date: <i>Fecha</i> Time: <i>hora</i>		Received by: (Signature)		Date: <i>Fecha</i> Time: <i>hora</i>	Intact
<i>(afiliación) ?</i>		<i>Entregado por (firma)</i>		<i>Fecha hora</i>		<i>Recibido por (firma)</i>		<i>Fecha hora</i>	Intact
SAMPLER REMARKS: <i>Observaciones del que muestra</i>						Received for laboratory: (Signature)		Date: <i>Fecha</i> Time: <i>hora</i>	Laboratory No. <i>Laboratorio n.º</i>
Seal #						Data Results to: <i>Enviar resultados</i>			

99

Fig. I6 Forma de ("cadena de custodia").

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
 BIBLIOTECA CENTRAL

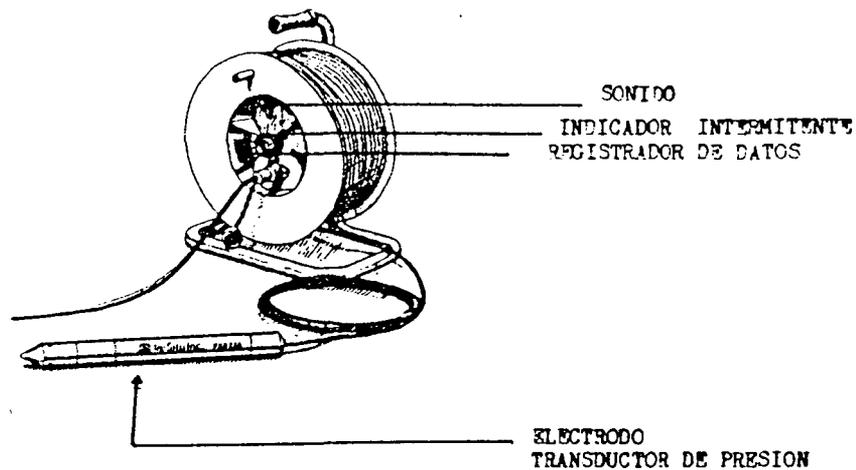


Fig. I7 Sonda medidora del nivel de aguas freáticas y detectora de interfase: Agua-Hidrocarburos.

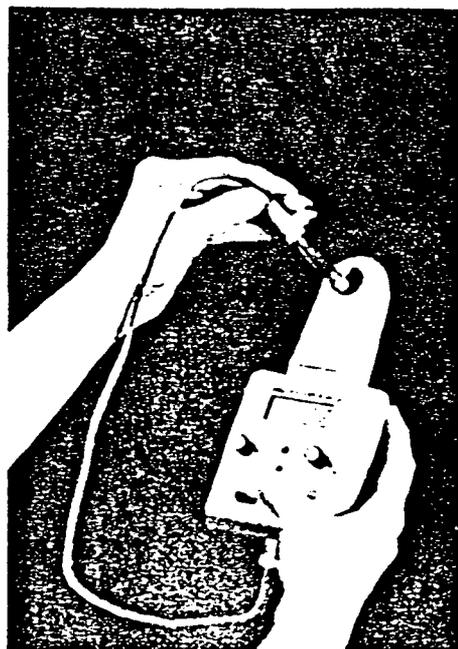
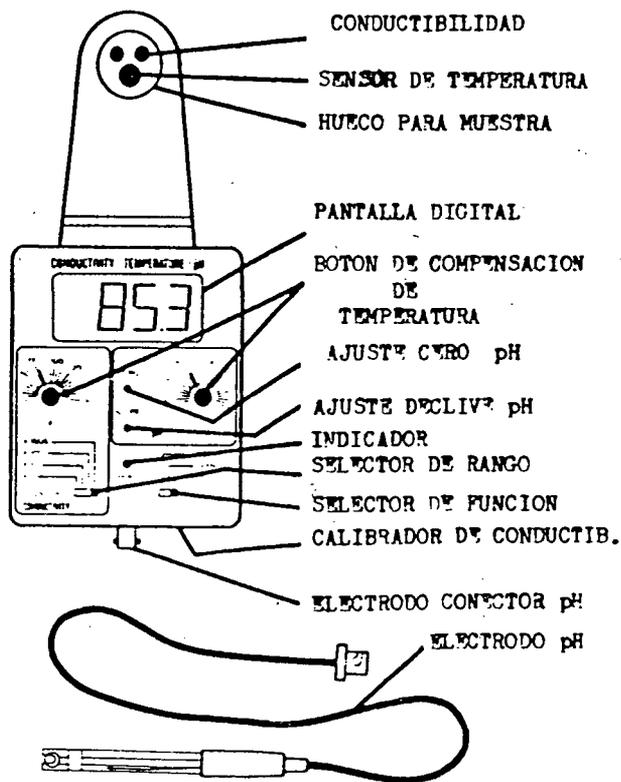


Fig. I8 Medidor de conductibilidad eléctrica, temperatura y pH.

4.- Ensamblado e Instalación del Pozo de Monitoreo.-

4.1.- Objetivos.- Aller, et al (1). Entre otros objetivos los más importantes son:

1.- Detectar el incremento exacto del espejo hidráulico subterráneo.

2.- Obtención de muestras representativas in-situ del agua subterránea.

3.- Proporcionar información en la interpretación de:

3.1.- Presencia y distribución de contaminantes en el acuífero.

3.2.- Origen y migración de la contaminación.

3.3.- Formulación de estadísticas.

3.4.- Proposición de estrategias factibles de restauración.

4.2.- A.S.T.M. (3).- Generalmente, figura No. 19, un pozo de monitoreo consta de:

Zona de Protección.- Esta formada por un sello protector o tapón de concreto que protege al pozo de monitoreo de posibles migraciones del exterior hacia abajo. En esta zona se encuentra el punto de referencia de nivel topográfico al que se ubica el pozo, la tapa de protección y el tapón a presión que cierra herméticamente la tubería del pozo. Va desde la superficie o nivel del suelo, hacia abajo hasta un metro de profundidad aproximadamente, (3).

Zona No Saturada.- Constituye el complemento o resto del pozo de monitoreo, en ella se encuentra instalada la tubería lisa del pozo de monitoreo y el tapón o sello de bentonita a granel; descritos en forma sucesiva de arriba hacia abajo. Va desde donde termina la zona de protección, hacia abajo, hasta el nivel de aguas freáticas (N.A.F.), (3).

Zona Saturada.- Es prácticamente el manto freático, en esta zona se instala la tubería ranurada del pozo de monitoreo y el empaque-filtro de arena de sílice. Constituye el área de captación, también llamada zona de muestreo. Va desde el N.A.F. hacia abajo hasta la zona impermeable o de menor permeabilidad, (3).

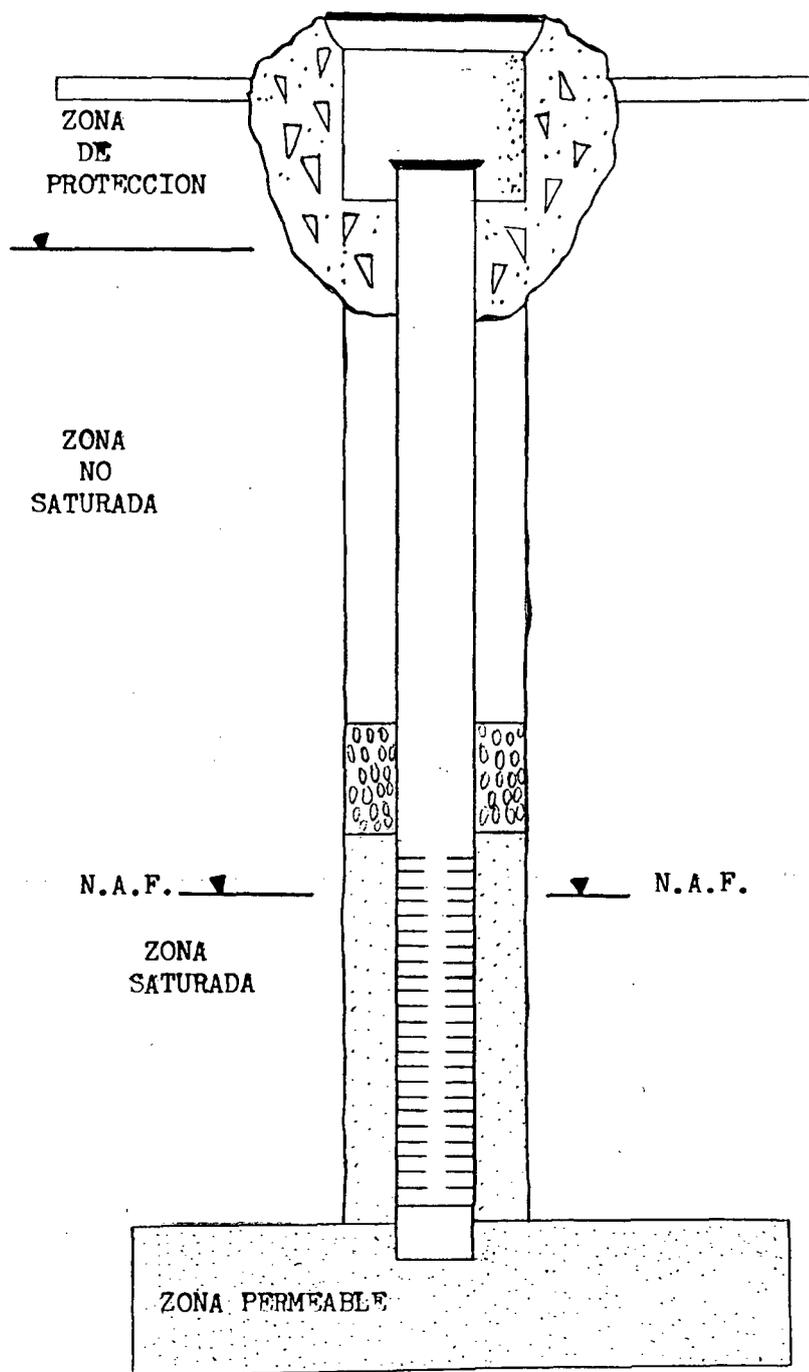


Fig. 19 Partes que forman un pozo de monitoreo.

Zona Impermeable.- O de menor permeabilidad, se encuentra inmediatamente abajo del manto freático. Es la zona que no permite el paso del agua hacia abajo, (3).

4.3.- Factores que Influyen en el Diseño e Instalación.- Parquer (13). Entre los factores más importantes se mencionan los de la naturaleza física de los materiales geológicos y los factores químicos del suelo y del agua del sitio en estudio:

Naturaleza Física de los Materiales Geológicos.- Parquer (13).

La permeabilidad, es decir la conductividad eléctrica.

El grado de litificación o consolidación de los gránulos que forman el suelo.

La cohesión de los gránulos.

El tamaño de grano, la distribución y la mineralogía.

La porosidad primaria y secundaria.

Suelos.- (13). Consolidados o cohesivos: arcillas lacustres o marinas, glaciares, sedimentos orgánicos (turba), fracturados o enteros.

Consolidados o no cohesivos: sedimentos gravosos, aluviales, fluviales o eólicos, glaciares deslavados

Masivos o fracturados: caliza o piedra arenisca, basalto (piedra volcánica), granito.

De acuerdo a los resultados del estudio de los materiales geológicos se consideran en la perforación e instalación de pozos de monitoreo las siguientes recomendaciones:

El método de perforación seleccionado.

Materiales de construcción del pozo.

Tamaño y tipo de ranuras y cédula de la tubería del pozo de monitoreo.

Técnicas de instalación, sellado y terminado del pozo de monitoreo, tabla No. 4, (13).

71

71

TABLA No. 4 METODOS DE PERFORACION EN VARIOS TIPOS DE SUELO CON DIFERENTES MATERIALES GEOLOGICOS

TIPO DE MATERIAL	METODOS DE PERFORACION				
	GABLE	ROTATORIO CON LODO	ROTATORIO CON AIRE	BARRENA HELICOIDAL SOLIDA	BARRENA HELICOIDAL HUECA ("AUGER")
CONSOLIDADO MENOR DE 40.0 m. DE PROF.	2	4	3	5	I
NO CONSOLIDADO NO COHESIVO MAYOR A 40.0 m. DE PROF	I	3	2	NA	NA
CONSOLIDADO COHESIVO MENOR DE 40.0 m. DE PROF.	3	4	5	2	I

CONSOLIDADO COHESIVO MAYOR A 40.0 m. DE PROF.	I	2	3	NA	NA
CONSOLIDADO BAJA POROSI DAD ALGO FRACTU RADO	I	3	2	NA	NA
CONSOLIDADO ALTA POROSI DAD FRACTURADO	3	I	2	5	4
<p>NUMERO DEL I AL 5.- METODO MAS APROPIADO</p> <p>NA.- NO APLICA</p> <p>COSTO.- I PARA ALTO, 5 PARA BAJO</p> <p>BASADO EN UN PROMEDIO DE CONDICIONES DE PERFORACION</p>					

Factores Químicos.- Parquer (13). Los principales factores químicos del suelo y del agua del sitio que hay que considerar son los siguientes:

La corrosión existente en las zonas estratigráficas que forman el pozo de monitoreo.

La interacción de los factores químicos del lugar con el material de relleno o sellado a utilizar en el pozo.

El impacto de los contaminantes detectados en el sitio con los materiales de construcción y accesorios del pozo.

La absorción de los contaminantes a través de los materiales de construcción del pozo sin dañarlos y la facilidad de obtención de muestras de dichos contaminantes sin ser alterados por los materiales del pozo.

Además resulta de utilidad el conocimiento, tanto de los factores naturales que por sí solos propician la corrosión y los contaminantes a los que comúnmente se expone en este tipo de trabajo, (13).

Condiciones Naturales del Agua que Motivan la Corrosión.- Parquer (13):

Condiciones de acidez, sí existe un pH bajo.

Alto contenido de sólidos disueltos, propicia la incrustación.

Alto contenido de cloruros y oxígeno disuelto, propicia la oxidación.

Alto contenido de bacterias, la putrefacción.

Contaminantes.- (13). Inorgánicos (en mayor concentración): Sodio, Cloro, Magnesio, Sulfatos y Nitratos. Inorgánicos (en menor concentración): Metales Pesados: Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio y Plomo.

Las concentraciones dependen en gran parte del lugar y los antecedentes del uso del suelo, así como al país en donde se realice el muestreo, (13).

Orgánicos: Petróleo disuelto, Solventes clorinados disueltos e Hidrocarburos (13).

Pesticidas: Tanto de origen orgánico o sintéticos; como orgánoclorados, orgánofosforados, carbamatos, piretrinas, etc, (13).

4.4.- Tipos.- A.S.T.M. (3). Según las características a controlar u observar en el acuífero y los objetivos o finalidad de la instalación de los pozos de monitoreo se consideran tres tipos como los más representativos:

Pozo Unico.- (3). Una perforación para un sólo pozo de monitoreo, es decir, se perfora únicamente un orificio en el cuál se instala un sólo pozo de monitoreo o piezómetro, pudiendo cumplir varias finalidades u obtenerse varios parámetros con un sólo pozo como son: monitoreo, muestreo, recuperación o simplemente observación para registrar cambios en el nivel de aguas freáticas del acuífero, figura No. 20.

Tipo Nido.- (3). Varios pozos en una sólo perforación, generalmente de poca profundidad, de diámetro grande y varios pozos con tubería de diámetro menor, separados entre sí por sellos de arena de sílice o tapones de bentonita a granel o tabletas. Tiene como finalidad la de tomar varias mediciones del acuífero a la vez con cada uno de los pozos, figura No. 21.

Tipo Fardo.- (3). En niveles múltiples; conjunto de pozos de monitoreo de tubería de diámetro pequeño, colocados a diferentes niveles en una sólo perforación de diámetro mayor en donde cada pozo se conecta al tubo o pozo principal por medio de pequeñas persianas o rejillas, separados entre sí por medio de tapones de bentonita a granel y filtros de arena de sílice. Su finalidad es realizar varias mediciones a la vez en diferentes niveles del acuífero o diferentes estratos de la perforación, figura No. 22.

4.5.- Materiales de Construcción.- Nielsen y Shalla (12). Los pozos de monitoreo se instalan generalmente de tubería, accesorios y materiales compatibles con el tipo de contaminantes del suelo y del agua del sitio en estudio donde se pretende monitorear, tabla No. 5.

TIPOS DE POZO DE MONITOREO

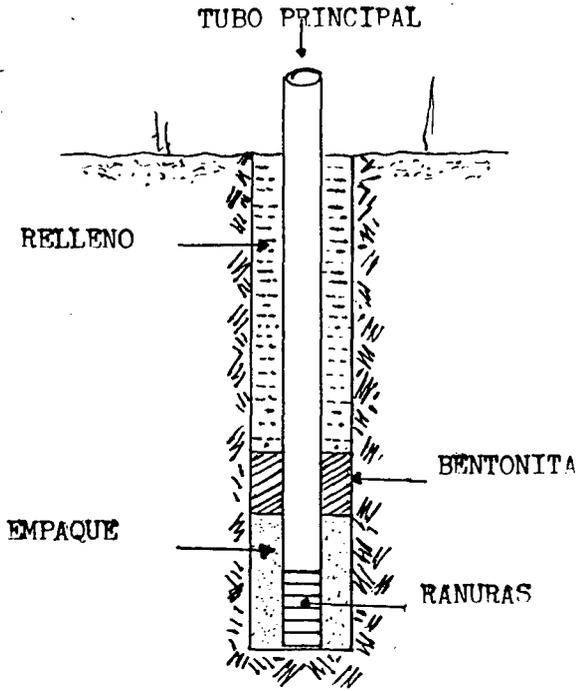


Fig. 20 Tipo único.

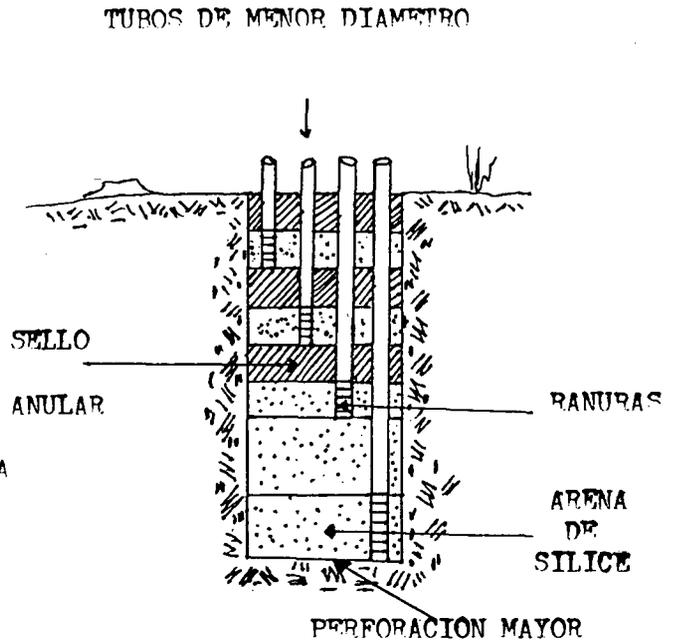


Fig. 21 Tipo nido.

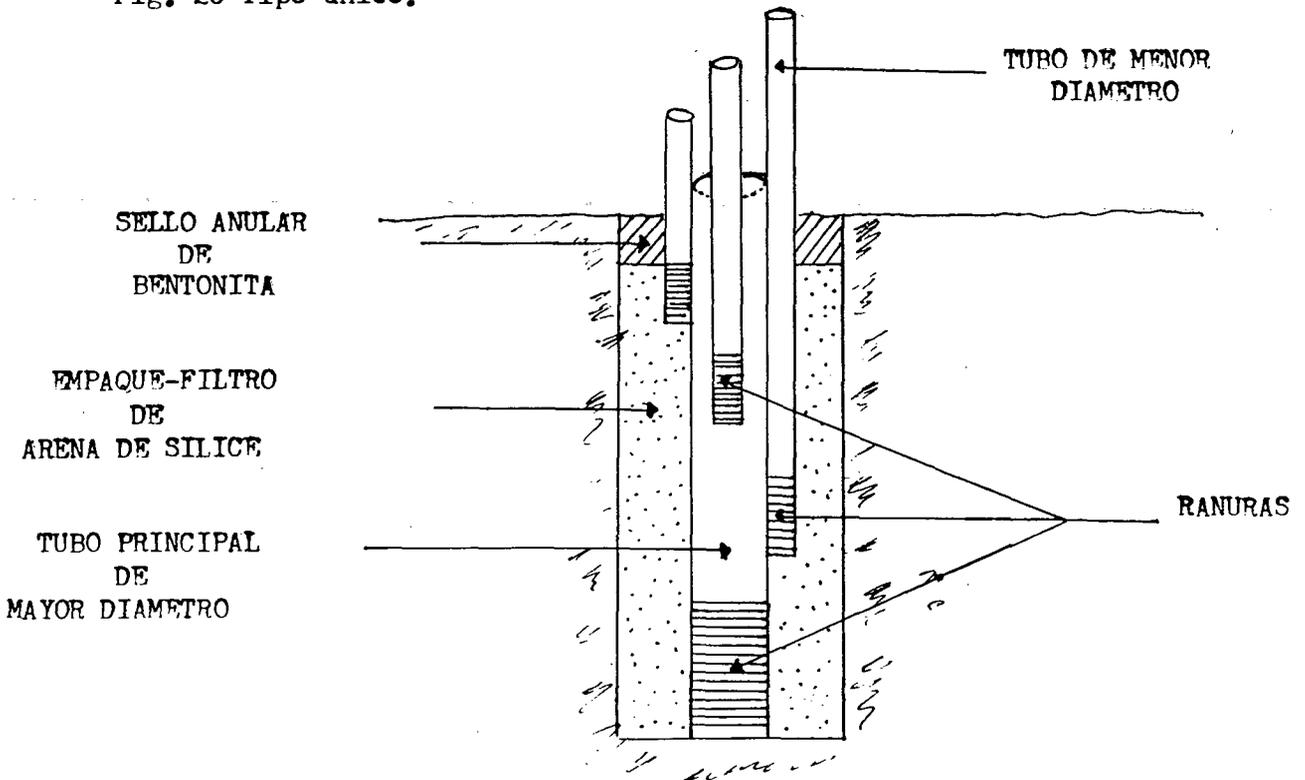


Fig. 22 Tipo fardo.

TABLA No. 5 TIPOS DE MATERIALES DE TUBERIA Y ACCESORIOS PARA POZO DE MONITOREO COMPATIBLES
CON CARACTERISTICAS DE CORROSION Y CONTAMINACION DEL SITIO

TIPO DE MATERIAL	CARACTERISTICAS					
	RESISTENCIA	CORROSION	IMPACTO	ABSORCION	DEGRADACION	COSTO
ACERO CARBONADO	2	1	1	1	2	4
ACERO INOXIDABLE	1	2	2	4	3	2
PVC - ABS	3	3	3	3	1	3
PTFE	4	4	4	2	4	1

EL SISTEMA NUMERICO VA DE POTENCIAL ALTO O MAYOR: 1 A POTENCIAL MENOR O BAJO: 4

PVC.- CLORURO DE POLIVINILO ABS.- ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO PTFE.- POLITETRA FLUOROETILENO

Comúnmente se utilizan los siguientes materiales:

A).- Metales: acero carbonado, acero galvanizado, acero inoxidable.(SS).

B).- PLASTICOS: Polivinilo de cloruro (PVC), polietileno, polipropileno, acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).

C).- Fluoropolimeros: politetra fluoro etileno (PTFE), tetrafluoro etileno (TFE). Ambos referidos como TEFLON por "Dupont", (12).

Tubería.- (12). La tubería de los pozos de monitoreo esta fabricada de los materiales mencionados anteriormente, de diámetros diversos que van desde 1" (2.54 cm.) hasta 12.0" (30.48 cm.); de cédula 40 u 80 en PVC y cédula 5 o 10 en acero inoxidable; con ranuras a cada 0.010 de pulgada (0.0254 cm.) o a cada 0.020 (0.0508) y largo que va desde 2,5" (0.762 cm.) hasta 10.00(3.048 m.), tabla No. 6.

El pozo de monitoreo esta formado por dos partes de tubería: la parte de tubería ranurada empacada en un filtro de arena de sílice y colocada en la zona saturada o de captación y la otra parte, de tubería lisa que abarca las zonas de protección y no saturada, recubierta por el tapón de bentonita a granel y el sello de mortero: agua-cemento-bentonita en polvo, constituyendo el cuerpo o estructura del pozo de monitoreo, figura No. 23, (12).

Accesorios.- (12). Al igual que la tubería, en la construcción e instalación del pozo de monitoreo, se requieren de otras piezas llamadas accesorios y que tienen funciones específicas en el sistema de pozo de monitoreo. Los accesorios que generalmente se requieren son:

Tapa Superior a Presión.- (12). Provista de candado y empaque a presión, sirve para tapar herméticamente la tubería del pozo de monitoreo y evitar posibles migraciones del exterior, figura No. 24.

Tapa Inferior.- (12). Cónica o plana, sella la tubería en el extremo inferior impidiendo que entren sólidos de la zona impermeable al área de captación, figura No. 25.

TABLA No. 6 ESPECIFICACIONES DE TUBERIA LISA Y RANURADA EN DIVERSOS MATERIALES PARA
POZO DE MONITOREO

ESPECIFICACIONES

ACERO INOXIDABLE

TAMAÑO	DIAM. cm.	DIAM. INT. cm.	DIAM. EXT. cm.	LARGO m.
CEDULA 5	5.08	5.7023	6.0325	0.762, 1.524 Y 3.048
	10.16	11.0083	11.4300	1.524 Y 3.048
CEDULA 10	5.08	5.4787	6.0325	1.524 Y 3.048
	10.16	10.8240	11.4300	1.524 Y 3.048
CEDULA 40	5.08	5.2501	6.0325	0.762, 1.524 Y 3.048
	10.16	10.2260	11.4300	0.762, 1.524 Y 3.048

PVC CEDULA 40

DIAM. cm.	DIAM. INT. cm.	DIAM. EXT. cm.	LARGO m.
2.54	2.6645	3.3401	1.524 Y 3.048
3.175	3.5306	4.2164	1.524 Y 3.048
3.810	4.0894	4.826	1.524 Y 3.048

5.08	5.2502	6.0325	0.762, I.524 Y 3.048
7.62	7.7927	8.89	I.524 Y 3.048
10.16	10.2260	11.43	0.762, I.524 Y 3.048
12.70	12.8194	14.13	I.524 Y 3.048
15.24	15.4051	16.8275	I.524 Y 3.048
20.32	20.2209	21.9075	I.524 Y 3.048

PVC CEDULA 80

DIAM. cm.	DIAM. INT. cm.	DIAM. EXT. cm.	LARGO m.
1.905	2.0929	2.667	I.524 Y 3.048
2.54	2.4765	3.3401	I.524 Y 3.048
3.175	3.2486	4.2164	I.524 Y 3.048
5.080	4.9250	6.0325	0.762, I.524 Y 3.048
7.620	7.366	8.89	I.524 Y 3.048
10.160	9.7180	11.43	0.762, I.524 Y 3.048
12.700	12.1107	14.13	I.524 Y 3.048
15.240	14.6329	16.8275	I.524 Y 3.048

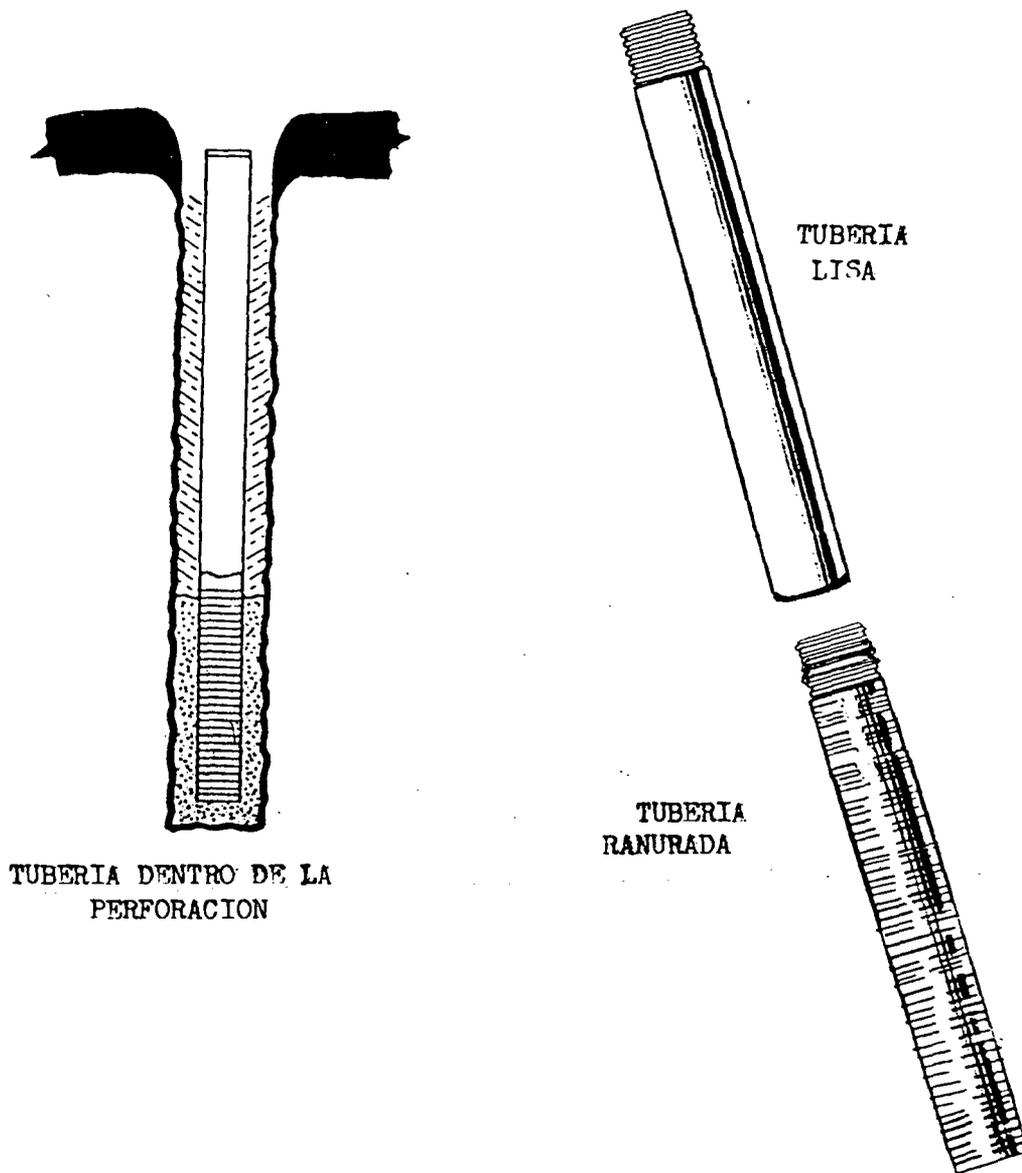
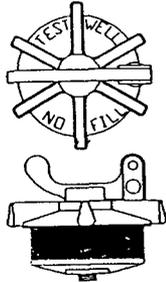


Fig. 23 Tuberia lisa y ranurada para pozo de monitoreo.

Fig. 24



Tapón superior a presión.

Fig. 25



Tapón inferior roscado.

Fig. 26



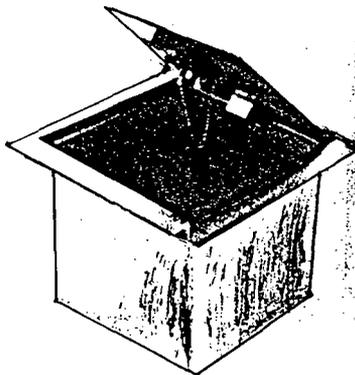
Centralizador.

Fig. 27



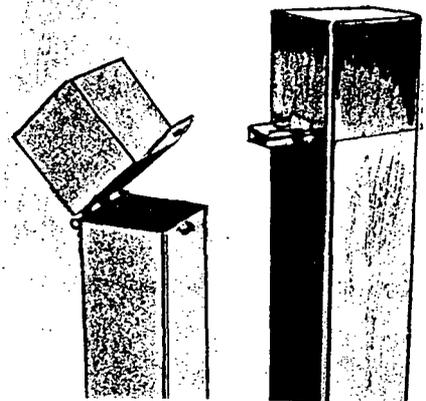
Tapa protectora tipo alcantarilla.

Fig. 28



Tapa protectora tipo baúl.

Fig. 29



Tapa protectora tipo monumento.

Centralizador.- (12). Formado por dos abrazaderas que sujetan a la tubería del pozo de monitoreo y cuatro listones que se ajustan o aflojan a la pared de perforación del "auger" conforme se bajan o se suben las abrazaderas, deslizandolas por la tubería y se aseguran con un tornillo presionando sobre la pared exterior de la tubería del pozo. Su principal función es la de centralizar la tubería en el interior del orificio formado por las barrenas helicoidales huecas, figura No. 26.

Tapa Protectora.- (12). Se coloca en el exterior del sistema de pozo de monitoreo, protege la tapa superior a presión y todo el sistema. Se utiliza cualquiera de los tipos de tapas que se describen; dependiendo del área, tránsito, finalidad y tiempo de monitoreo y muestreo:

A).- Redonda.- Metálica tipo ("leack resistant manholes") o alcantarilla, se cierra con tornillos, se instala a ras del suelo y se recomienda para lugares con bastante circulación vehicular, figura No. 27.

B).- Cuadrada.- Metálica tipo ("locking well vaul") o baúl, se cierra con llave tipo alarma de automóvil, se instala a ras del suelo en zonas de poca circulación, figura No. 28.

C).- Tipo Monumento.- Metálica tipo ("lockable well covers") que sobresale del nivel del sistema del pozo de monitoreo, se cierra con candado, se instala en áreas poco habitadas como en el campo, o zonas agrícolas donde generalmente una tapa al ras del suelo sería cubierta por la vegetación o dañada por animales, figura No. 29.

Materiales de Empaque, Sellado y Relleno de Pozo de Monitoreo.- (12)

1.-Material de Empaque-Filtro.-Se coloca prácticamente en el manto freático o zona de saturación, entre las paredes de la perforación formada por los "augers" y la pared exterior de la tubería ranurada. Se construye de arena de sílice formando un filtro en las persianas o ranura de la tubería, dejando pasar el agua del acuífero con las características originales e impidiendo el paso de sólidos no deseados.

La arena de sílice debe cumplir con los requisitos de composición química, granulométrica y con otras características físico-químicas que se indican en las tablas No. 7, No. 8 y No. 9, respectivamente, (12).

2.- Material de Sellado.- (12). El agente de sellado o taponamiento se fabrica con bentonita de sodio de alto rendimiento que ha sido procesada sin polímeros orgánicos u otros aditivos. Es una arcilla de ocurrencia natural a base de sodio (montmorillonita) que posee la característica específica de expandirse en agua dulce. Se extrae de depósitos que tienen la habilidad de expandirse a una velocidad lenta controlada.

A).- Bentonita a Granel.- Especialmente procesada, de molido grueso y calidad que no es para lodo de perforación; que se utiliza para sellar y enlechar tuberías de revestimiento de pozos y estructuras de tierra. La bentonita descenderá a través de una columna de agua en reposo y llegará fácilmente al fondo del agujero antes que comience la hidratación o hinchamiento en el agua. Puede lograrse un sellado completo del espacio anular impidiendo la acumulación de partículas en la parte superior del agujero. El llenado completo es un requisito para la formación de un buen tapón, (12).

La bentonita a granel esta dimensionada en dos gamas de partículas: 3/8" (0.952 cm.) y 3/4" (1.905 cm.). La bentonita de 3/4" es extraída y tamizada de modo que el 100% pasará a través de un tamiz de 3/4", pero será retenida totalmente en un tamiz de 3/8". El 100% de la bentonita de 3/8" pasará a través de un tamiz de 3/8", pero el 100% será retenido en un tamiz de 1/4" (0.635 cm.). Es decir las partículas son: Las de 3/4" gránulos de 3/8" a 3/4". Las de 3/8" gránulos de 1/4" a 3/8", (12).

El tamaño del espacio anular abierto determinará el tamaño del producto que se utilizará:

Cuando el espacio anular es de 1 1/2" (3.81 cm..) o más se utilizará bentonita de 3/4".

Cuando el espacio anular es de 3/4" o más se utilizará bentonita de 3/8", (12).

TABLA No. 7 COMPOSICION QUIMICA DE LA ARENA DE SILICE PARA EL
EMPAQUE-FILTRO DEL POZO DE MONITOREO

<u>COMPOSICION</u>	<u>CONCENTRACION</u>
SiO ₂	98.20 %
CaO	0.56
Al ₂ O ₃	0.72
MgO	0.13
K ₂ O	0.10
Fe ₂ O ₃	0.07
TiO ₂	0.07
Na ₂ O	0.03
MnO	0.00

TOTAL	99.87

TABLA No. 8 GRANULOMETRIA DE LA ARENA DE SILICE PARA EL
EMPAQUE-FILTRO DEL POZO DE MONITOREO

TAMAÑO	98 - 100 % PASA	98 - 100 % RETENIDO
6 - 9	# 6 MALLA	# 10 MALLA
8 - 12	# 8	# 12
10 - 16	# 10	# 16
16 - 20	# 16	# 20

20 - 30	# 20	# 30
20 - 40	# 20	# 40
40 - 60	# 40	# 60

TABLA No. 9 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE LA ARENA DE SILICE PARA EL EMPAQUE-FILTRO DEL POZO DE MONITOREO	
<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>PARAMETRO</u>
ESFERICIDAD	MAYOR O IGUAL A 0.6
REDONDEZ	MAYOR O IGUAL A 0.6
TURBIEDAD	MENOR O IGUAL A 250
RESISTENCIA A LA COMPRESION	MENOR O IGUAL A 14 %
ACIDOS SOLUBLES	MENOR O IGUAL A 2

CALIDAD CONTROLADA POR EL INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO A.P.I.

B).- Bentonita en Tabletas o Pastillas.- Las tabletas se moldean a presión para formar tabletas duras, las cuales facilitan su colocación en los agujeros de pozos. La configuración de tabletas endurecidas sin recubrimiento de polímeros o agentes de liberación de moldeo, retarda la característica de hinchamiento de la bentonita durante un período suficientemente largo para permitir la colocación del sello en los pozos de monitoreo. Pueden ser embutidas cuando sea necesario. Cuando se colocan en el agujero de un pozo, forman una lechada de revestimiento, un tapón de aislamiento de instrumentos o un agente de taponamiento de un agujero abandonado. Si se colocan correctamente y se permite que se hidraten, forman un sello semisólido pero flexible.

La conductividad hidráulica medida en un pernémetro fijo de pared es inferior a 1×10^{-8} a la menos 8 cm/seg. Las tabletas hidratadas son químicamente estables en la presencia de agua, salmuera y agua con contenido de hidrocarburos orgánicos. Son rehidratables a las especificaciones originales si el tapón se somete a ciclos mojados/secos.

Las tabletas se ofrecen en tres tamaños: $1/4"$ (0.635 cm.), $1/8"$ (0.3175 cm.) y $1/2"$ (1.27 cm.), control de calidad por el (I.A.P.), (12).

3.- Material de relleno.- (12). Se utiliza un sistema: "AQUA-GROUT", ("AGUA-MORTERO"), es decir, un mortero o lechada (pasta aguada) en estado coloidal. Formada de agua y una combinación o mezcla de bentonita de sodio (montmorillonita sódica) molida finamente y un catalizador inorgánico. Proporcionando un agente o método para enlechar tuberías, revestir las paredes de la perforación y taponear o sellar los pozos de monitoreo.

El sistema está diseñado para retardar en forma ajustable la intumescencia (fraguado) de la pasta aguada, permitiendo que sea bombeada desde donde es preparada hasta el fondo del agujero a presiones reducidas de bombeo, (12).

Formandose in-situ un sello permanente de baja permeabilidad en cualquier formación geológica, debido a que, el sistema es totalmente inorgánico y no experimenta degradación biológica, (12).

4.6.- Consideraciones Generales en la Perforación e Instalación.- Nielsen y Shalla (12).- Disponibilidad del equipo de perforación y materiales de construcción factibles de conseguir en el área de trabajo, características compatibles, facilidad de manejo y precio.

Definición precisa de la distribución vertical y horizontal de la contaminación y su ocurrencia. De antemano delimitar el área probable de contaminación, utilizando el taladro de barrenos y de acuerdo a los resultados seleccionar los sitios de pozos de monitoreo.

Finalidad o propósito de la utilidad del pozo de monitoreo, muestreo, medición de parámetros del acuífero, vigilancia u observación, de ahí la selección del tipo más adecuado.

En el monitoreo de agua: Permeabilidad del sitio, acceso al lugar y flexibilidad en la estrategia de muestreo. Factibilidad de criterio en la medida del nivel del agua. Factibilidad para obtener muestras. Duración del monitoreo, a largo plazo; de lo cual depende del tipo de protección adecuado al sistema de pozo de monitoreo

Características Físicas del Terreno.- Procuración del acceso al lugar. de personal

Presupuesto.- Ajustable a lo más limitado sin escatimar el Control de la Calidad.

4.7.- Procedimientos de Instalación.- Hackett (9). Realizada la perforación previamente de diámetro sugerido según la tabla No. 10; lavado el agujero y con los "augers" (barrena helicoidal hueca) que se utilizaron para llegar a la profundidad requerida (desde la superficie, pasando por el manto freático hasta la zona impermeable más 30.0 cm. después de la zona impermeable), aun en el interior de la perforación para evitar el ademe de las paredes del agujero y posible contaminación del exterior a las aguas y ayudar en la construcción. Utilizando el jalón de anillos con cadenas jalado con el malacate de la maquina perforadora rotatoria, el cual va levantando los "augers" y la cuchara detenedora la cual va sujetandolos al nivel de construcción que se va realizando, figura No. 30, se procede a la instalación del pozo de monitoreo atendiendo a los siguientes pasos:

TABLA No. 10 RELACION ENTRE EL DIAMETRO DE LA PERFORACION Y EL DIAMETRO DE LA TUBERIA PARA POZO DE MONITOREO A INSTALARSE EN LA PERFORACION

DIAMETRO DE LA PERFORACION		DIAMETRO DE LA TUBERIA LISA O RANURADA	
<u>PULGADAS</u>	<u>CENTIMETROS</u>	<u>PULGADAS</u>	<u>CENTIMETROS</u>
7 1/4 "	18.415	2 "	5.08
7 1/4 "	18.415	2 "	5.08
7 3/4 "	19.685	2 "	5.08
8 1/4 "	20.955	2 "	5.08
10 1/4 "	26.035	2 "	5.08
8 1/4 "	20.955	3 "	7.62
10 1/4 "	26.035	3 "	7.62
12 1/4 "	31.115	3 "	7.62
8 1/4 "	20.955	4 "	10.16
10 1/4 "	26.035	4 "	10.16
12 1/4 "	31.115	4 "	10.16
12 1/4 "	31.115	6 "	15.24
14 1/4 "	36.195	10 3/4 "	27.305
16 1/4 "	41.275	13 "	33.02
18 1/4 "	46.355	14 "	35.56
20 1/4 "	50.165	16 "	40.64
22 1/4 "	56.515	18 "	45.72
24 1/4 "	61.595	20 "	50.80

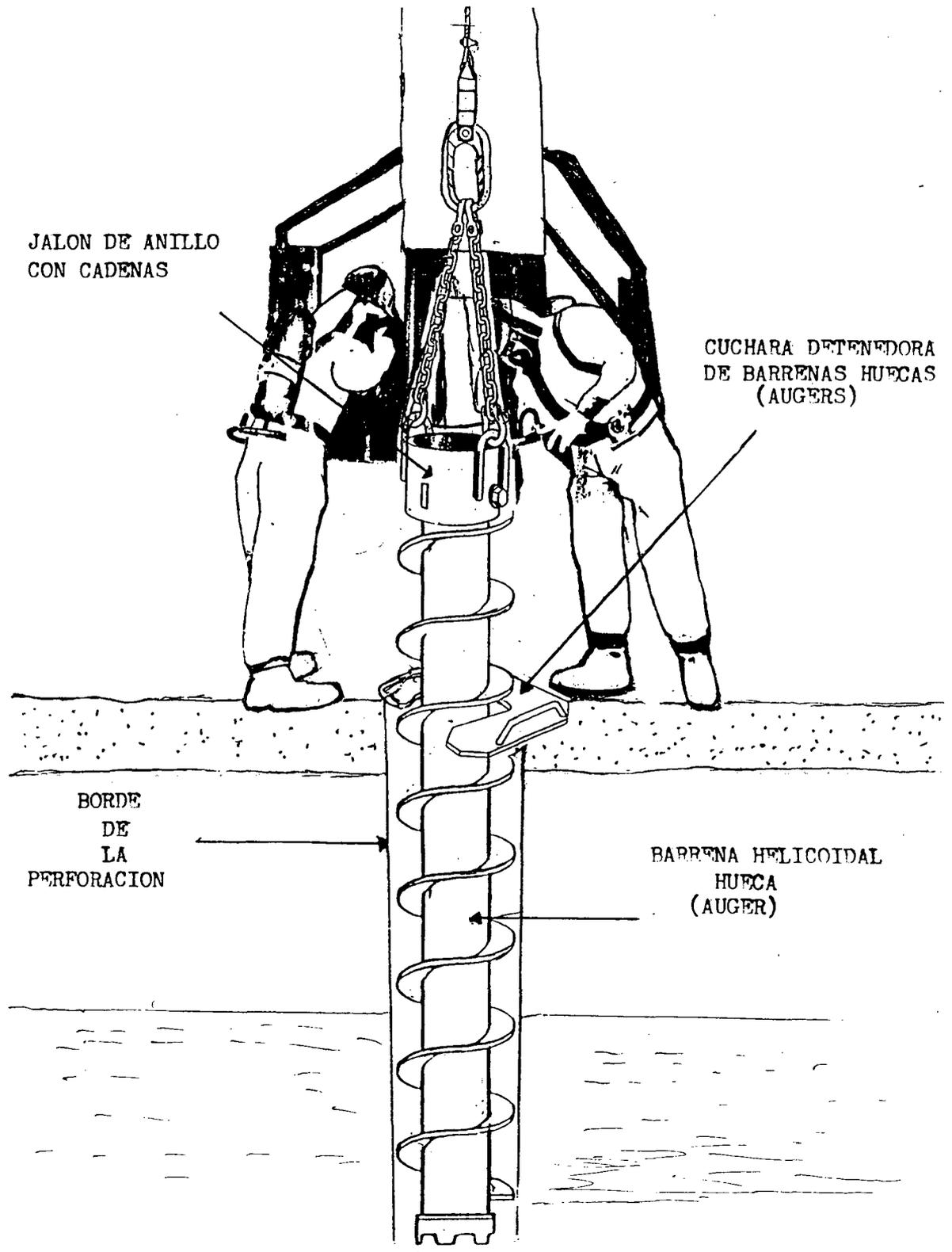


Fig. 30 Instalación del pozo de monitoreo: Extracción de los "Augers"
del agujero de perforación.

4.7.1.- En el exterior , se ensambla la tubería de diámetro adecuado a la perforación, con la cantidad suficiente de tubería ranurada según la profundidad del manto freático, dejando 30.0 cm. más en la parte de abajo inmediatamente después de donde termina el manto freático y otros 30.0 cm. hacia arriba después del nivel de aguas freáticas (N.A.F.) es decir, 60.0 cm. más de la cantidad de metros que tenga la profundidad del manto desde el N.A.F. hacia abajo hasta donde empieza la zona de menor permeabilidad, por ejemplo: Si el manto freático es de 1.0 m. de profundidad se necesitan 1.60 m. de tubería ranurada. Pudiendo utilizar un tubo de 5.0m, o sea 1.52 m; dejando 26.0 cm. aproximadamente abajo del nivel de la zona permeable y otros 26.0 cm. arriba del N.A.F. y la tubería lisa suficiente para cubrir la profundidad restante, desde donde termina la tubería ranurada hasta la superficie; dejando un sobrante de tubería, si el caso así lo requiere, dependiendo del tipo de tapa protectora y facilitar el muestreo, (9)..

Por ejemplo: De donde termina la tubería ranurada hasta la superficie se tiene una profundidad de 5.0 m. a nivel del suelo, se utilizara una tapa redonda tipo registro colocada a ras del suelo; por lo que se necesitan exactamente 5.0 m. Pudiendo utilizar dos tramos de tubo de 10cada uno o sea 6.096 m. cortandose el resto con el cortador de tubos de PVC, en el caso de que se utilice este material.

4.7.2.- Antes de introducir la tubería, ya ensamblada en el agujero, se coloca el tapón inferior cónico o plano en la parte inferior de la tubería ranurada, (9).

4.7.3.- Se colocan también antes de introducir la tubería, el o los centralizadores necesarios a cada 6.0 m. de separación entre ellos y se ajustan con los tornillos de las abrazaderas, subiendo o bajandolas de acuerdo al diámetro de la perforación formada por los "augers", figura No. 31, (9).

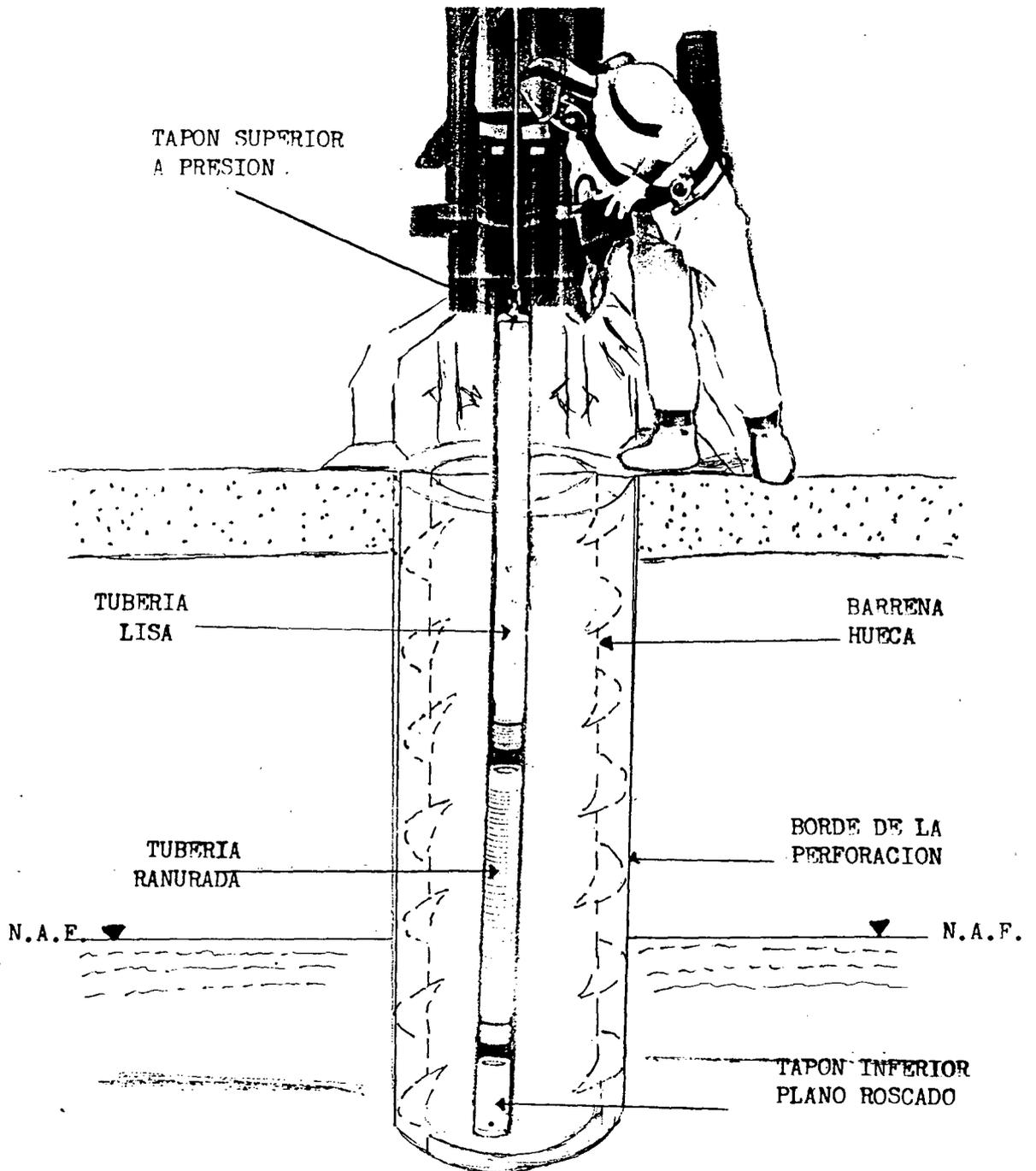


Fig. 3I Instalación del pozo de monitoreo: Completo con tubería y accesorios en el interior del agujero de la perforación.

4.7.4.- Se introduce la tubería ensamblada, en el interior del orificio formado por los "augers" que están dentro del agujero de la perforación, teniendo cuidado en la colocación de que queden 30.0 cm. de la tubería ranurada en la zona de menor permeabilidad, figura No. 31, (9).

4.7.5.- Se coloca la tapa superior a presión, cerrando la tubería y se cubre con una capucha plástica para evitar que se maltrate y se manche con los materiales de taponamiento, posteriormente se retira al terminar la instalación completa, figura No. 31, (9).

4.7.6.- Construcción del Empaque-Filtro con Arena De sílice.- Se coloca arena de sílice en la cantidad requerida según la tabla No. 11, entre el hueco de los "augers" y la pared exterior de la tubería del pozo de monitoreo. Se introduce el tubo llamado "tremie" hasta la profundidad de la perforación haciendose bajar a través de él arena de sílice, subiendose dicho tubo conforme el nivel de llenado construido, así mismo de acuerdo al nivel de llenado se van subiendo los augers poco a poco, procurando dejar siempre la pared del agujero en contacto con la arena de sílice y no con la tubería del pozo de monitoreo para evitar contaminaciones. Se coloca la suficiente arena de sílice hasta cubrir 60.0 cm. por arriba de la tubería ranurada. Se utiliza una cinta métrica de lona para ir midiendo el nivel o la profundidad de llenado cubierta por la arena de sílice en el empaque-filtro, figura No 32, (9).

4.7.7.- Construcción del Sello o Tapón Anular con Bentonita a Granel o Tabletas.- Inmediatamente enseguida del empaque-filtro, se construye un tapón de bentonita para evitar infiltraciones del exterior, se coloca de igual manera que el empaque filtro con el tubo "tremie", entre la pared del orificio formado por los "augers" y la pared exterior de la tubería del pozo de monitoreo.

TABLA No. II CANTIDAD EN PESO DE ARENA DE SILICE A UTILIZARSE EN UN POZO DE MONITORIO DE ACUERDO AL VOLUMEN ANULAR FORMADO EN RELACION A DIFERENTES DIMENSIONES ENTRE EL DIAMETRO DE LA PERFORACION Y EL DIAMETRO DE LA TUBERIA UTILIZADA

DIAMETRO DEL AGUJERO		VOLUMEN DEL AGUJERO POR PIE LIN. (30.48 cm.)					DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		VOLUMEN DEL ANILLO POR PIE LIN. (30.48 cm.)					LBS. Y KGS. DE ARENA DE SILICE EN ANILLO POR PIE LIN. (30.48 cm.)	
PULG.	cm.	GAL.	LTS.	ft ³	m ³	PULG.	cm.	GAL.	LTS.	ft ³	m ³	LBS.	kgs.		
7 1/4"	18.415	2.14	8.099	.29	.00812	1 1/4"	3.175	2.03	7.683	.27	.0076	27	12.247		
7 1/4"	18.415	2.14	8.099	.29	.00812	2 "	5.08	1.91	7.229	.26	.0073	26	11.799		
7 3/4"	19.685	2.45	9.273	.33	.00934	2 "	5.08	2.22	8.403	.30	.0085	30	13.600		
8 1/4"	20.955	2.78	10.522	.37	.01047	2 "	5.08	2.55	9.652	.34	.0096	34	15.402		
10 1/4"	26.035	4.29	16.237	.57	.01614	2 "	5.08	4.06	15.367	.54	.0153	54	24.462		
8 1/4"	20.955	2.78	10.522	.37	.01047	3 "	7.62	2.28	8.629	.30	.0085	30	13.600		
10 1/4"	26.035	4.29	16.237	.57	.01614	3 "	7.62	3.79	14.345	.51	.0144	51	23.103		
12 1/4"	31.115	6.13	23.203	.82	.02322	3 "	7.62	5.62	21.272	.75	.0212	75	34.00		
8 1/4"	20.955	2.78	10.522	.37	.01047	4 "	10.16	1.95	7.381	.26	.0074	26	11.790		
10 1/4"	26.035	4.29	16.237	.57	.01614	4 "	10.16	3.46	13.096	.40	.0130	40	18.160		
12 1/4"	31.115	6.13	23.202	.82	.02322	4 "	10.16	5.30	20.061	.71	.0201	71	32.163		

93

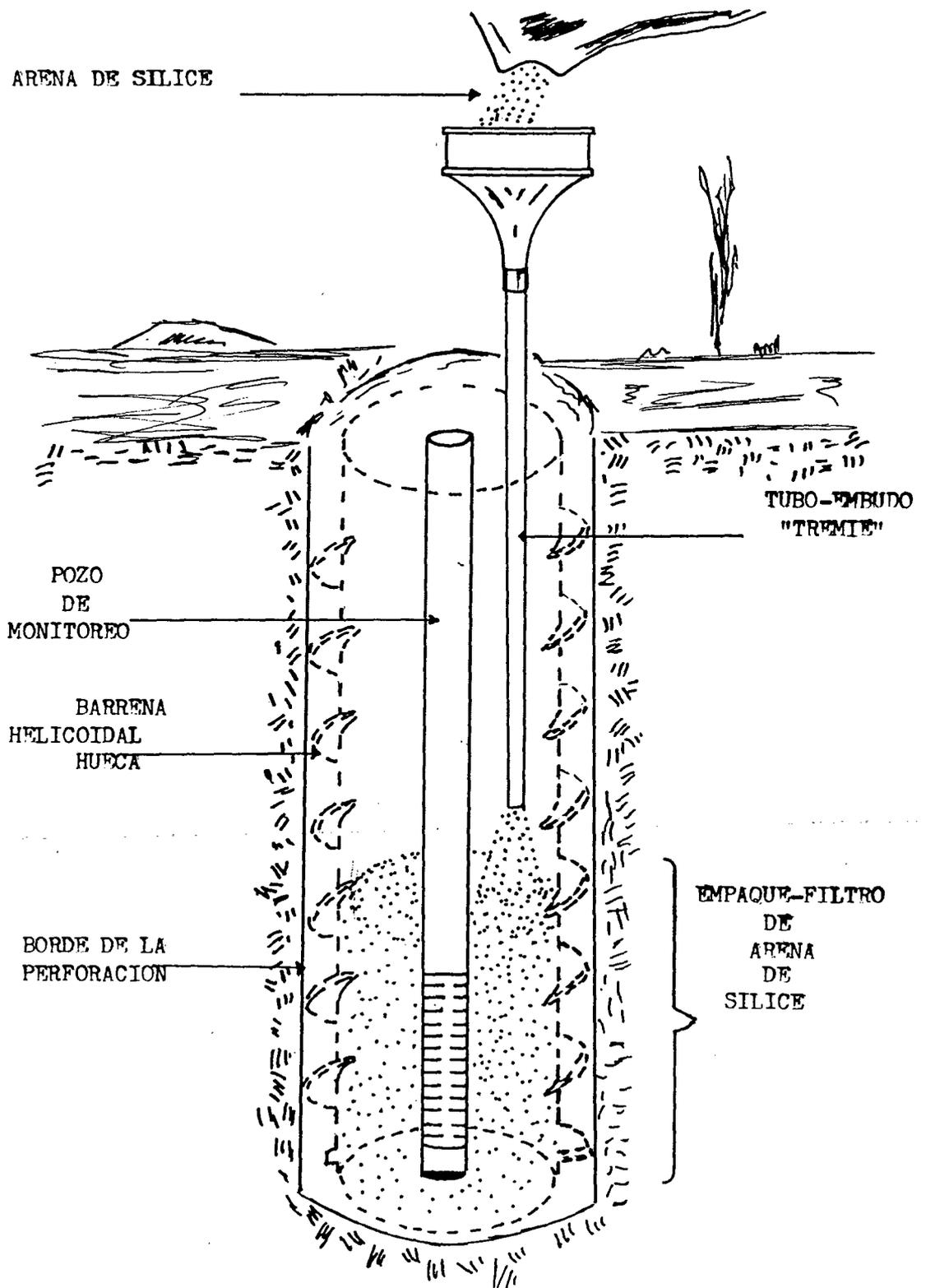


Fig. 32 Construcción del empaque-filtro con arena de sílice utilizando el tubo "Tremie".

La cantidad de bentonita a granel o en pastillas por unidad de profundidad en relación al anillo y diámetro se indica en la tabla No. 12. Generalmente, se construye de 60.0 a 90.0 cm. de espesor, formando un anillo desde donde termina el empaque-filtro de arena de sílice hacia arriba. Se van subiendo paulatinamente los "augers" como en el paso anterior, utilizándose también la cinta métrica para medir el espesor del sello anular, figura No. 33, (9).

4.7.8.- Relleno con Mortero.- Para realizar esta maniobra se deben de haber retirado los "augers" por completo de la perforación. El camión-perforadora cuenta con bomba, tanque con agua, tubería, mangueras y manómetros que funcionan con la energía del motor de la maquina perforadora. Inmediatamente después del sello anular de bentonita a granel., se inyecta una mezcla de agua y bentonita sódica en polvo más un catalizador inerte formando una pasta aguada o lechada en una proporción de 200 lts de agua por paquete de 25.0 kg de producto ya preparado y de venta en establecimientos especializados. Se inyecta con una bomba a presión de 3 a 5 kg/centímetro cuadrado, acoplándosele a la tubería o mangueras que entran hasta donde termina el sello anular, un tubo "tremie". La mezcla se ajita en el recipiente seleccionado para el caso, haciéndose funcionar la bomba y con el chorro a presión en el interior de dicha mezcla, se bate hasta obtenerse el estado coloidal de la lechada. El tubo "tremie" se introduce hasta la profundidad del sello anular, haciéndose bajar a través de este tubo la lechada, este se va subiendo conforme se va llenando el agujero, cuidando descargar en el interior del nivel de la mezcla evitando salpicar o golpear con el chorro la superficie de llenado, figura No. 34. Se inyecta la cantidad necesaria de lechada hasta que esta salga al exterior del agujero y se derrame aun en estado coloidal. Se deja reposar 24 horas después de realizada esta maniobra para que la lechada endurezca (fragüe) y baje el nivel de llenado, (9).

TABLA No. 12 CANTIDAD EN PESO DE BENTONITA PELETIZADA A UTILIZARSE EN UN POZO DE MONITORIO DE ACUERDO AL VOLUMEN ANULAR FORMADO EN RELACION A DIFERENTES DIMENSIONES ENTRE EL DIAMETRO DE LA PERFORACION Y EL DIAMETRO DE LA TUBERIA UTILIZADA

DIAMETRO DEL AGUJERO		VOLUMEN DEL AGUJERO POR PIE LIN. (30.48 cm.)				DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO		VOLUMEN DEL ANILLO POR PIE LIN. (30.48 cm.)				LBS. Y KGS. DE ARENA DE SILICE EN ANILLO POR PIE LIN. (30.48 cm.)	
PULG.	cm.	GAL.	LTS.	ft ³	m ³	PULG.	cm.	GAL.	LTS.	ft ³	m ³	LBS.	kg.
7 1/4"	18.415	2.14	8.09	.29	.0081	1 1/4"	3.175	2.03	7.683	.27	.0076	21	9.513
7 1/4"	18.415	2.14	8.09	.29	.0081	2 "	5.08	1.91	7.229	.26	.0074	20	9.060
7 3/4"	19.685	2.45	9.273	.33	.0093	2 "	5.08	2.22	8.4027	.30	.0085	23	10.419
8 1/4"	20.955	2.78	10.52	.37	.0105	2 "	5.08	2.55	9.652	.34	.0100	26	11.778
10 1/4"	26.035	4.29	16.24	.57	.0161	2 "	5.08	4.06	15.367	.54	.0153	41	18.573
8 1/4"	20.955	2.78	10.52	.37	.0105	3 "	7.62	2.28	8.630	.30	.0085	23	10.419
10 1/4"	26.035	4.29	16.24	.57	.0161	3 "	7.62	3.79	14.345	.51	.0144	38	17.214
12 1/4"	31.115	6.13	23.20	.82	.0232	3 "	7.62	5.62	21.272	.75	.0212	57	25.821
8 1/4"	20.955	2.78	10.52	.37	.0105	4 "	10.16	1.95	7.390	.26	.0074	20	9.060
10 1/4"	26.035	4.29	16.24	.57	.0161	4 "	10.16	3.46	13.096	.46	.0130	35	15.855
12 1/4"	31.115	6.13	23.20	.82	.0232	4 "	10.16	5.30	20.061	.71	.0201	54	24.462

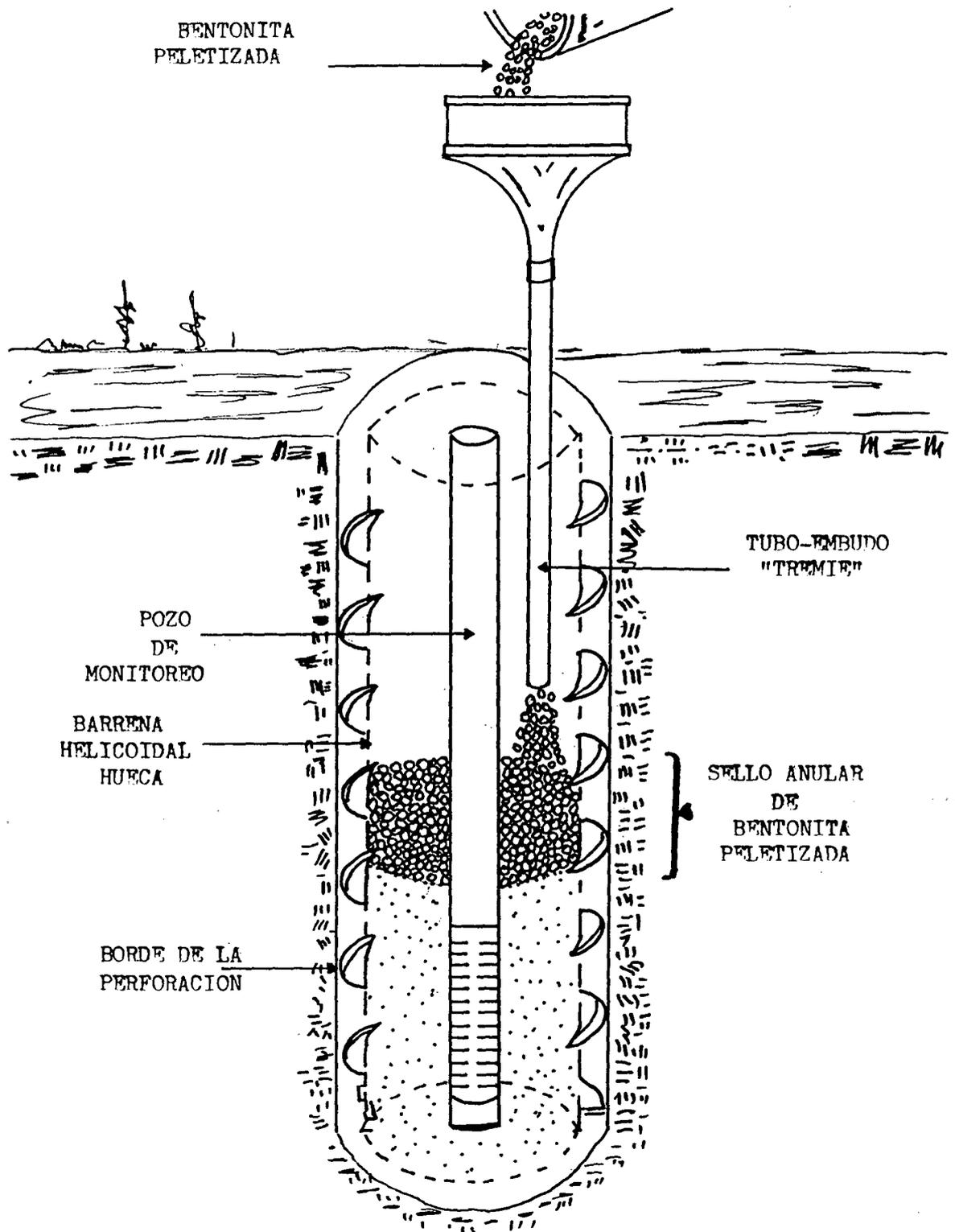


Fig. 33 Construcción del sello anular con bentonita a granel utilizando el tubo "Tremie".

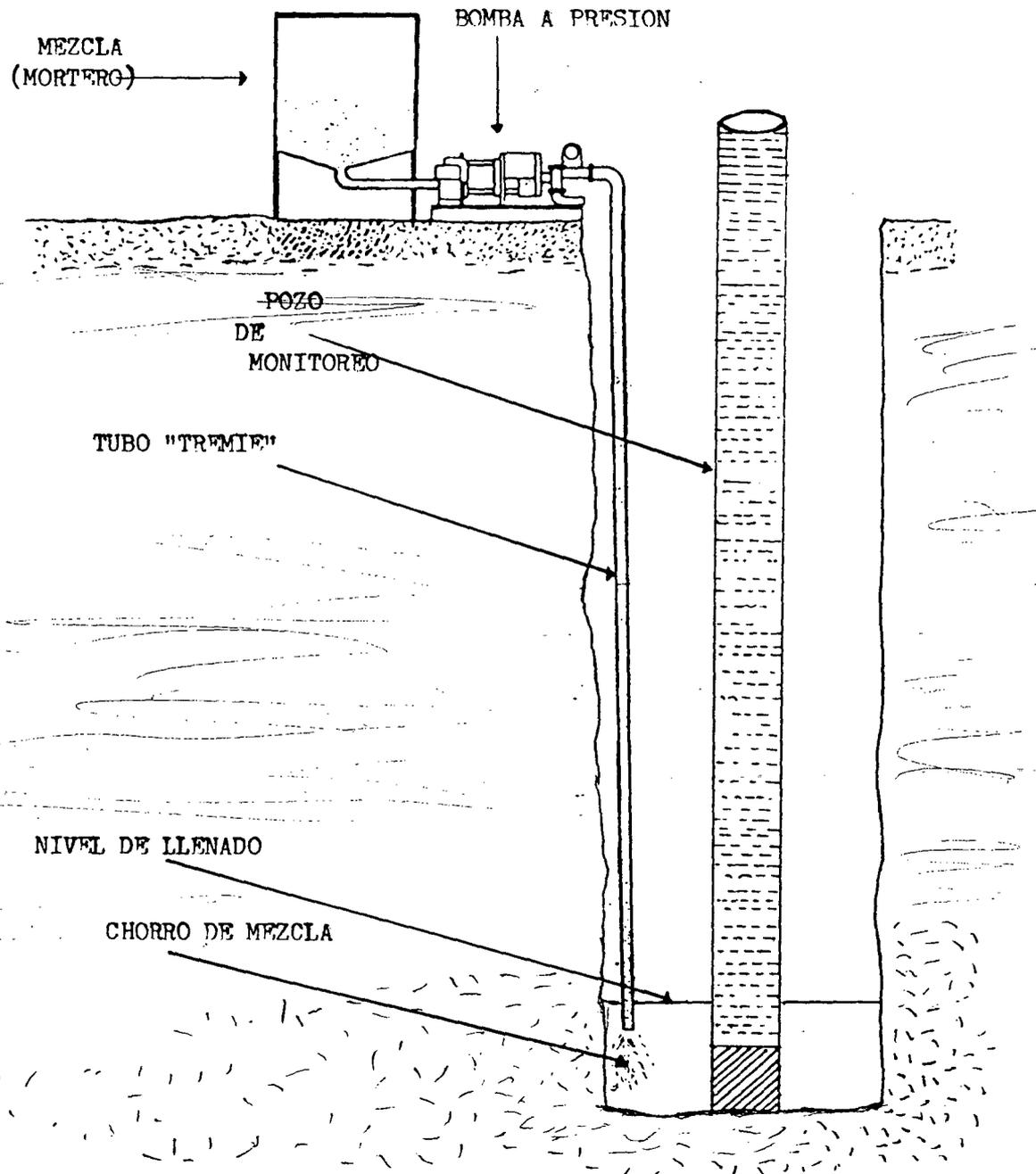


Fig. 34 Relleno con mortero del agujero de perforación con el pozo de monitoreo instalado, utilizando el método "Tremie" y bomba a presión.

4.7.9.- Instalación de la Tapa Protectora.- Dependiendo de la finalidad del pozo de monitoreo, el plazo de muestreo, el lugar y características de circulación del área, se selecciona el tipo más adecuado de tapa protectora,(9).

Se instala siguiendo las maniobras de albañilería convencionales para cada caso. Durante la instalación de la tapa protectora se construye la Zona de Protección del sistema del pozo de monitoreo, acondicionandosele pendientes adecuadas en la superficie para que no se estanque el agua de lluvia, (9).

La Zona de Protección queda construida con un bloque de concreto de 1.0 m. en sus tres dimensiones. Si el caso lo requiere, en esta zona y en la superficie, se instalan postes de protección de 1.0 m. de altura de 3" (7.6 cm.) de diámetro y enterrados aproximadamente 30.0 cm. figura No. 35, (9).

En la instalación del pozo de monitoreo, las maniobras en cada paso se deberán de hacer en forma continua, sin dejar lapsos de tiempo inactivo entre dichas maniobras, por lo menos en lo que respecta a la secuencia del paso 1 al paso 8, para evitar contaminaciones lo más posible. Por lo que, antes de proceder a la instalación se debe preparar un Programa de Instalación contemplandose los siguientes aspectos:

Cantidad suficiente de tubería, accesorios, materiales herramientas y personal.

Cantidad suficiente de agua y combustibles.

Horas luz de día o existe la necesidad de emplear luz eléctrica y la forma de generarla.

En la figura No. 36, se muestra un pozo de monitoreo completamente terminado y las partes que lo constituyen, (9).

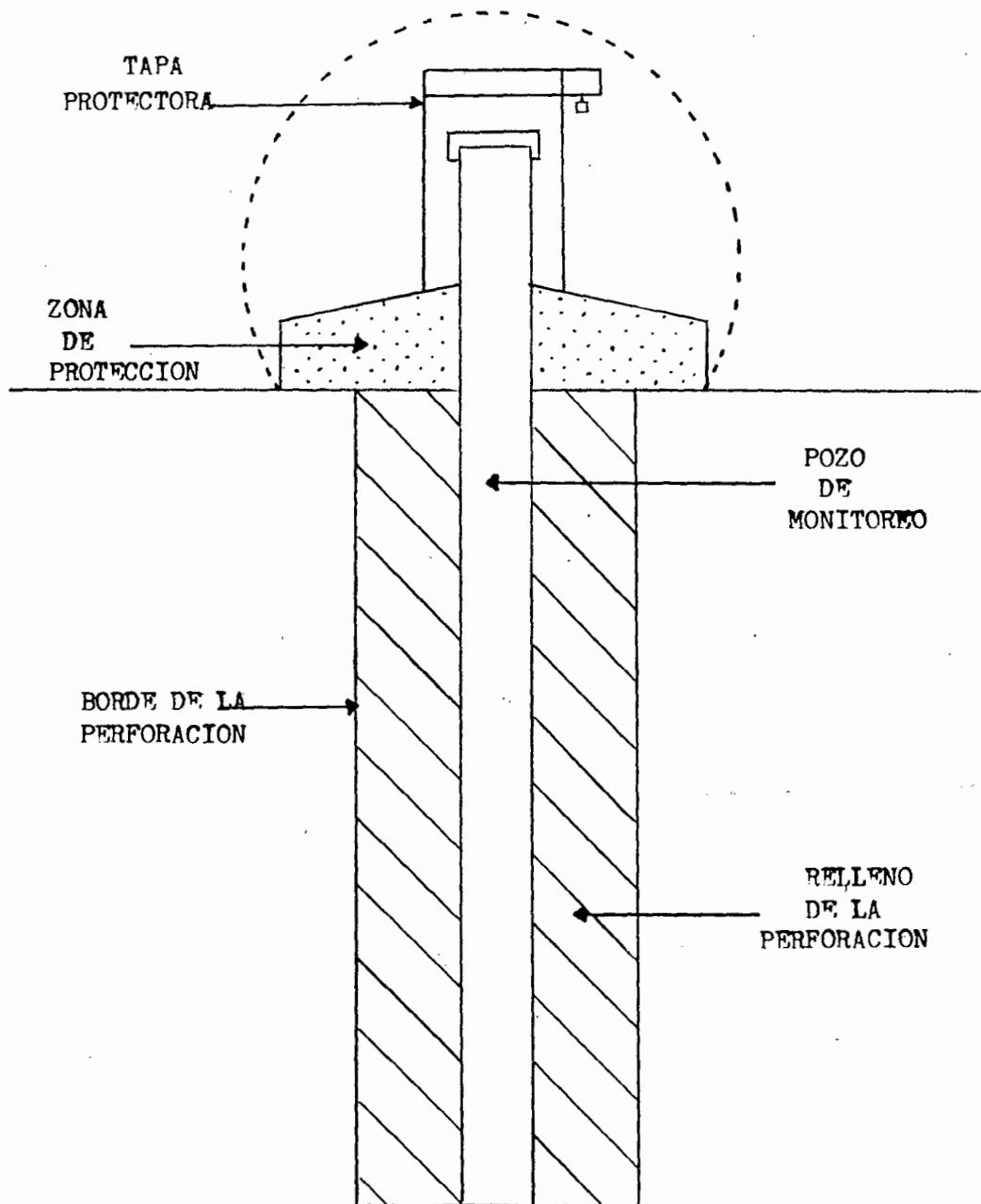


Fig. 35 Instalación de la tapa protectora y construcción de la zona de protección.

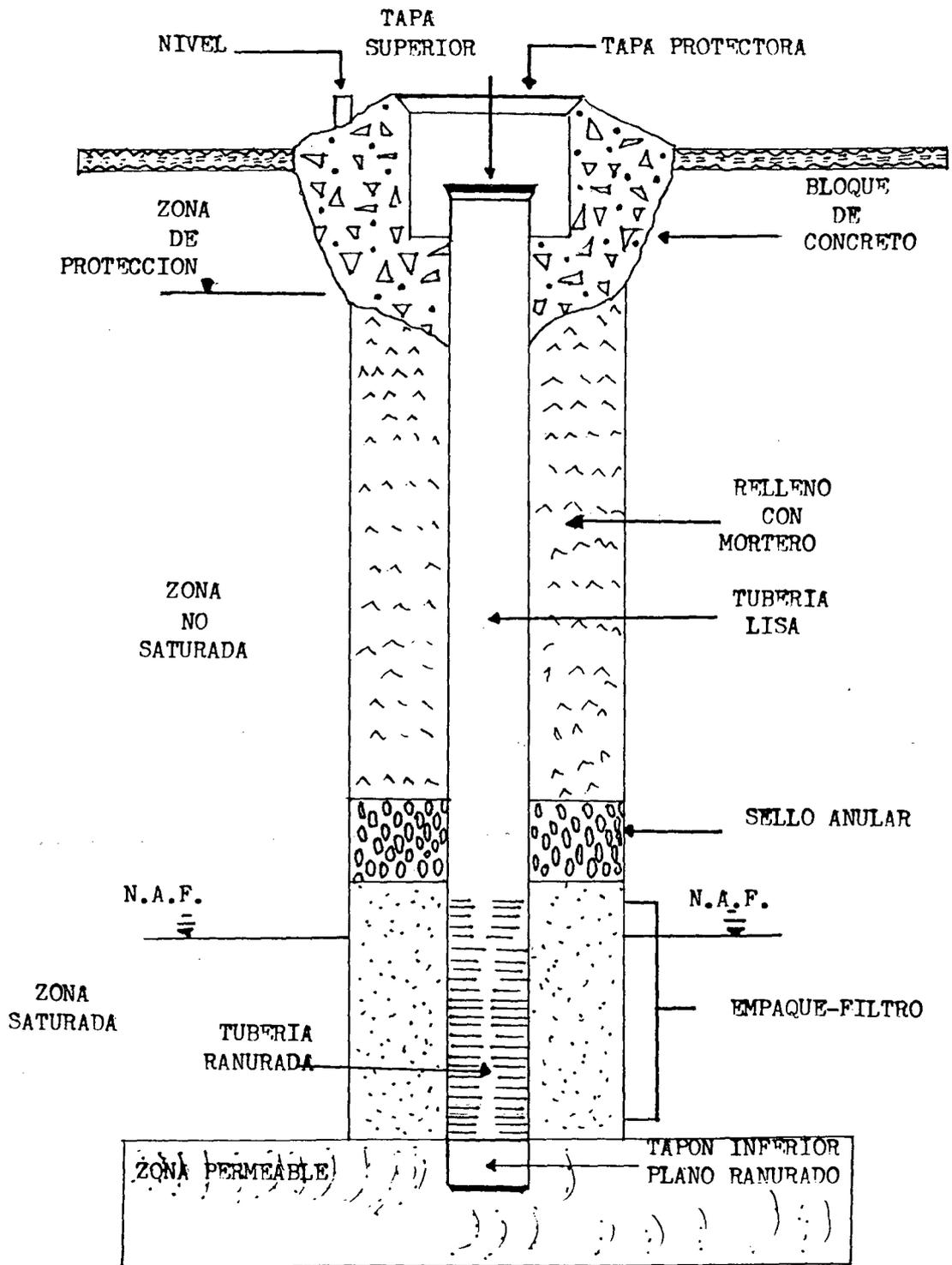


Fig. 36 Pozo de monitoreo completamente instalado y construido.

5.- Muestreo de Agua.- Scalf, et al (17). Sólo en algunos pozos se muestreo agua subterránea, después de la instalación y desarrollo; usando muestreadores "bailers" desechables, figura No. 37

Las muestras obtenidas fueron colocadas en botellas de plástico y de vidrio limpias, se les agregó conservadores de acuerdo al tipo de análisis pretendidos, siguiendo los procedimientos de conservación y de "cadena de custodia", fig. No. 16 correspondientes, (17).

No se tomaron muestras de agua para análisis en partes por millón de hidrocarburos disueltos en aquellos pozos donde se encontró una capa de hidrocarburos flotante.

6.- Descontaminación.- Del Toro (6). El equipo de perforación y herramientas, antes de comenzar la primera perforación y entre ellas se limpio de posibles accesos de grasa, aceite y cataplasmas de suelo con vapor a presión (agua a 200° F y a 1,500 psi), con una maquina portátil, figura No. 38. Se seco al aire.

El equipo que no se uso, inmediatamente después de la descontaminación se guardo en bolsas de plástico cerradas, (6).

Los instrumentos de muestreo se descontaminaron en cada intervalo con una solución de agua potable y un detergente libre de fosfatos, frotandolos con un cepillo; seguido de un enjuague con agua potable, un enjuague con agua desionizada (destilada), un enjuague con alcohol de 96° y otro enjuague de agua desionizada, secandose al aire, (6).

Los instrumentos ya secos se envolvieron en hojas de papel aluminio hasta el momento de ser utilizados, (6)

La tubería de PVC y accesorios del pozo de monitoreo fueron conservados en su envoltura original de fabrica hasta el momento de ser ensamblados. Antes de su ensamble fueron descontaminados con vapor a presión, seguido de un lavado con agua potable y un detergente grado laboratorio libre de fosfatos y otro enjuague con agua desionizada. Se seco al aire, (6).

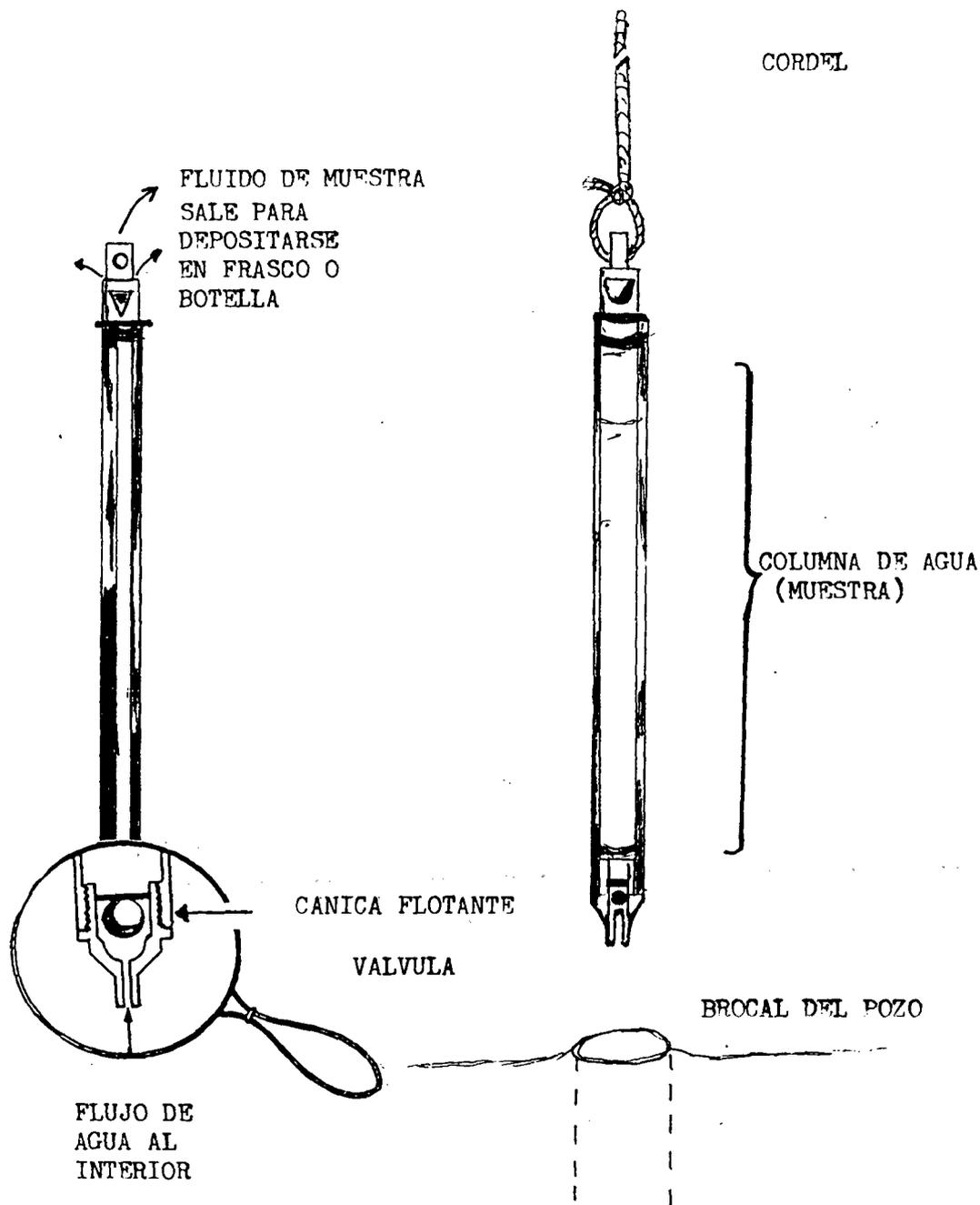
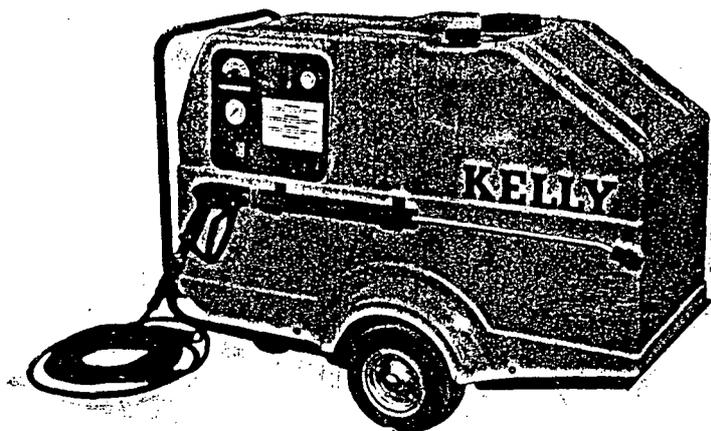


Fig. 37 Muestreador ("bailer") de agua subterránea.



MODELO DT - IIO - C

AGUA CALIENTE O FRIA

FLUIDO COMPRIMIDO

MOTOR.- TRIFASICO DE 3.5 HP DIESEL

SISTEMA DE ABRSORCION DE DETERGENTE

PRESION REGULABLE HASTA 1,600 lb.

PISTOLA-LANZA

BOQUILLA DE CHORRO DIRECTO

MANGUERA DE 10.0 m. PARA ALTA PRESION

Fig. 38 Lavadora de vapor a presión.

Inmediatamente después se procedió a roscarlos e instalarlos en las perforaciones formadas por las barrenas de recubrimiento, (6).

El personal de instalación utilizó ropa de trabajo de algodón limpia y guantes de látex desechables nuevos y limpios

El personal que laboró directamente en el área de perforación y en la instalación fue descontaminado con un lavado de agua potable y jabón libre de fosfatos, seguido de un enjuague de agua desionizada. Posteriormente se desechó la ropa utilizada; cada trabajador paso a la ducha, cambiandose con ropa limpia de calle antes de retirarse del sitio(6).

7.- Manejo de Residuos.- Del Toro (6). Se generaron residuos de suelo procedentes de la perforación; agua del desarrollo de los pozos y de la descontaminación y equipos de protección personal desechables y envolturas y empaques de los insumos.

Los residuos de suelo fueron depositados en películas de polietileno en el mismo sitio de las perforaciones y se cubrieron con tela de plástico al concluir estas, (6).

Posteriormente fueron monitoreados y recogidos por camiones de carga para su confinamiento final, (6).

Los residuos de agua procedentes del desarrollo de pozos fueron depositados en tambos de 200 lts. se cerraron y posteriormente camiones de carga pasaron por ellos, (6).

En la descontaminación de equipo de perforación, aparatos de muestreo y personal, los lavados fueron realizados sobre tinas de fibra de vidrio y albercas inflables; se bombeo al agua a carros-pipas, (6).

El equipo de protección personal desechable y empaques de insumos se colocaron en bolsas de polietileno, se cerraron y estas a su vez se colocaron en tambos de 200 lts., los cuales fueron cerrados y después, camiones de carga pasaron por ellos, (6).

8.- Plan de Seguridad e Higiene.- Del Toro (6). Se monitoreo con explosiméetro las perforaciones.

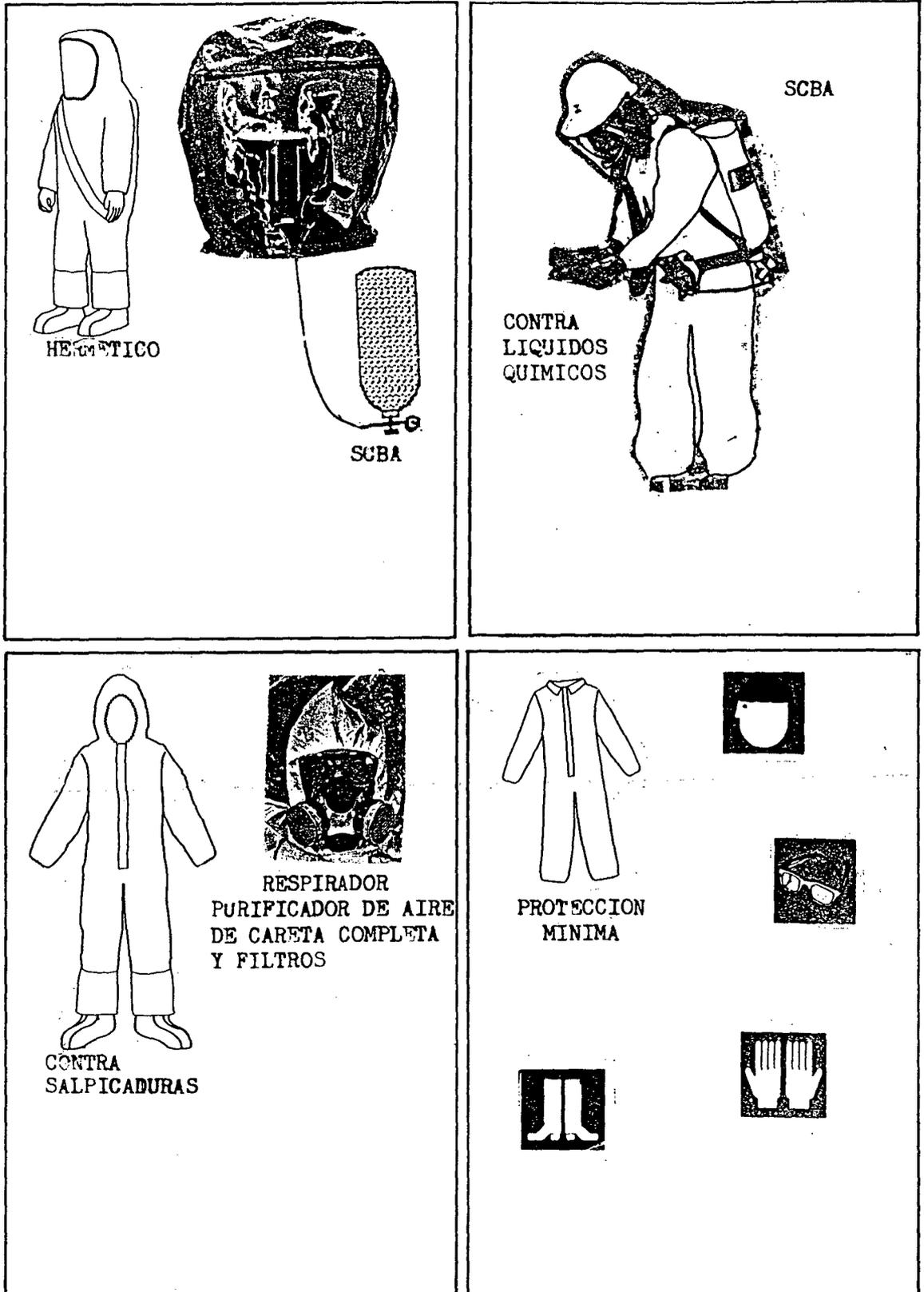
Se uso ropa y equipo de protección personal recomendada para el tipo de trabajo, figura No. 39, (6).

Se evacuo y acordonó el área de trabajo en una distancia prudente por elementos de seguridad pública y de transito, (6).

Se conto con extinguidores y botiquines de primeros auxilios, (6).

En un intento por extraer el hidrocarburo flotante en el agua (gasolina) por medio de bombeo, la Comisión Estatal de Ecología (Jalisco) solicita a la empresa: "Rust Servicios Ambientales e Infraestructura" de Houston, Texas. U.S.A. y con sucursal en la ciudad de México, D. F., la que presentará una propuesta para recuperar el hidrocarburo sin dañar las estructuras de los edificios circunvecinos. Dicha propuesta no fue presentada y hasta la fecha en que se concluyó la presente investigación, julio de 1995, no se tienen noticias de proyectos u acciones concretas en el problema de la contaminación presente en el sector "Reforma".

Fig. 39 Conjuntos de protección personal por niveles. Clasificación de la O.S.H.A.



4.- RESULTADOS Y DISCUSION

La presente investigación se realizó de noviembre de 1993 a julio de 1995, obteniendose los siguientes resultados con la perforación e instalación de Pozos de Monitoreo .

Colonia "Moderna":

En el cuadro No. 1 se indican los resultados obtenidos en pozos de monitoreo instalados por el S.I.A.P.A. en 1974 en la colonia "Moderna" y patios de F.N.H.

En octubre de 1993 la empresa: "Territorio y Medio Ambiente, S.A." de Barcelona, España; realiza una serie de perforaciones e instalación de pozos de monitoreo en el interior de las instalaciones de Ferrocarriles Nacionales de México, Estación "Sinaloa", Región "Pacífico", de la ciudad de Guadalajara, obteniendose los resultados que se muestran en el cuadro No. 2.

En las actividades de perforación realizadas por esta empresa se obtuvieron muestras de suelo a cada 1.50 m. de profundidad.

El día 8 de mayo de 1995 se inicia la perforación e instalación de pozos de monitoreo en el proyecto contratado por el Gobierno del Estado de Jalisco en coordinación con la Comisión Estatal de Ecología y Protección Civil, bajo autorización directa de la Secretaría de Desarrollo Social y el Gobierno Federal, a la empresa "ALLWASTE, Servicios Industriales de Control Ecológico, S.A. de C.V." de Houston Texas, EE. UU. con un costo de N\$ 5'907,299.00 de los N\$6'000,000.00 aportados por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Desarrollo Social.

CUADRO No. I RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN LA COLONIA "MODERNA" POR EL S.I.A.P.A. EN 1974

EMPRESA: SISTEMA INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA.

ACTIVIDAD: PERFORACION E INSTALACION DE POZOS DE MONITOREO.

LOCALIZACION: 4 POZOS EN LA COLONIA "MODERNA" Y 5 POZOS EN LAS INSTALACIONES DE F.N.M. ESTACION: "SINALOA", REGION: "PACIFICO".

TIPO DE SUELO: CONSISTEN PRIMORDIALMENTE DE DEPOSITOS GRANULARES DE ARENA Y CENIZAS VOLCANICAS.

EXPLOSIVIDAD: NO SE OBTUVO.

PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE MONITOREO: 12.0 M. EN PROMEDIO.

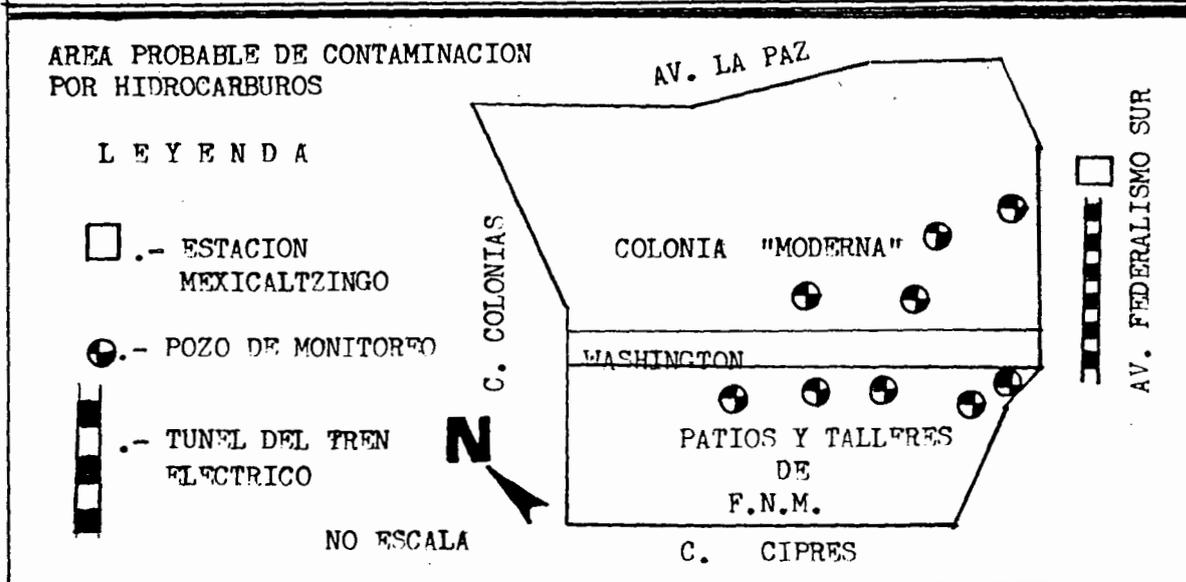
IDENTIFICACION DEL CONTAMINANTE: DIESEL.

PROFUNDIDAD DEL N.A.F.: ENTRE 8.0 Y 9.0 M.

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE HIDROCARBUROS: NO SE OBTUVO.

GROSOR DE LA FAJA DE HIDROCARBUROS FLOTANTES: NO SE OBTUVO.

FASE DE ABSORCION: "LIBRE"



CUADRO No. 2 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN F.N.M.
 ESTACION "SINALOA", REGION "PACIFICO" (ZONA "A") EN
 GUADALAJARA, JALISCO POR "TFMA, S. A." EN 1993

EMPRESA: TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, S.A. DE BARCELONA, ESPAÑA Y
 SUCURSAL EN MEXICO, D.F.

ACTIVIDAD: PERFORACION E INSTALACION DE POZOS DE MONITOREO (I2).

LOCALIZACION: NO SE PROPORCIONO.

TIPO DE SUELO: ARENOSO GRANULAR CON CENIZAS VOLCANICAS.

EXPLOSIVIDAD: ENTRE EL 80% Y EL 100%.

PROFUNDIDAD DE LOS POZOS DE MONITOREO: ENTRE 10.0 Y 12.0 M.

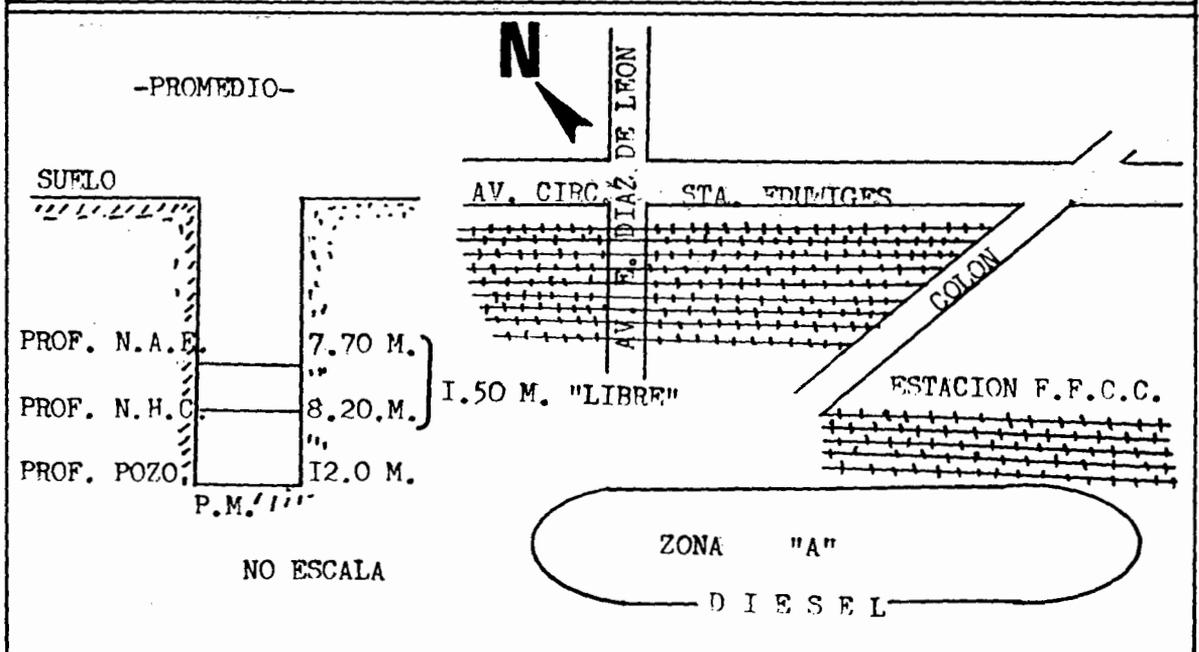
IDENTIFICACION DEL CONTAMINANTE: DIESEL.

PROFUNDIDAD DEL N.A.F.: ENTRE 5.80 Y 7.70 M.

PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE HIDROCARBUROS: ENTRE 6.80 Y 8.20 M.

GROSOR DE LA FAJA DE HIDROCARBUROS FLOTANTES: ENTRE 0.70 Y 1.40 M.

FASE DE ABSORCION: "LIBRE"



La perforación y el desarrollo de los pozos la realizó la empresa "Lainco, S.A. de C.V." de esta ciudad, subcontratada y supervisada por "Groundwater Technology, Inc." de Torrance Ca. U.S.A. que a su vez es subcontratista de "Allwaste". Obteniéndose los resultados que se presentan en los cuadros No. 3, No. 4, No. 5, y No.6, respectivamente.

En base al monitoreo en las diferentes zonas del área se detectó:

- 1.- El Tipo de Suelo: Arenoso de gránulos medios y cenizas volcánicas. Areno-limoso y areno-arcilloso en otros.
- 2.- Se confirma que el contaminante es: DIESEL.
- 3.- Explosividad: Se detectó a los 3.0 m. de perforación, entre el 80% y 100%.
- 4.- La profundidad de los pozos de monitoreo: 12.00 mts.
- 5.- Nivel de Aguas Freáticas: En promedio se estableció a los 5.0 m. (en las zonas más afectadas).
- 6.- Nivel de Hidrocarburos: En promedio se encontró entre los 7.43 y los 8.00 mts. (en las zonas más afectadas).
- 7.- Faja de Hidrocarburos Flotantes: El grosor de la capa encontrado es en promedio de 2.43 y 3.00 mts. (en las zonas más afectadas).
- 8.- Fase de Absorción: El Hidrocarburo se encuentra en fase: "Libre".

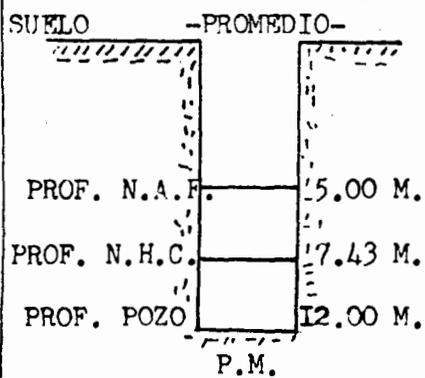
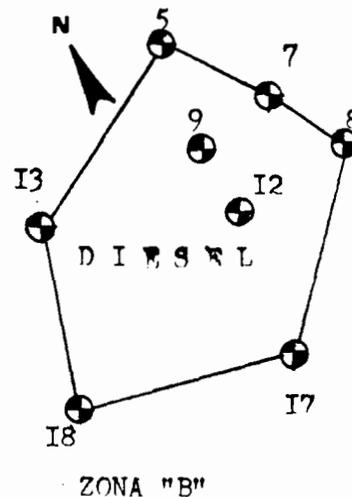
Con estos parámetros se determina que: cuadro No. 7

1.- La extensión horizontal de la contaminación más extensa se encuentra comprendida al norte por la calle Montenegro, al sur por la Av. Circ. Sta. Eduwiges, al oeste la calle Argentina y al este Av. Colón.

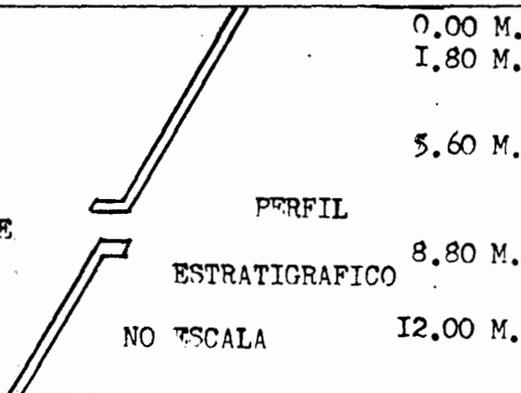
La extensión vertical, en las zonas más afectadas es de 3.0 mts. (centro de la colonia "Moderna"); en fase libre, no se ha impregnado en el material geológico, según verificación visual.

CUADRO No. 3 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN LA COLONIA "MODERNA" (ZONA "B") POR "ALLWASTE" EN 1995

P.M. No.	PROF. (m)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
5	12.00	5.00	7.50	2.50
7	12.00	5.00	7.50	2.50
8	12.00	5.00	7.00	2.00
9	12.00	4.50	7.00	2.00
I2	12.00	5.50	7.60	2.10
I3	12.00	4.50	6.40	1.90
I7	12.00	5.00	7.50	2.50
I8	12.00	5.50	7.50	2.00



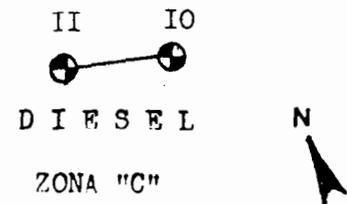
2.43 M. LIBRE



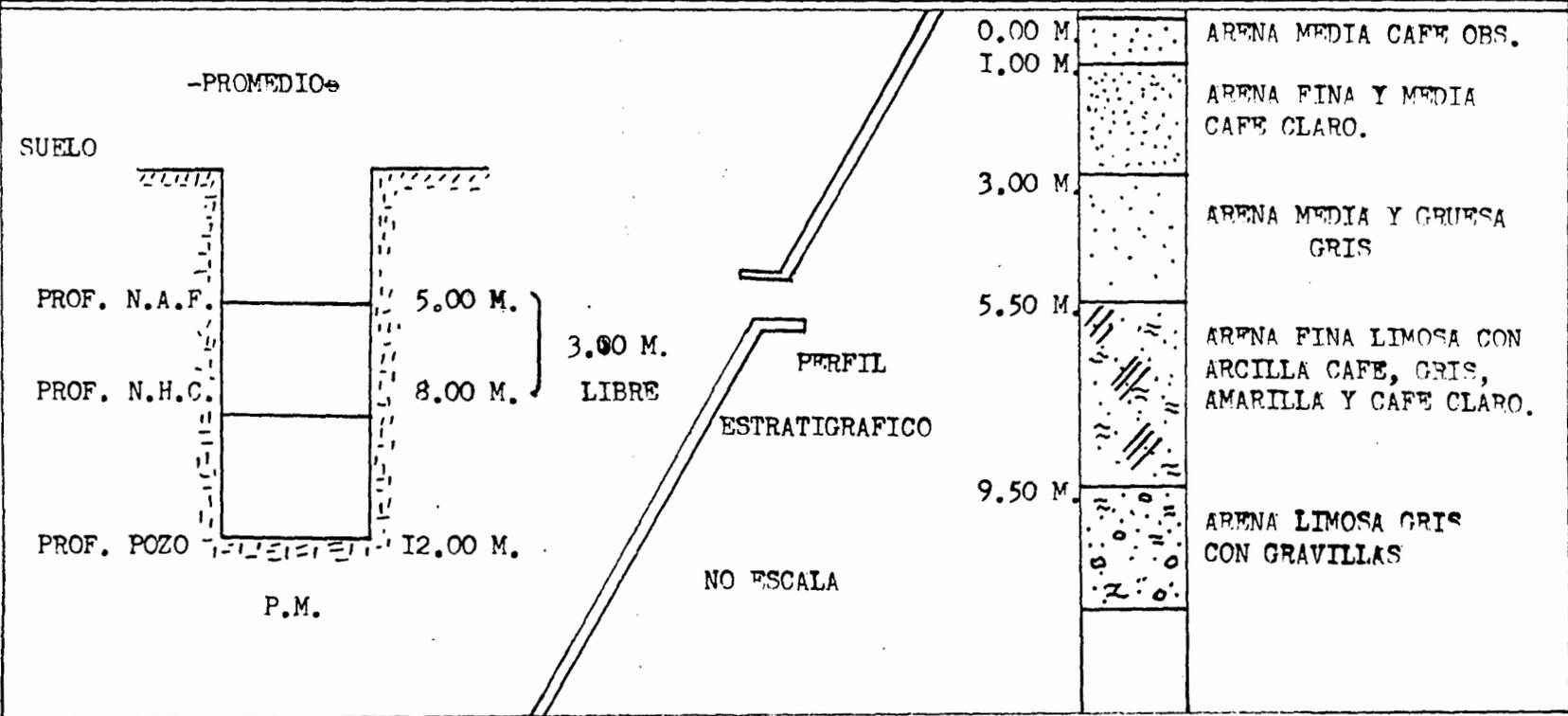
0.00 M.		ARENA FINA CAFE
1.80 M.		ARENA MEDIA GRIS
5.60 M.		ARENA GRIS CON LIMO CAFE OSCURO
8.80 M.		ARENA MEDIA Y FINA GRIS
12.00 M.		

CUADRO No. 4 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN LA COLONIA "MODERNA" (ZONA "C") POR "ALLWASTE" EN 1995

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
IO	10.50	5.00	8.00	3.00
II	12.00	5.00	8.00	3.00

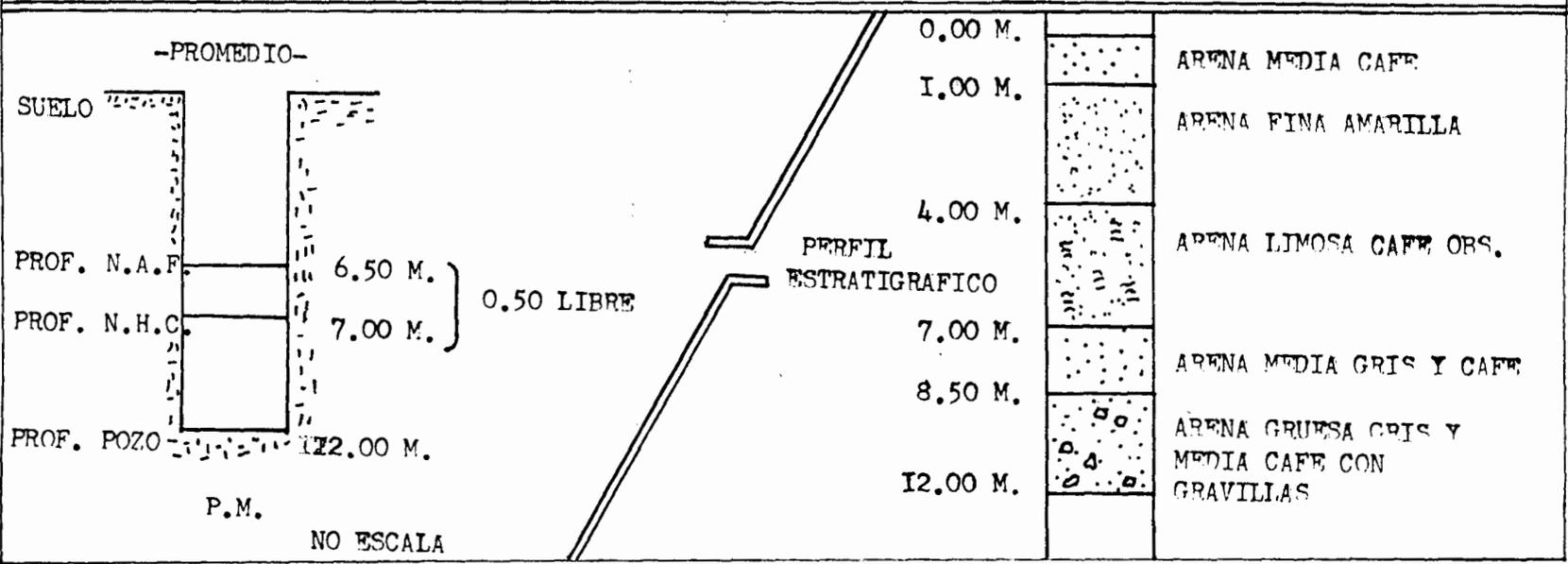
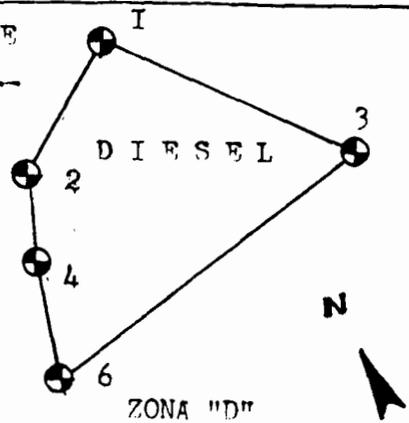


113



CUADRO No. 5 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN LA COLONIA "MODERNA" (ZONA "D") POR "ALLWASTE" EN 1995

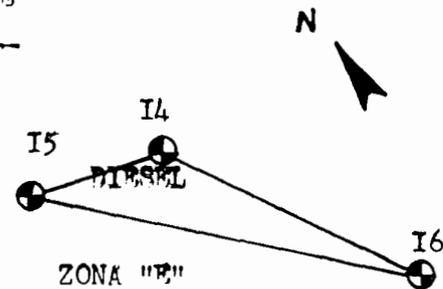
P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
I	12.00	4.00	4.70	0.70
2	12.00	6.00	6.80	0.80
3	12.00	5.00	5.80	0.80
4	12.00	7.50	8.40	0.90
6	12.00	9.00	10.00	1.00



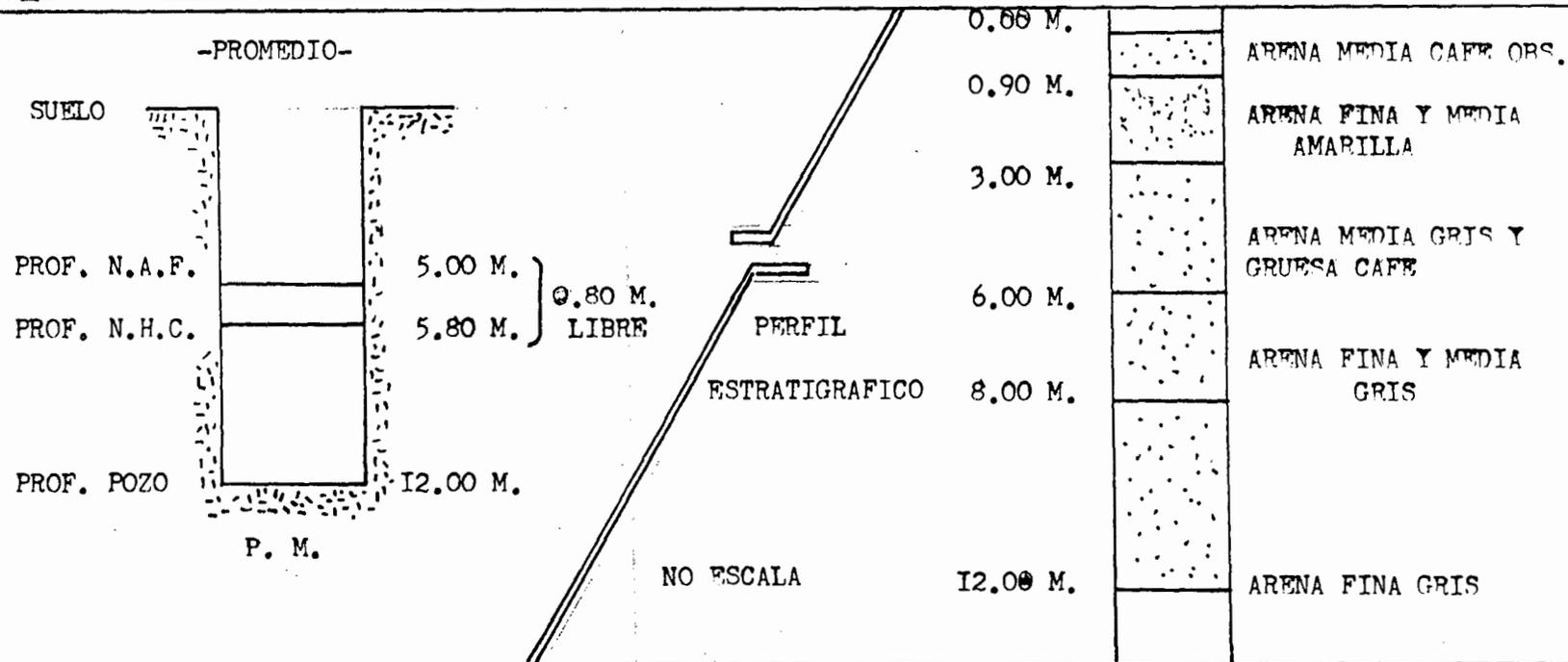
III

CUADRO No. 6 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN LA COLONIA "MODERNA" (ZONA "E") POR "ALLWASTE" EN 1995

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PRPF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
I4	12.00	5.00	5.80	0.80
I5	12.00	7.00	8.00	1.00
I6	12.00	3.00	3.60	0.60

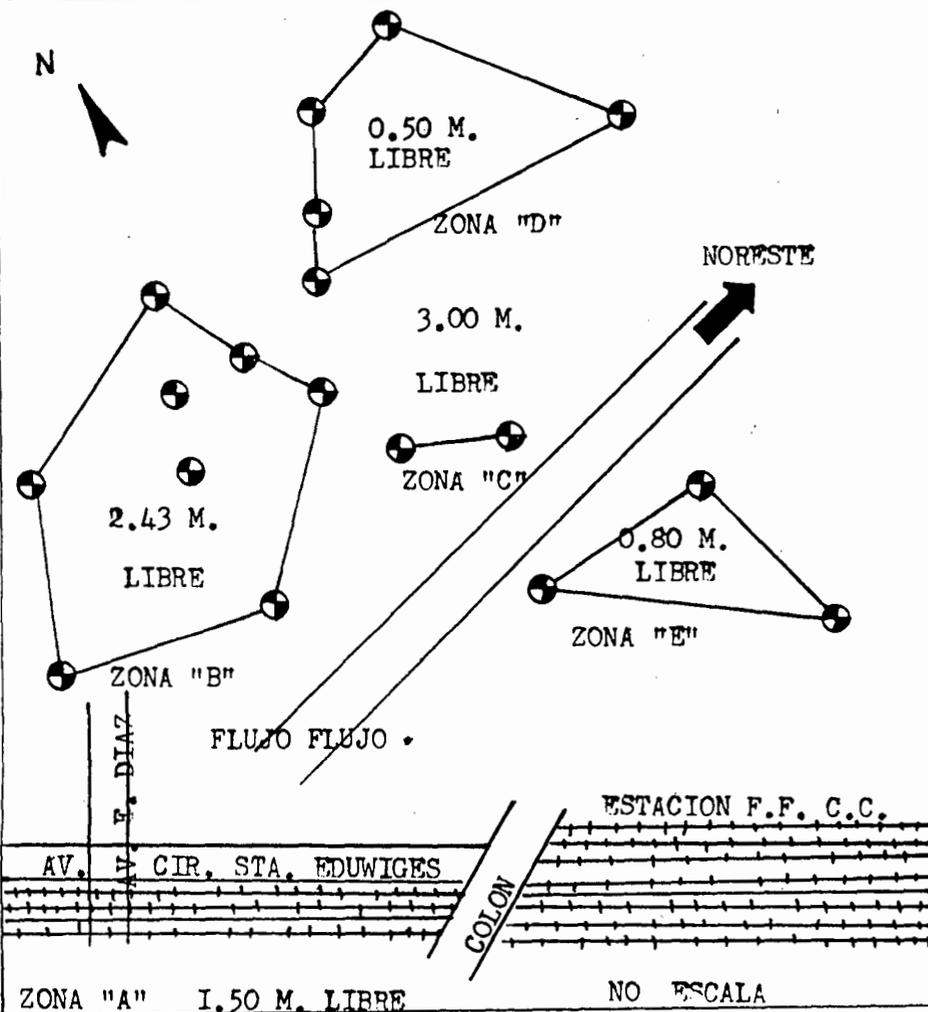


115



CUADRO No. 7 DETERMINACION DE CARACTERISTICAS DE LA CONTAMINACION CON DIESEL EN EL PROYECTO:
 "SANEAMIENTO DE LA COLONIA MODERNA" POR "ALLWASTE" EN 1995

116



C A R A C T E R I S T I C A S :

- 1.- LAS ZONAS MAS CONTAMINADAS CON DIESEL SON: A, B Y C. EL AREA COINCIDE CON LA DELIMITADA EN 1974 POR EL S.I.A.P.A.
- 2.- EL FLUJO SIGUE LA DIRECCION: NORESTE.
- 3.- LA FUENTE POTENCIAL SE DETERMINA EN F.N.M. PATIOS Y TALLERES.
- 4.- EL CONTAMINANTE SE ENCUENTRA EN FASE LIBRE, REPRESENTA EL 60% DEL DERRAME.
- 5.- EL SUELO ES ARENOSO DE GRANULOS VARIADOS CON CENIZAS VOLCANICAS.
- 6.- RIESGOS.- VAPORES EXPLOSIVOS E INFLAMABLES.

2.- El flujo lleva la dirección: Noreste, extendiéndose la pluma de contaminación hacia el norte a la Av. La Paz y calle Colonias y al este hacia la Calz. Independencia Sur y Av. Circ. Sta. Eduwiges.

3.- Todo parece indicar que el escape o fuente potencial se encuentra en las instalaciones de mantenimiento y talleres de F. N. M. estación "Sinaloa", región "Pacífico", en Guadalajara, Jalisco.

Sector "Reforma":

En la perforación e instalación de pozos de monitoreo realizada por E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST alrededor de la zona siniestrada el 22 de abril de 1992 y en gasolineras de la zona se tienen los resultados que se muestran en los cuadros, No. 8, No. 9, No. 10, No. 11 y No. 12, respectivamente.

En el monitoreo de los pozos instalados en las diferentes zonas, se detectó:

1.- Tipo de Suelo: Residuales de origen volcánico, compuestos de arena media pumítica, estratos: areno-limosos y areno-arcillosos, arcilla y un manto de roca a profundidades varias entre 6.00 y 8.50 mts. formado de basalto.

2.- Se confirma que el contaminante es: GASOLINA.

3.- Explosividad: Se percibe fuerte olor a gasolina desde los 2.00 mts. de perforación en las zonas más afectadas, teniendo un promedio entre el 80% y el 100% de explosividad.

4.- Profundidad de los Pozos de Monitoreo: 6.50 mts. en promedio.

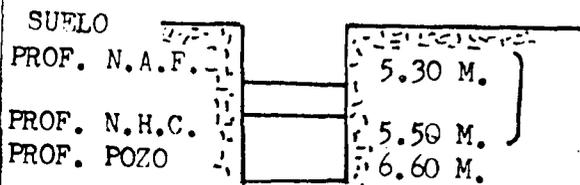
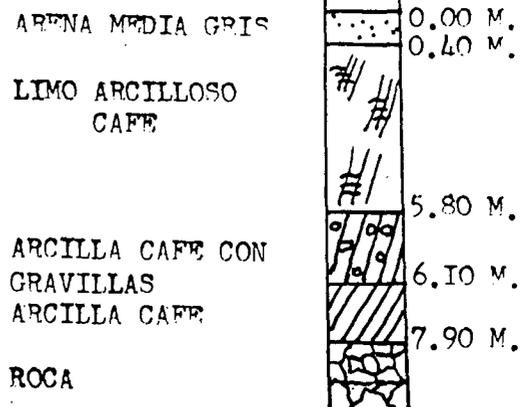
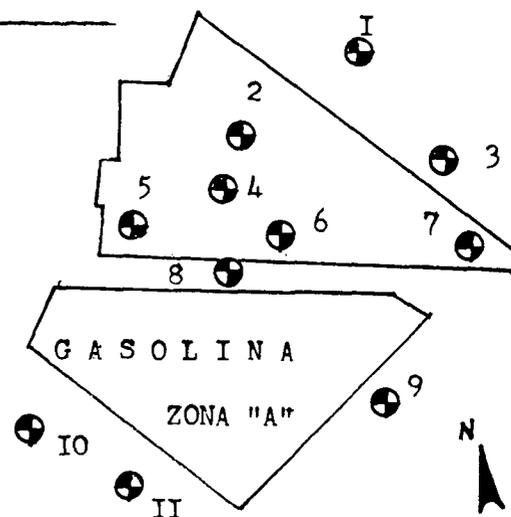
5.- Nivel de aguas freáticas: A los 4.00 mts. en promedio.

6.- Nivel de Hidrocarburos: Se encontró a los 5.50 mts.

7.- Faja de Hidrocarburos Flotantes: El grosor de la capa encontrado es de 1.50 mts.

CUADRO No. 8 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITORIO EN EL SECTOR "REFORMA" (ZONA "A") POR E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
I	5.50	4.80	5.00	0.20
2	6.30	4.10	4.60	0.50
3	7.90	7.04	7.50	0.46
4	6.60	3.90	4.50	0.60
5	7.40	4.10	5.00	0.90
6	6.00	4.10	4.50	0.50
7	5.40	3.90	4.00	0.60
8	5.60	5.15	5.30	0.15
9	6.40	6.24	6.30	0.06
10	7.40	6.95	7.10	0.10
II	7.70	7.20	7.10	0.10

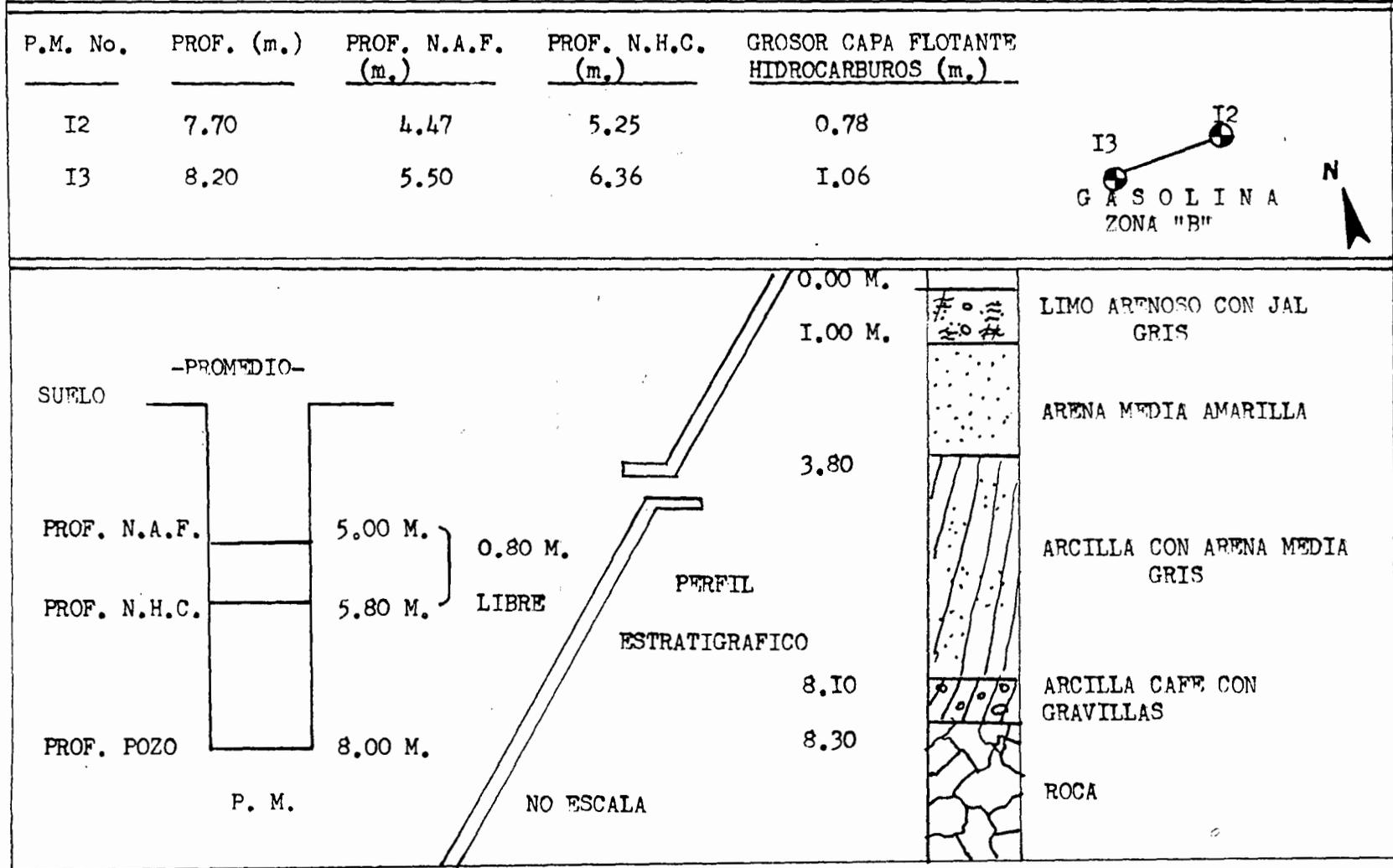


PROMEDIO POZO DE MONITORIO

0.20 M. LIBRE

NO ESCALA

CUADRO No. 9 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN EL SECTOR "REFORMA" (ZONA "B") POR E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993

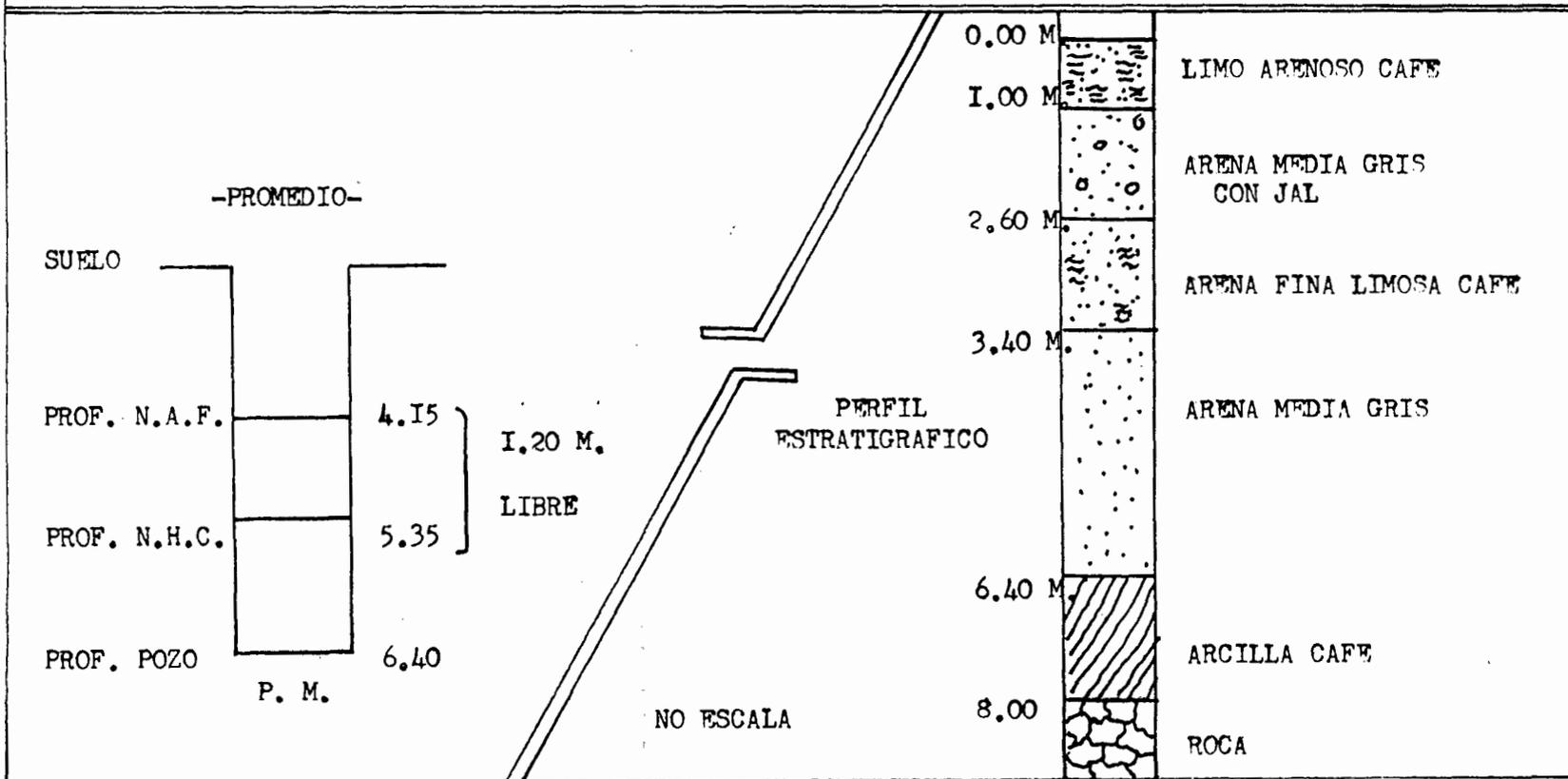


CUADRO No. 10 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN EL SECTOR "REFORMA" (ZONA "C") POR
 P.E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PTOF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
14	6.40	4.15	5.35	1.20

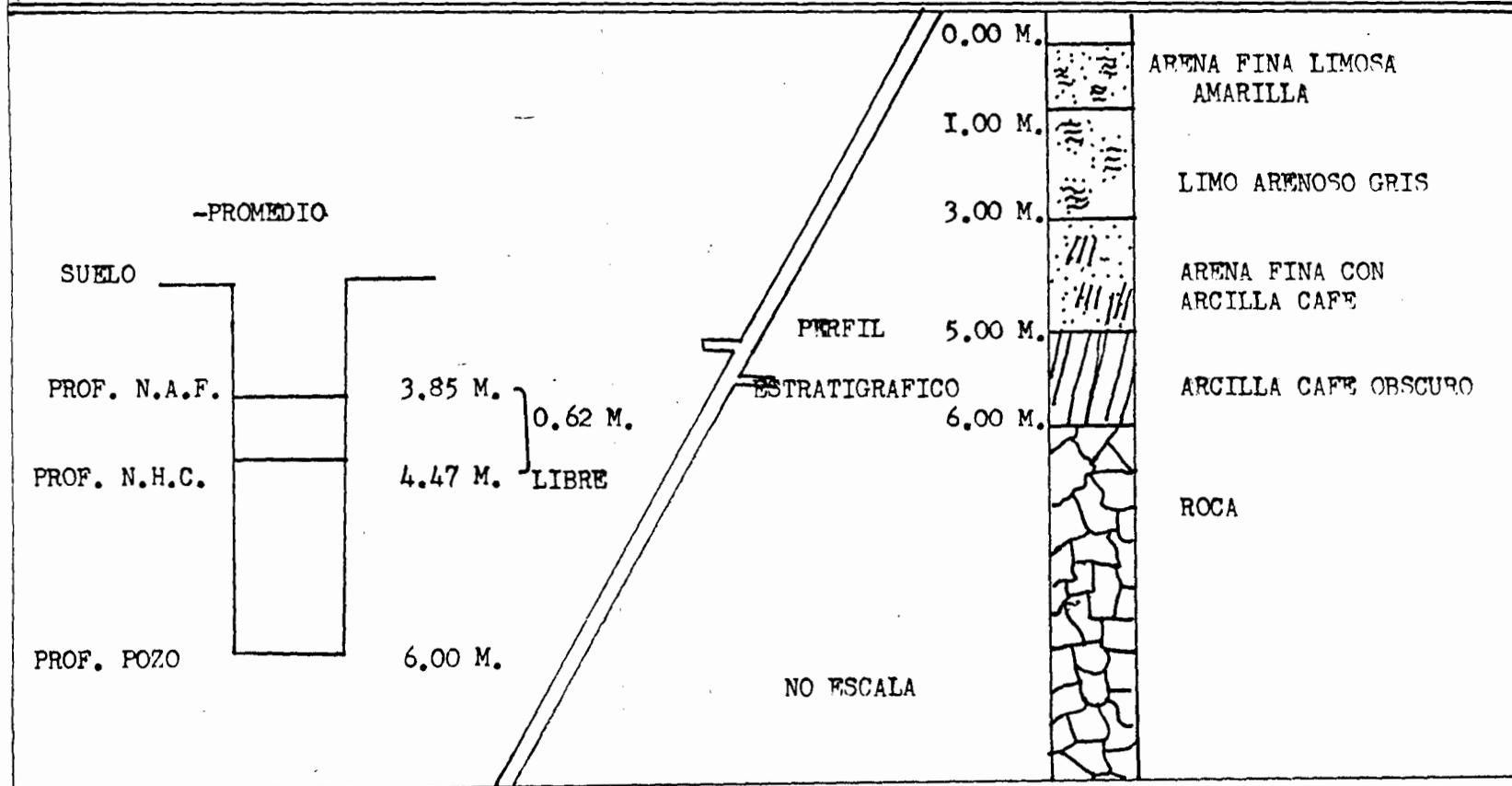
14
 GASOLINA
 ZONA "C" 

120



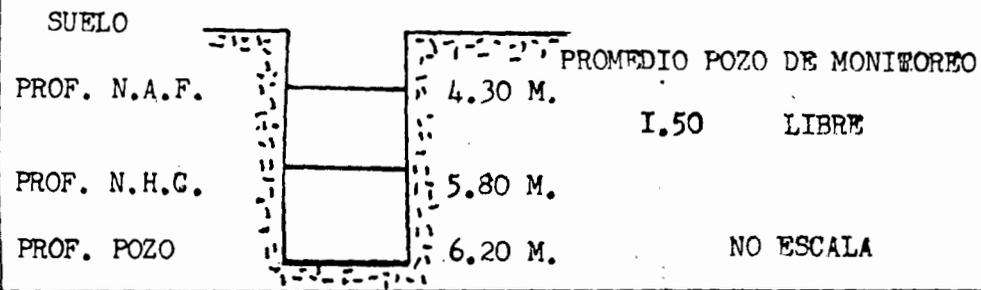
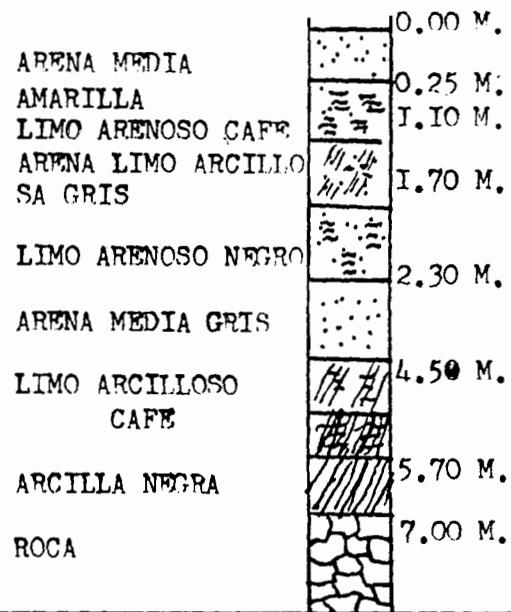
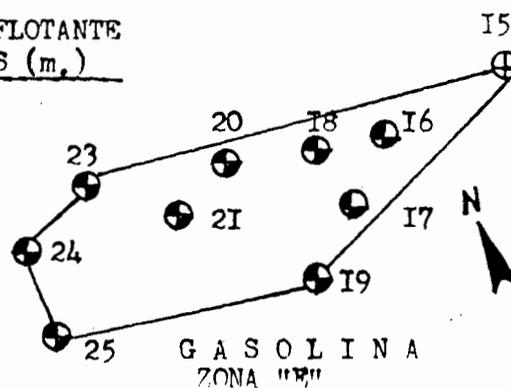
CUADRO No. II RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITORIO EN EL SECTOR "REFORMA" (ZONA "D") POR E.T.I./S.I.P.A.S.A./ RUST EN 1993

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)	22
22	6.00	3.85	4.47	0.62	GASOLINA ZONA "D"



CUADRO No. 12 RESULTADOS OBTENIDOS EN POZOS DE MONITOREO EN EL SECTOR "REFORMA" (ZONA "E") POR E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993

P.M. No.	PROF. (m.)	PROF. N.A.F. (m.)	PROF. N.H.C. (m.)	GROSOR CAPA FLOTANTE HIDROCARBUROS (m.)
I5	6.00	4.00	5.35	1.35
I6	5.50	3.60	5.00	1.40
I7	6.00	4.25	5.67	1.42
I8	7.70	5.65	7.10	1.45
I9	8.30	5.85	7.50	1.65
20	6.00	4.10	5.50	1.40
21	6.00	4.20	5.70	1.50
23	5.80	3.65	5.20	1.55
24	6.00	4.00	5.50	1.50
25	5.50	3.40	5.00	1.60



8.- Fase de absorción: El hidrocarburo se encontró en fase: LIBRE. Representando el 60% del derrame.

En base a los parámetros, se establece que: cuadro No. 13.

1.- La extensión horizontal de la contaminación en general, se extiende hacia el norte a la Calz. Revolución, al sur hacia la Calz. Olímpica, al oeste hacia la Calz. Independencia Sur y al oeste hacia Blv. H. García Barragán.

La zona más afectada esta comprendida en el parque: "Aqua Azul" y la "Antigua Central Camionera".

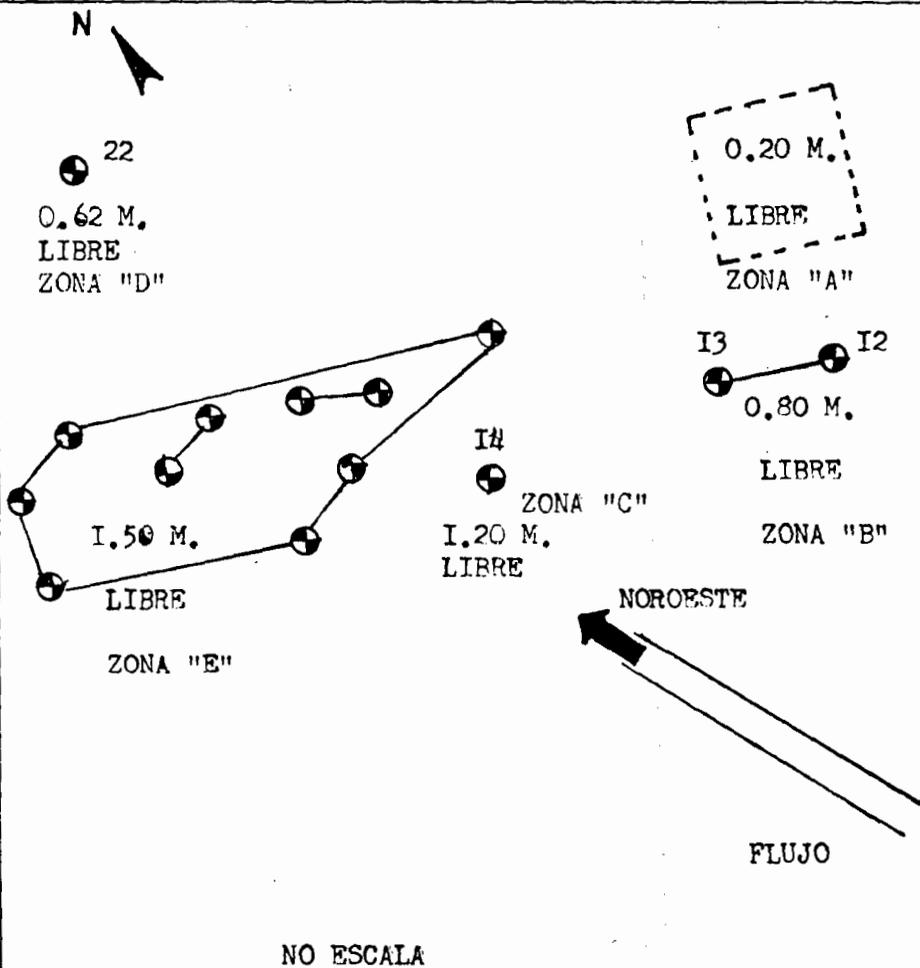
La extensión vertical se encontró de 1.50 mts. en fase libre, sin impregnar el material geológico según verificación visual.

2.- El flujo sigue la dirección: Noroeste.

3.- Se señala como la fuente principal de escape al oleoducto: "Salamanca-Guadalajara", averiado en la colonia "Alamo Industrial" en Guadalajara, Jalisco.

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
BIBLIOTECA CENTRAL

CUADRO No. 13 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA CONTAMINACION CON GASOLINA EN EL PROYECTO:
 "GUADALAJARA-COESE" EN EL SECTOR "REFORMA" POR E.T.I./S.I.P.A.S.A./RUST EN 1993



C A R A C T E R I S T I C A S :

- 1.- LAS ZONAS MAS CONTAMINADAS CON GASOLINA SON: E Y C, EXTENDIENDOSE; NO EMIGRA HACIA ABAJO (ARCILLA EN ESTRATOS INFERIORES).
- 2.- EL FLUJO SIGUE LA DIRECCION: NOROESTE.
- 3.- LA FUENTE POTENCIAL SE DETERMINA EN LA COLONIA: "ALAMO-INDUSTRIAL".
- 4.- EL CONTAMINANTE SE ENCUENTRA EN FASE LIBRE, REPRESENTA EL 60% DEL DERRAME.
- 5.- SUELO.- ARENOSO CON LIMO Y ARCILLAS.
- 6.- RIESGO.- VAPORES EXPLOSIVOS E INFLAMABLES.

NO ESCALA

124

En la colonia "Moderna" tuvieron que pasar alrededor de 20 años para que se aplicaran acciones concretas y efectivas en la restauración de la contaminación de los mantos freáticos por diesel.

El área afectada por la contaminación horizontalmente coincide con la determinada en 1974 por el S.I.A.P.A.

En el sector "Reforma", aproximadamente un año después de las explosiones del 22 de abril de 1992, a petición de los habitantes del área y por los constantes olores de vapores de gasolina con explosividad de 100% monitoreados por el H. Cuerpo de Bomberos, se instalaron 25 pozos de monitoreo en diferentes sitios estratégicos para detectar la presencia de gasolina.

La zona más contaminada esta comprendida en el parque: "Agua Azul" y la "Antigua Central Camionera" por lo que no se esta utilizando en el abastecimiento de agua potable de Guadalajara, la que se extraía de los pozos profundos del sistema "Agua Azul".

Por el tipo de suelo encontrado, con arcillas en los estratos inferiores; al llegar la gasolina a estos, la arcilla se impregnará, se hidratará pero no la dejará pasar al manto de roca.

En las dos áreas, la instalación de Pozos de Monitoreo y la evaluación de los parámetros del acuífero permitieron cumplir con su objetivo, como lo hicieron en un derrame de gasolina en depósitos de agua potable en 1991 en Barcelona, España, hecho mencionado por Vidaña (23). Estableciéndose: la extensión vertical y horizontal de la pluma de contaminación, la dirección del flujo en el agua, las fuentes potenciales de escape y los riesgos; para tener una evaluación más objetiva y la aplicación de procedimientos de restauración fuesen más efectivos.

En la mayoría de las zonas de las dos áreas afectadas el tipo de suelo es similar y coincide con los estudios del subsuelo de Guadalajara realizados en 1976 y citados por Esquivel (7) y avalado por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, los cuales están constituidos básicamente por depósitos de arena y grava de granulometría muy variada, cuyas partículas están formadas predominantemente de pómez.

En los estratos de arena se tienen distintos porcentajes de limo. Ocasionalmente se encuentran capas de pequeño espesor de arcilla-arenosa y de limo-arenoso y encontrándose un basamento de basalto a distintas profundidades, (7).

Los hidrocarburos encontrados de las dos áreas evaluadas se encuentran en fase "LIBRE". Contreras (4). Señala que: los hidrocarburos en fase libre se encuentran flotando en el espejo de agua, representando el 60% del derrame y es reutilizable con poco procedimiento.

Los hidrocarburos en su emigración hacia los mantos freático pasan primero por el suelo, saturándolo y estos son retenidos en el mismo en sus partículas por la fuerza de capilaridad; según Contreras (4). En esta fase representa aproximadamente el 35% del promedio del derrame. No fue posible contar con los resultados de análisis químicos de las muestras obtenidas de suelo.

Así mismo, el producto se disuelve en el agua subterránea, lo menciona Contreras (4): como la fase de Producto Disuelto y representa el 5% del total del derrame. Pero se tiene un problema mayor, ya que los hidrocarburos disueltos se mueven hasta lugares no deseados. No se tomaron muestras de agua freática para análisis de hidrocarburos disueltos en el agua en partes por millón en los pozos donde se encontro una faja de hidrocarburos flotantes y los resultados de los análisis químicos de las muestras de agua tomadas en algunos otros, no fue posible obtenerlos.

Existe generación de vapores tóxicos, inflamables y explosivos, a lo largo y ancho de las dos áreas evaluadas. En la colonia "Moderna", continúan los trabajos y actividades en las diferentes etapas en el proyecto de restauración, teniéndose programada la instalación de 70 pozos de extracción de vapores para agosto de 1995. Sin embargo, en el sector "Reforma", no se ha continuado con acciones de monitoreo ni mucho menos con procedimientos de restauración, teniéndose el problema de riesgo constante.

Se considerará que, en las dos áreas hicieron falta más perforaciones de investigación y pozos de monitoreo en los límites de las zonas establecidas con anterioridad para verificar la emigración tanto horizontal como vertical de hidrocarburos y evaluar el comportamiento estacional de los mantos freáticos.

5.- CONCLUSIONES

Bajo las condiciones y limitaciones en las cuales se llevo a cabo la investigación se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1.- Se ha cumplido con el objetivo inmediato, de dar a conocer un instrumento y la metodología de procedimientos de instalación y construcción que se han estado aplicando en el monitoreo y evaluación de los mantos freáticos en las áreas de la ciudad de Guadalajara donde han ocurrido derrames de hidrocarburos contaminando esta fuente de abastecimiento de agua para la población. Específicamente en el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna" con un derrame de DIESEL y en el proyecto: "Guadalajara-Coese" con un derrame de GASOLINA en el sector "Reforma", estableciendose características de causa y efecto para procedimientos viables de restauración. El objetivo a largo plazo, empezará a cumplirse cuando investigaciones como el presente trabajo despierte la inquietud de comprobación de los planteamientos hechos y se generé tecnología adecuada para casos similares.

2. Los pozos de monitoreo, hasta el momento en que concluyó la presente investigación; en los dos proyectos, han sido utilizados con el propósito de detectar: la profundidad de nivel y el grosor del manto freático; el grosor de la franja de hidrocarburos flotantes, la fase de absorción del contaminante en el acuífero y la dirección del flujo. Así como el tipo de suelo predominante en el área afectada.

Parámetros imprescindibles para llegar a:

A).- Estimar la extensión aproximada vertical y horizontal de la pluma de hidrocarburos.

B).- Estimar el origen potencial de los escapes y la dirección.

C).- Los posibles riesgos a la salud, medio ambiente y a las estructuras e implementar las medidas de seguridad requeridas para reducir los riesgos y responder a las emergencias.

D.- Identificar alternativas viables y procedimientos en el proceso de restauración.

3.- En la perforación de los pozos de monitoreo en los dos proyectos, se encontró tanto, el Diesel como, la Gasolina en la "fase libre" de absorción; en la cual el hidrocarburo contaminante se encuentra flotando en el espejo de agua, representando el 60% del derrame.

Siendo recuperable y reutilizable con poco procesamiento, por lo que se considera la etapa propicia para extraer el hidrocarburo en el agua.

4.- Existe un total hermetismo de parte de las autoridades del gobierno estatal y de las dependencias directamente vinculadas con el problema de contaminación del subsuelo y las aguas subterráneas de la ciudad. Argumentando desconocer la magnitud de dicha contaminación y el grado de peligrosidad.

En ocasiones negando que exista tal problema, poniendo como consecuencia, en peligro de alto riesgo las vidas humanas de los habitantes, las estructuras de edificios, transporte y al medio ambiente, ya que no se tiene contemplado un Plan de Salud y Seguridad donde indique que medidas aplicar en caso de accidente. Desconociéndose la opción más efectiva de respuesta a las emergencias.

6.-RECOMENDACIONES

De los resultados y conclusiones obtenidas en la investigación sobre los trabajos de instalación de pozos de monitoreo de mantos freáticos en la colonia "Moderna" y en el sector "Reforma" de Guadalajara, Jalisco, se desprenden las siguientes recomendaciones:

- 1.- Complementar la investigación.
- 2.- Prevenir y controlar futuros derrames de sustancias peligrosas.
- 3.- Motivar la inquietud por desarrollar trabajos de investigación relacionados con el uso racional de los recursos naturales y concientizar a los universitarios y sociedad en general a emprender acciones de conservación y protección al medio ambiente.
- 4.- Ofrecer una aportación de experiencias laborales que generen técnicas de construcción e instalación de pozos de monitoreo.

1.- Para complementar la presente investigación, se sugiere: Vigilar de cerca el proyecto: "Saneamiento de la colonia Moderna", hasta la culminación del objetivo final de la empresa "Allwaste", con un monitoreo constante de los mantos freáticos, para comprobar: El nivel de los mismos, la faja de hidrocarburos flotantes y la fase de absorción. Además de verificar la concentración en partes por millón (ppm) de hidrocarburos disueltos en el agua del acuífero en base a resultados en muestras de suelo y agua obtenidas del área afectada, por un laboratorio certificado ante las autoridades ambientales y acorde a la normatividad correspondiente.

2.- En los trabajos de investigación, de reconocimiento y protección al medio ambiente lo más difícil y costoso es la prevención y el control. Para prevenir y controlar futuros derrames de sustancias o residuos considerados como peligrosos por su toxicidad o riesgo a las estructuras, medio ambiente y salud humana, se sugiere:

Implementar un sistema de monitoreo con estaciones de vigilancia continua de la calidad del agua subterránea en cada sitio donde se instale una empresa que maneje productos peligrosos.

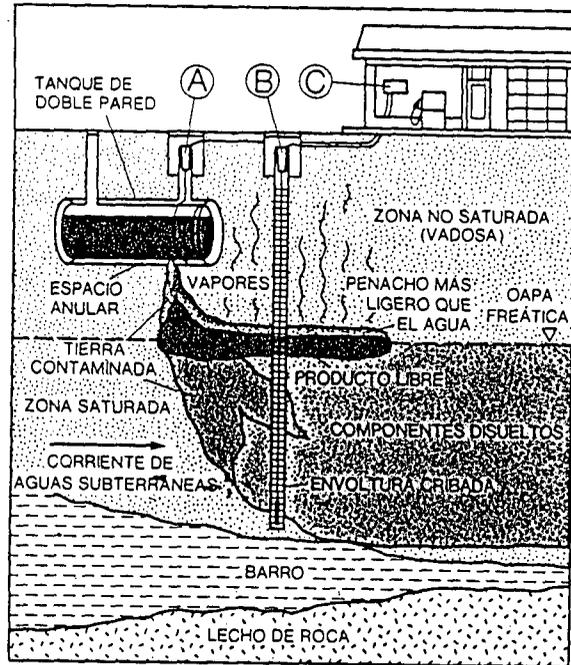
La perforación e instalación de un número adecuado estratégicamente de pozos de monitoreo, dependiendo de la pendiente y el flujo natural de las aguas subterráneas del lugar, se hará obligatoria para quienes quieran instalar una empresa de estas características o deseen obtener una franquicia de Petróleos Mexicanos (PEMEX) para vender combustibles.

Cada uno de los sitios de vigilancia o pozo de monitoreo estará conectado a un detector de fugas y estos a su vez conectados a estaciones remotas, según la figura No. 40 Y de esta manera actuar con rapidez y eficacia en caso de emergencia.

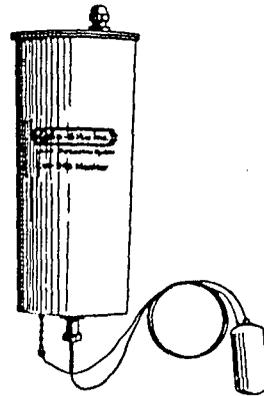
Como complemento al sistema puede incluirse una unidad móvil, que efectúe un barrido de datos periódico en los puntos de monitoreo. Esta unidad reportará a la central de vigilancia, la cual, determinará las medidas a tomar o acciones a seguir.

3.- El 70% del agua que utiliza la ciudad de México, D.F. y el 18% de la que utiliza Guadalajara es extraída de los mantos freáticos. Para garantizar un abasto suficiente y de calidad se sugiere:

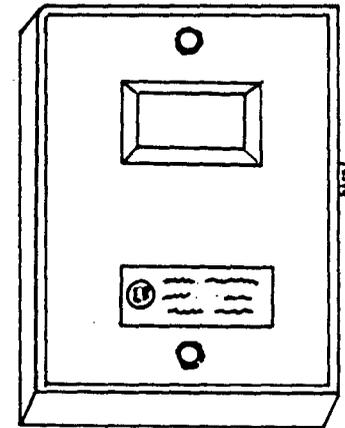
Un acercamiento más estrecho con universidades de EE. UU. para intercambiar experiencias y conocimientos en estudios hidrogeológicos y aprovechamiento racional del agua subterránea, especialmente de Texas y California. Así mismo, solicitar cooperación en materia ambiental a los gobiernos de los Estados Unidos de América y de Canadá en problemas de Evaluaciones Ambientales, Impacto Ambiental y Restauración del Equilibrio Ecológico de los Recursos Naturales que llegasen a contaminarse; bajo los lineamientos del Acuerdo de Cooperación Ambiental en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte.



- A. Monitor Intersticial
- B. Monitor de Pozo
- C. Estación Remota



A. Y B. MONITOR



C. ESTACION REMOTA

Fig. 40 Detectores de fugas en pozos de monitoreo y estaciones remotas.

En materia de prevención, control y restauración de la contaminación y los recursos naturales la Comunidad Económica Europea formada por: Bélgica, Dinamarca, Grecia, España, Francia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Los Países Bajos, Portugal, El Reino Unido y la República Federal Alemana; en los últimos años han venido formulando y aplicando programas de cooperación en problemas específicos en América Latina, desarrollando conjuntamente tecnologías y procedimientos especialmente en el tratamiento de aguas residuales, cultivos básicos, pesticidas ecológicos, contaminación atmosférica, conservación de flora y fauna en extensión, reservas naturales producción de combustibles no contaminantes y proyectos de restauración de recursos naturales contaminados; por lo que resulta de utilidad para México, comunidad científica, universitaria, empresarial y político-administrativa, estrechar relaciones de carácter científico y de intercambio académico.

4.- La experiencia de haber laborado e intervenido en diversos trabajos de investigaciones de Evaluación Ambiental de Sitio y de Perforación e Instalación de Pozos de Monitoreo de Mantos Freáticos en diferentes industrias y lugares del territorio nacional permiten sugerir maniobras y procedimientos que se pueden llevar a cabo con la finalidad de perfeccionar las técnicas de instalación y construcción de pozos de monitoreo y abaratar costos con la utilización de materiales del país y cierto tipo de insumos.

En cuanto a los materiales, para la instalación del pozo de monitoreo, construcción del empaque-filtro, tapón anular con bentonita y el relleno o sellado con mortero, se sugiere:

A).- La tubería tanto lisa como ranurada y el material de construcción de la tapa superior, el tapón inferior y los centralizadores pudiesen ser fabricados de PVC por industrias petroquímicas y de acero inoxidable por siderúrgicas.

B).- Respecto a las tapas de protección, el tipo monumento se pudiese fabricar por herreros en forma más funcional de mejor calidad y con un ahorro de aproximadamente del 60%.

El tipo registro a ras de suelo (alcantarilla) pudiese ser fabricado en fundidoras, de mejor calidad y con un ahorro del 50%. El tipo cajón o baúl, ha presentado problemas en zonas de poca circulación por su fragilidad y tipo de cerradura, además del alto costo.

C).- En substitución al método "Tremie", ha funcionado aceptablemente la utilización de tambos de 200 lts. con una mezcla preparada, utilizando Palas accionadas en forma manual como agitadores, con una proporción de 150 lts. de agua, un saco de cemento gris puzolanico de 50 kgs. y 10 kgs. de bentonita sódica en polvo. Dicha mezcla se bate en el tampo hasta obtenerse el estado coloidal de la lechada y posteriormente se vacía en el agujero entre las paredes de la perforación y la pared exterior de la tubería que forma el pozo de monitoreo, inclinando el tampo o utilizando cubetas. Lo anterior permite un ahorro considerable al suprimir la bomba a presión, tubería y mangueras, lograndose un taponamiento sólido pero flexible.

D).- Los materiales de construcción del empaque-filtro y del sello anular, arena de sílice y bentonita a granel respectivamente, importados de EE. UU. pudiesen ser substituidos por materiales extraídos en bancos-minas del país, como sucede con la arena de sílice que se vende en Guadalajara, en la colonia "Polanco" y la Bentonita a granel que vende "Anajalsa, S.A. de C.V." y que es extraída de Uruapan, Mich. Solamente sometiendose estos materiales a pruebas de laboratorio para verificar su calidad en el laboratorio de la Comisión Estatal de Ecología (Guadalajara, Jalisco) y el Laboratorio de Pruebas de la Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General de Normas (México, D.F.). Pruebas como: Granulometría, Composición Química Y Características Físico-Químicas. Obteniendose un ahorro aproximado del 60%

En una forma muy especial y emergente, se hace un llamado a la comunidad en general, tanto científica, universitaria, política y ciudadana para que se tome conciencia y exigir a las autoridades estatales y en su defecto federales, para que en una forma rápida y efectiva tomen medidas inmediatas con el problema de la gasolina presente en los mantos freáticos del sector "Reforma", específicamente en los alrededores del área siniestrada del 22 de abril de 1992, ya que hasta el momento de terminada esta investigación, julio de 1995 no se tenía noticia de trabajos de monitoreo, reconocimiento o evaluación, mucho menos de proyectos de restauración.

7.- LITERATURA CONSULTADA

- 1.- Aller, L., T.W. Bennett, G.Hackett, R.J. Petty, J.H. Lehr, Sedories, D.M. Nielsen
J.E. Denne. "Handbook of Suggested Practices for the Design and
Instalation of Ground-Water Monitoring Wells". Dublin, Ohio National
Water Well Association, 1989. 127 - 142 pp
- 2.- American Society for Testing and Materials. "Environmental Assessments for
Comercial Real State, E 1527-94 and E 1528-93". Philadelphia,
Pa., Second Edition, 1994. 60 p
- 3.- _____ Standar Guide for Pore-Liquid Sampling
From The Vadose Zone 1". Designation: D 4696-92. Philadelphia,
Pa., A.S.T.M. 1992. Vol. 04.08 806 - 836 pp
- 4.- Contreras, Luis. "Contaminación de Suelos por Hidrocarburos". Revista Teorema.
México, D. F. (No. 2) 1994. 60 p
- 5.- Chow, Pongtay Susana. " Petroquímica y Sociedad ". México, D. F. Fondo de
Cultura Económica, S.A. de C.V.(La Ciencia desde México No.39).
Primera Reimpresión, 1989. 190 p
- 6.- Del Toro, Navarro Aurelio. " Manual de Entrenamiento y Manejo de Materiales
Peligrosos de la Industria". Guadalajara, Jal. México. Universidad
de Guadalajara, Dirección de Vinculación, 1994. 499 p

- 7.- Esquivel, Raul. "Guadalajara, Jal.". Revista de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. X Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Morelia, noviembre de 1980. Tomo 1. 96 p
- 8.- Fair, G.M. Geyer, J. y Okun, D. A. "Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales". Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. México, D. F., Editorial Limusa, S.A. de C.V. Vol. 1. Sexta Reimpresión, 1990. 547 p
- 9.- Hacckett, G. "Driling and Constructing Monitoring Well With Hallow Stem Augers", Grounnd Water Monitoring Review, Winter. Dublin, Ohio, 1988.
60 - 68 p p
- 10.- Instituto Mexicano del Seguro Social. " Normas de Diseño e Ingeniería ". Mecánica de Suelos, México, D. F., (No. 6200) 1976. 81 pp
- 11.- Instituto Nacional de Estadística Geografía E Informática. "Jalisco, Perfil Sociodemográfico, XI Censo General de Población y Vivienda, 1990 ". Aguascalientes, Aqs. Mex. I.N.E.G.I. Primera Reimpresión, 1992. 129 p
- 12.- Nielsen, D.M. y R. Shalla. " Desing and Installation of Ground - Water Well ". Practical hanbook of Ground - Water Monitoring. D. M. Nielsen. Dublin, Ohio, Editor: National Water Well Association, 1991.
375 - 387 p p

- 13.- Parker, L.V. "Suggested Guidelines for Use of PTFE, PVC and Stainless Steel in Samplers and Well Cassings". Current Practices in Ground Water and Vadose Zone Investigations. Philadelphia, Pa., American Society for Testing and Materials, A.S.T.M. STP 1118. 1992.
235 - 330 p p
- 14.- Puig, De la Parra. " Geología Aplicada ". México, D. F. Universidad Nacional Autónoma de México, 1976. 363 p
- 15.- Riggs, C.O. y Hatheway, A.W. " Ground Water Monitoring Field Practice - And Overview ". Ground Water Contamination: Field Methods, A.S.T.M. Philadelphia, Pa., American Society for Testing and Materials, A.S.T.M. STP 963 1988. 121 - 126 p p
- 16.- Roji, Guía. "Ciudad de Guadalajara". Area Metropolitana. Guía Roji, S.A. de C.V. México, D.F. 1994. 41 p
- 17.- Scalf, M.R. McNabb, J.F. Dunlap, W.J. Cosby, R.L., y Fryberger, J.S. "Manual of Groun - Water Quality Sampling Procedures". Worthington, Ohio, National Water Well Association, 1981. 93 p
- 18.-Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Zona Metropolitana de Guadalajara. "Más y Mejor Agua para la Zona Metropolitana de Guadalajara " Guadalajara, Jal. Méx. S.I.A.P.A. Gerencia para Uso Eficiente del Agua, Tríptico de divulgación. 1994

19.- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C. " Exploración Geotécnica ".

México, D. F. S.M.M.S. A.C. 1986. 81 p

20.- U.S. Department of Transportation. Research and Special Programs Administration. "Office of Hazardous Materials Training and Initiatives (DHM-50)". Washington, D. C. (RSPA P 5800.6). 1993. 101 p

21.- U.S. Environmental Protection Agency. "RCRA Ground-Water Monitoring: Draft Technical Guidance". Washington, D.C. U.S. EPA/530-R-93-001.

1992 320 p

22.- _____ "RCRA Ground-Water Monitoring Technical Enforcement Guidance-Documents. Washington, D.C. Office of Solid Waste and Emergency Response, Oswe- 9950.1. 1986. 320 p

23.-Vidaña, Ulises. " La Recuperación de Un Suelo Contaminado con Gasolina ".

Revista Teorema. México, D. F. (No. 2) 1994. 58 p