



INSTITUTO NACIONAL de GEOLOGIA y MINERIA
SERVICIO de AGUAS SUBTERRANEAS

CONTAMINACION de AGUA SUBTERRANEA
CON GAS-OIL en LABOULAYE

METODOS PARA LA EXTRACCION
DEL MISMO

ALEJANDRO CROUSET
1965

Córdoba



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL



INTRODUCCION

El presente informe se debe a una solicitud de asesoramiento técnico presentado por el Departamento de Vías y Obras del Ferrocarril General San Martín ante el Servicio de Aguas Subterráneas del Instituto Nacional de Geología y Minería.

El problema planteado consistía en estudiar los mejores métodos para la eliminación de una lente de gas-oil que contamina a la capa freática de la ciudad de Laboulaye en la provincia de Córdoba. Esta contaminación ocasionó una serie de inconvenientes a la mayoría de los pobladores afincados en las cercanías de la estación y playa de maniobras del F.C.G.S.M., y fué notable después de períodos más o menos largos de sequía. Esto es debido al descenso del nivel freático, el cual se halla directamente vinculado a las precipitaciones locales.

Como la lente de gas-oil se halla depositada sobre la capa freática, el descenso de ésta, permite que el gas-oil se ponga en contacto con los filtros de los pozos, irrumpiendo durante el bombeo y ocasionando una serie de inconvenientes.

Es necesario remarcar que las aguas subterráneas de la región son altamente salinizadas, usándose exclusivamente en actividades domésticas como ser limpieza, y algunas veces para regar las calles de tierra y evitar que se levante polvo durante el verano. El agua para la bebida y la alimentación se almacena en aljibes cavados y revestidos y proviene de recolección de aguas de lluvia.

Las quejas de los pobladores debido a la intrusión de gas-oil dentro de las instalaciones domiciliarias particulares u oficiales (ver fot. 1), motivó la intervención de las autoridades municipales locales, quienes formularon el reclamo correspondiente ante la empresa ferroviaria quien a su vez solicitó la colaboración del Instituto mencionado para estudiar el problema y dar las soluciones más convenientes.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL



-2-

ANTECEDENTES

Personal técnico del ferrocarril realizó reconocimientos en mayo de 1964 determinando la extensión y potencia de la lente contaminante.

El "modus operandi" del personal del F.C.G.S.M., consistió en la realización de un reticulado en base a perforaciones de unas tres pulgadas de diámetro y de alrededor de 8,50 m. de profundidad, con la cual penetraba cerca de 2 m. dentro de la freática, y por lo tanto atravesaban la capa del gas-oil depositada sobre la superficie libre de la freática.

El ordenamiento de los sondeos, si bien tiende a un reticulado, no es perfecta debido a la disposición de las vías y demás instalaciones, tal como se puede observar en la planimetría adjunta.

El muestreo se realizó por medio de un aparato construido para el caso, que consiste en un tubo de vidrio con un pequeño peso de plomo y un tapón en la parte inferior, el cual es accionado desde la superficie por medio de un cordón que pasa por el interior del tubo (fig. 1).

Este tubo se introduce dentro del sondeo a muestrear con su extremo abierto, conocido previamente el nivel superior del gas-oil, el cual se mide con un silbato de Rang. Una vez que se bajó el tubo por debajo del nivel superior del gas-oil se extrae una muestra del espesor de gas-oil cerrando al extremo inferior. Los resultados que se obtienen son bastante satisfactorios, para lo cual el tubo debe tener un largo superior al espesor de la lente.

Con los valores obtenidos, los técnicos del F.C.G.S.M., confeccionaron un plano con curvas de igual espesor (isopacas), el cual permitió apreciar en parte el valor real del problema (Plano 1).



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

-3-

De esta manera se comprobó que la lente de forma ameboide abarcaba una extensión aproximada de unos 550 m. según el eje mayor 350 rumbo NW-SE, y 350 según el eje menor.

En mediciones posteriores se comprobó que la forma ameboide fué reemplazada por la de un cuadrilátero de aristas redondeadas.

En principio parecería que la extensión de la lente fué algo mayor, ya que el extremo SE de la misma llegaba hasta el mercado municipal, en cuyo tanque de agua se puede observar actualmente la marca del gas-oil (fotog. 1). La dispersión llegó también a la estación de servicio de Y.P.F., donde la explotación del agua subterránea es mucho más intensa.

La aparición del mismo no causó inconvenientes, sino que produjo una mejora momentánea debido al hecho particular que esta agua se utilizaba para el lavado de los chasis de los vehículos.

Igual hecho se observó en la casa de la Dra. Baigorria, en el otro extremo sur de la lente, pero parece que la cantidad de gas-oil fué en este caso mucho menor.

Cabe señalar que por las características poco comunes del problema, se tropezó con la falta de antecedentes, lo que demoró la solución del mismo por parte del personal técnico del F.C.G.S.M. y de este Instituto.



-4-

Características generales de la zona de Laboulaye

a) Geología:

El aspecto primordial de la región corresponde a una monotonía de relieve y vegetación; el primero, con una suave pendiente de tipo regional oeste - este la cual, entre las estaciones Curapaligüe y Rosales, distantes entre sí 45 Km., acumula una diferencia de nivel de 15 m, lo que da un valor general de pendiente para ese tramo igual a 3.10 - 4.

- b) Esta monotonía de relieve, se halla ligada a la uniformidad de procesos de depositación y erosión dentro de un ambiente geológico de gran desarrollo areal, como lo son los depósitos sedimentarios compuestos por arcillas, limos, y una pequeña parte de arena que forman la llanura chaco pampeana.

Para la finalidad del presente reconocimiento interesan los primeros metros de esta capa sedimentaria, que es donde se halla radicado el problema.

Estos se hallan formados por proporciones diferentes de limos, arcillas, y algo de arena muy fina, pudiendo presentarse estos materiales en forma de una sedimentita cementada por carbonato de calcio ("tosca").

La formación de esta "tosca" tuvo lugar en distintas épocas, por lo que aparece en varios niveles. El nivel superior se sitúa entre 0,50 a 1,00 m. de la superficie y otro a 5,00 de la misma. Este horizonte duro dificultó notablemente la excavación del pozo central.

La constitución del restante material, que forma el grueso de estos depósitos sedimentarios de edad cuaternaria, se halla constituido por material de arrastre de tipo eólico,



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-5-

en algunos casos de redepositación fluvial, sin canalización marcada.

Este sedimento, tiene como elemento distintivo una cierta cantidad de vidrio volcánico, (sílice coloidal) producto de actividad volcánica.

El resto del material se halla formado por pequeños granos de cuarzo, y una cierta cantidad de feldespatos potásico y plagioclasas ácidas, más una fracción arcillosa, producto de descomposición de parte de los mismos. Completan el cuadro, una mínima fracción de materiales pesados ó opacos. Todo este conjunto se presenta en forma de un material sin estratificar y propenso a formar paredes verticales. Además posee la propiedad de una mayor permeabilidad vertical que horizontal. Es muy común denominar a este sedimento con el nombre de "loess" si bien no corresponde su composición a la de los loess clásicos.

b) Hidrogeología:

Las condiciones hidrogeológicas de la zona, muy desfavorables para el desarrollo de la vida humana, son resumidas en la presencia de aguas subterráneas muy salinizadas, no existiendo acuíferos aptos para bebida humana, salvo pequeños depósitos naturales formados en los médanos.

La capa freática, si bien altamente salinizada, provee de agua para quehaceres domésticos y se extiende entre los 6 a los 25 m. de profundidad relativa. A veces se dice que existen dos ó más capas, pero lo que ocurre, es que la presencia de lentes de sedimentos consolidadas con carbonato de calcio les dá la apariencia de distintas capas. Los caudales que puede rendir la freática son muy elevados. En los Molinos del Rio de La Plata, existe un pozo de 8 metros de diámetro, que rinde aproximadamente entre 25.000 a 30.000 litros hora, con una depresión aproximada de 6 m.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

-6-

Es sobre ésta capa freática que se depositó la lente de gas-oil. La freática es el único acuífero explotable a bajo costo en la zona, aunque no se lo utiliza para bebida por exceso de salinización. Los restantes niveles acuíferos, igualmente salinizados, se hallan por debajo de los 180 metros, razón por la cual su explotación es antieconómica.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL



-7-

ESTUDIO Y COMPORTAMIENTO DE LA LENTE DE GAS-OIL

La realización de estudios en el lugar de la contaminación fué realizada en varias etapas. En todas ellas se debió reperforar gran parte de los sondeos, ya que los mismos se desmoronaban muy frecuentemente.

Una vez repasados los sondeos que podrían tener mayor importancia, se realizaron varias mediciones del espesor del gas-oil, las que fueron completadas con una nivelación referida al punto de la estación. Este trabajo se efectuó utilizando estaciones con distinta numeración de las correspondientes al informe original realizado por personal técnico del ferrocarril.

En base a los valores de espesor de gas-oil obtenidos en esta segunda etapa del estudio iniciado en diciembre de 1964, se confeccionó otro mapa con línea de igual potencia de gas-oil (fig. 3). Este mapa no difiere sustancialmente del primero, pero muestra un contorno más uniforme de la lente, y demuestra un cierto desplazamiento de ésta en dirección noroeste.

Es de hacer notar que si bien en las observaciones realizadas por este Instituto, aparentemente se detectaron espesores mayores de gas-oil, esto se puede deber al hecho de que originariamente el tubo sacamuestras de agua - gas-oil era muy corto (0,50 m.), y en la mayor parte de los casos no alcanzaba medir el espesor total de la lente contaminante. Por esta causa se reemplazó dicho sacamuestras por otro de 1,50 m. de largo, realizado en material polivinílico transparente el cual, por ser irrompible, aumentaba su practicidad.

Como durante el período de trabajo no se observó aumento en los espesores de gas-oil, se supone "a priori" que su pérdida fué eliminada.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-8-

Una vez muestreados los pozos, se decidió ensayar el comportamiento de la lente mediante el bombeo desde un pozo central de 2 metros de diámetro, esto último con el fin de permitir mayor afluencia de (complejo) gas-oil-agua. Es necesario destacar que en todos los casos el agua y el gas-oil se presentaban perfectamente bien diferenciados sin entrar en emulsión, salvo el caso de un bombeo muy intenso y en las fases finales de agotamiento.

A efectos de ese ensayo, se ubicó el pozo entre las vías 9 y 10 (Plano 3), por corresponder a una zona con espesores de flúido apreciables; y además por existir un espacio libre lo suficientemente amplio para la realización del pozo de bombeo y de los cuatro sondeos de observación Pozos Piezómetros (Plano 2).

Con respecto a la realización del pozo central con un diámetro grande, obedece al hecho de que a mayor radio, mayor caudal para este caso de flujo radial convergente. Esto se deduce de la fórmula de Dupuit, de la cual, en uno de sus pasos tenemos:

$Q = K \frac{H_2^2 - h_2^2}{\ln \frac{R}{r}}$, de ello se deduce que a mayor radio del pozo, R , mayor aporte de caudal dentro del mismo, siempre que exista una permeabilidad como para abastecer el caudal resultante.

En contra de todas las previsiones, este pozo central acusó un espesor muy bajo de gas-oil, alrededor de unos 5 cm.

Durante la realización de la excavación, a partir de los 4 m., se percibió olor a gas-oil, pero recién se pudo notar su presencia a los 6,50 m. cuando irrumpió conjuntamente con agua dentro del pozo.

En los cuatro pozos de observación (piezómetros), los valores de gas-oil difirieron notablemente con respecto al central, acercándose más a los observados en los otros sondeos de



exploración, pero aún por debajo de los valores que de acuerdo a las líneas equipotenciales de gas-oil deberían existir en ese punto.

De acuerdo a los valores tomados el 15/1/65, y dentro de una zona abarcada por la línea de más de 70 cm. de espesor de gas-oil, se obtuvo:

Sondeo N°	57	- S	- 0,67 m.	espesor gas-oil	Nivel	Freático	= 6.35
"	"	58	- E	- 0,69 m.	"	"	"
"	"	59	- N	- 0,75 m.	"	"	"
"	"	60	- O	- 0,27 m.	"	"	"

Repetidas las lecturas el 12/VII, se obtuvieron valores menores, debido posiblemente al descenso obtenido por bombeos durante el ensayo del equipo bombador

Sondeo N°	57	- S	- 0,56 m.	espesor gas-oil	Nivel	Freático	= 6.50 m
"	"	58	- E	- 0,47 m.	"	"	"
"	"	59	- N	- 0,50 m.	"	"	"
"	"	60	- O	- 0,32 m.	"	"	"

Los valores del nivel freático (NF), corresponden al nivel de la superficie de gas-oil, que oscila con la de la capa de agua.

Cabe consignar que unos días antes, realizando la prueba de la bomba, se extrajeron del pozo central 100 litros de gas-oil puro, el que se hallaba formando una película de unos 0,08 m. de espesor. Esta fué la mayor cantidad de gas-oil extraída de este pozo, el cual desgraciadamente quedó inutilizado para la extracción de gas-oil debido al exceso de extracción, lo que originó una invasión de agua en forma irreversible.

Esto fué en principio, una verdadera incógnita, pues los bajísimos valores de gas-oil que a partir de este momento se registraron en el pozo central, no concordaban con el espesor registrado en los pozos de observación (piezómetros) distribuidos en cruz a dos metros del mismo.



Una única explicación se le puede dar a este hecho: se trata simplemente de un caso de desalojo por mayor fuerza capilar del agua con respecto a la del gas-oil dentro de los poros situados en las paredes del pozo central.

Las causas que explica esto se puede reconocer aplicando las analogías de explotación de pozos petrolíferos con interfaces agua-petróleo.

Durante la realización de la excavación, cuando comenzó afluir agua y gas-oil, se procedió a su bombeo continuo, a fin de permitir al personal continuar con el trabajo, y lo mismo ocurrió cuando se trataba de instalar la bomba, ó sea que se procedió en sucesivas veces a agotar el pozo.

Debido a esto, se produjo un avance del agua en forma de cono inverso, al mismo tiempo que se producía el cono de depresión en la superficie libre de gas-oil. (Fig. 2).

Una vez que el agua ocupó posiciones alrededor de las paredes del pozo por su mayor fuerza capilar con respecto al gas-oil, fué practicamente imposible desalojarla de los espacios interporales, los que imposibilitó la afluencia del mismo. Esta es la explicación del inflar espesor de la película de gas-oil, la cual disminuía a medida que se insistía en agotar el pozo.

Durante estos ensayos de bombeo, los valores que se obtuvieron fueron los siguientes:

Bombeo efectuado desde el pozo Central

Pozos Piezómetros

Ensayo 12/VII/65

<u>Piezómetro N° 57</u>	N.F. - 6,50 - Espesor Gas-oil	0,56 m.
Bombeo.	N.F. - 6,75 - " "	0,31 m.
	<u>Pa. 16</u> - 0,25	0,25 m.
<u>Piezómetro N° 58</u>	N.F. - 6,50 - Espesor Gas-oil	0,47 m.
Bombeo.	N.F. - 6,80 - " "	0,37 m.
	<u>Pa. 16</u> - 0,30 m.	0,10 m.
<u>Piezómetro N° 59</u>	N.F. - 6,50 - Espesor Gas-oil	0,50 m.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL



-11-

Bombeo.	N.P. - 6,73	- Espesor Gas-oil	0,50 m.
	<u>Bajó</u> - 0,23	m.	0,00 m.
<u>Piezómetro N° 60</u>	N.P. - 6,30	- Espesor Gas-oil	0,32 m.
Bombeo.	N.P. - 6,40	" "	0,23 m.
	<u>Bajó</u> - 0,10	m.	0,09 m.

Duración del bombeo: 21 minutos con agotamiento total del pozo de gas-oil 0,02 m. (espesor)
 Espesor del agua 1,80 m.
 Régimen: 20.000 l/h
 N.P. Inicial Pozo Central = 6,60

Ensayo 14/VII/65

Piezómetro N° 57	N.P. - 6,50	Espesor gas-oil	0,48 m.
Bombeo	N.P. - 6,83	" "	0,17 m.
	<u>Bajó</u>	0,33 m	0,31 m
Piezómetro N° 58	N.P. - 6,50	Espesor gas-oil	0,43 m.
Bombeo	N.P. - 6,88	" "	0,31 m.
	<u>Bajó</u>	0,33 m.	0,12 m.
Piezómetro N° 59	N.P. - 6,45	Espesor gas-oil	0,47 m.
	N.P. - 6,80	" "	0,47 m.
	<u>Bajó</u>	0,35 m.	0,00 m.
Piezómetro N° 60	N.P. - 6,35	Espesor gas-oil	0,28 m.
Bombeo	N.P. - 6,42	" "	0,19 m.
	<u>Bajó</u>	0,07	0,09 m.

Duración del bombeo: 55 minutos a régimen reducido llegando a un agotamiento total, espesor de gas-oil en pozo central 0,007m.

Régimen: 12.000 l/h

NP inicial pozo Central = 6,60

A su vez, medidas las depresiones en sondeos de observación cercanos al pozo central, se obtuvieron éstos valores:

Nota: Los niveles freáticos medidos corresponden a la profundidad de la superficie libre del complejo gas-oil agua.

Pozos Playa Maniobras

12/VII/65 Régimen: 20.000 l/h.

<u>Sondeo N° 34</u>	N.P. - 6,50	Espesor gas-oil	0,60 m.
Bombeo	N.P. - 6,50	" "	0,60 m.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-12-

Pozos Playa Maniobras

<u>Sondeo N° 34</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	---
Bajó	-	-	
<u>Sondeo N° 23</u>	N.F.	Espeesor Gas-oil	0,73 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,70 m.
Bajó	0,06		0,03 m.
<u>Sondeo N° 20</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,27 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,20 m.
Bajó	0,17		0,07 m.
<u>Sondeo N° 39</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,00 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,00 m.
Subió	0,02		0,00 m.
<u>Sondeo N° 37</u>	N.F.	Espeesor Gas-oil	0,46 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,45 m.
Bajó	0,13		0,01 m.
<u>Sondeo N° 35</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,71 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,665 m.
Bajó	0,08	" "	0,045 m.
<u>Sondeo N° 51</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,60 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,60 m.
Bajó	0,00		0,00 m.

ENSAYO DEL 14/VII/65

Régimen 12.000

<u>Sondeo N° 34</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,55 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,55 m.
Bajó	0,00		0,00 m.
<u>Sondeo N° 23</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,67 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,67 m.
Bajó	0,00		0,00 m.
<u>Sondeo N° 20</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,23 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,21 m.
Bajó	0,05		0,02 m.
<u>Sondeo N° 39</u>	N.F.	Espeesor gas-oil	0,00 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,00 m.
Bajó	0,00		---
<u>Sondeo N° 37</u>	N.F.	Espeesor Gas-oil	0,42 m.
Bombeo	N.F.	" "	0,37 m.
Bajó	0,05		0,05 m.



SECRETARÍA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERÍA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-13-

<u>Sondeo N° 35</u>	N.P. - 6,15	Espesor gas-oil	6,66 m.
Bombeo	N.P. - 6,30	" "	0,62 m.
Bajó	0,15		0,04 m.

Estudio y Comport. lente gas-oil (cont.)

De acuerdo a estos resultados, y teniendo en cuenta que fueron consignados solamente dos ensayos de los cinco realizados, se observa que los espesores de gas-oil después de cada bombeo, se recuperan en los pozos de observación, y teniendo en cuenta que en los últimos ensayos prácticamente no salía gas-oil del pozo central, en cualquier forma que se bombeara, sea a un régimen máximo de 20.000 l/h. ó reduciendo a 12.000 l/h; se deduce que el gas-oil acompaña en su descenso a la capa freática quedando parte retenido en forma pelicular en los sedimentos finos que le sirven de reservorio, pero sin decanar dentro del sondeo central.

A medida que se aumentaba el ritmo de extracción, se producía la invasión de agua en forma de cono inverso desalojando al gas-oil de las paredes del pozo central en forma prácticamente irreversible (Fig. 2).

La observación de los resultados de los bombeos en los piezómetros, pag. 6 demuestra que en el segundo bombeo de menor caudal, pero de mayor duración, se obtuvieron depresiones de gas-oil mayores, como así también para el agua. Pero este hecho no tuvo repercusión práctica, debido que a pesar de parecer a primera vista que aumenta el flujo de gas-oil, debido a los datos consignados, en los tanques aforadores instalados a la salida del agua bombeada, prácticamente no se determinaron cantidades razonables de gas-oil. Lo máximo que se pudo obtener, fue una película de unos 2 mm. de espesor por cada 200 litros que se bombeaba, y en la postrimería del segundo ensayo, este



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-14-

valor bajó a 1 mm.

En cambio, en los sondeos distanciados, la diferencia de depresiones de gas-oil entre el primero y último ensayo consignados, fué prácticamente nula.

La anomalía que se observa en el sondeo N° 37 durante el primer bombeo, en el cual el nivel de gas-oil aumenta durante el ensayo de bombeo, fué asimismo detectada en el pozo piezométrico N° 59, (Norte) durante dos de los ensayos no consignados en este informe.

De la observación de la fig. 3, se deduce en base a la concentración de líneas izopiezas que los espesores de gas-oil pasan de los 0,45 m. a 0,00 m, en una distancia aproximada de 10 m. Eso significa la existencia de una barrera de material con poca permeabilidad, es decir menor a $K = 3 \cdot 10^{-3}$ cm/seg. que es el normal para la zona (se excluyen las lentes arcillosas y de calcáreo). Esta misma barrera origina anomalías en el desplazamiento de los líquidos en el subsuelo, una de las cuales registra el aumento de gas-oil durante el bombeo, pues posiblemente parte del flujo se indica subterráneamente.

Con respecto a la permeabilidad del terreno de la zona en relación con el agua y gas-oil, se realizó un ensayo para determinar el valor de la misma. Para eso, se efectuó un sondeo de un metro de profundidad y de 0,075 m de ϕ ., realizándose un ensayo a nivel constante del tipo Lefranc, aplicándose la fórmula: $K = \frac{Q}{F \cdot h \cdot \Delta t}$. Los valores obtenidos fueron los siguientes: para el agua, $K = 3 \cdot 10^{-3}$ cm/seg. y para el gas-oil $6 \cdot 10^{-3}$ cm/seg.

Este resultado permite deducir, que el flujo laminar dentro de las capas sedimentarias, a igualdad de condiciones, siempre va ser más lento para el gas-oil que para el agua, debido a su mayor viscosidad.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-15-

No hay que confundir este flujo laminar con el ascenso capilar que ya fué mencionado, pues si bien ambos favorecen en este caso al agua (mayor velocidad de transmisión y mayor tensión de ascenso capilar) el primero pertenece al grupo de los fenómenos dinámicos mientras que el segundo al de los fenómenos estáticos.

Todos estos resultados obtenidos responden exactamente a lo que ocurre en los pozos petrolíferos con agua, pero en escala mucho menor. En la bibliografía especializada se tratan éstos problemas ó similares; de ahí extraemos la siguiente conclusión: Para el caso de un pozo con agua y petróleo, ó gas-oil en nuestro caso, si entra agua con petróleo desde un principio de la explotación, será necesario extraer agua y petróleo sin interrupción, pues si se deja el pozo en reposo, el agua invadirá por ascenso capilar las paredes del mismo, desalojando al petróleo e impidiendo su posterior afluencia. (fig. 2).-

Como dato complementario se puede consignar que el valor del ascenso capilar para un sedimento cuyas partículas oscilan entre los 100 y 20 micrones, llega normalmente a los dos metros, y más aún en caso de una baja porosidad (mayor grado de compactación).-

El hecho arriba enunciado, concuerda perfectamente con el caso del bombeo del pozo central durante su ejecución. Una vez finalizada la misma, los sucesivos bombeos agravaron el panorama, con un desalojo casi total del gas-oil (Fig. 2).

Esto fué corroborado por otra excavación realizada a posteriori, con el fin de limpiar unos tanques que servían como depósitos de petróleo, cerca del edificio principal de la estación. Estos tanques fueron limpiados, y luego profundizados en una zona en donde corresponde un espesor entre 0,10 y 0,20 m. de gas-oil, pero que en la excavación de referencia dió un valor de 0,025 m. Esto se debe indudablemente a que durante la excavación



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL

-16-

se extrajo agua con gas-oil en cantidades importantes, ocurriendo exactamente lo mismo que con el pozo central.

En cambio en los sondeos distribuidos en la playa de maniobras y que fueron realizados en un diámetro aproximado de tres pulgadas, los espesores bastante elevados de gas-oil, según se puede observar en las planillas adjuntas como así en los planos N° 1 - 2, permiten pensar en la posibilidad de proceder a una extracción de los mismos.

Como durante el proceso de perforación de estos sondeos no hubo necesidad de proceder a bombearlos, el gas-oil al no ser desalojado por el agua tanto por capilaridad como por cono inverso, (Water conning) ocupó los niveles a los que se halla en la realidad depositado bajo tierra.

Volviendo al comportamiento del pozo central, se observó que durante los ensayos de bombeo, los cuatro pozos piezómetros recuperaban rápidamente el nivel de agua como el espesor de gas-oil, este último con un pequeño déficit después de cada bombeada, pero que con tiempo parece que lleva a cero el déficit, pues ya se había visto que casi no se extraía gas-oil del pozo central.

Como ejemplo se pueden citar los siguientes valores: Pozo piezometro N° 59 (norte) Día 15/VII/65. Espesor gas-oil 0,755 m. (a pesar de los ensayos de los días 12-13-14/VII, recuperó totalmente). El día 15 le fueron extraídos 6,5 litros de gas-oil a las 8,15 h. A las 17,30 h. recuperó 0,50 m. de su espesor.

Otra extracción de gas-oil fue realizada en el sondeo de observación N° 23, por medio de una bomba del tipo "sapo", que rindió 7,5 litros hasta empezar a entrar agua, con lo cual se suspendió inmediatamente la extracción.



-17-

Sobre un espesor inicial de 0,71 m. llevado a cero por extracción a las 11,30 horas, recuperó 0,63 m. para las 17 horas, ó sea casi el total de su valor inicial. Esto es muy importante para el caso de tener que extraer gas-oil de las perforaciones de pequeño diámetro, en vez de hacerlo desde pocos pozos mayores.

Conviene aclarar la anomalía que se observa en el sondeo 27 en el extremo este del área contaminada (plano 2).

En el mismo se consigna un espesor de 0,45 m. de gas-oil, lo cual a primera vista parece una contradicción, ya que los sondeos vecinos al mismo, como ser los Nros.: 26;28;30; y 6, no acusan contaminación.

Esto es debido ante todo, a la gran anisotropía del material del subsuelo, tal como se vió oportunamente, e inclusive como se deduce de los valores de los ensayos, y esto complicado posiblemente con la extracción intensiva de agua con gas-oil durante mucho tiempo por la empresa Nissatti para el lavado de coches para lo cual usaban gas-oil y agua salada extraída por medio de una bomba con sistema a diafragma. Este bombeo originó indudablemente un descenso de gas-oil en todo ese extremo del área contaminada, pero por existir zonas con valores de permeabilidad menor, éstas impiden mantener el caudal del flujo subterráneo, cortándose la continuidad de la lente contaminante.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
 INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
 Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
 CAPITAL FEDERAL



-18-

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de bombeo del pozo central, de los sondeos de observación, y el reconocimiento de los efectos en los mismos, y contando con el concurso de antecedentes de contaminaciones similares ó parecidas, se llega a conclusiones que permiten ensayar con posible éxito la extracción de la lente contaminante, ó cuando menos disminuir notoriamente sus efectos.

De lo visto se desprende que, un bombeo intensivo más desde un pozo central, no dará los resultados esperados por:

a) Intrusión de agua dentro del pozo por formación de cono invertido, y posterior desalojo de gas-oil de las paredes del mismo por mayor tensión de avance capilar del agua. b) Baja permeabilidad ó presencia de lentes sedimentarias de mayor consolidación, que originan condiciones de alta anisotropía dentro del terreno, que impedía un flujo normal hacia el pozo de bombeo. c) Imposibilidad de realizar pozos de extracción de gran diámetro, mayores de 0,50 m. en las zonas de gran espesor de gas-oil, debido a la presencia de vías e instalaciones ferroviarias.

Conviene señalar que en los casos en que la eliminación de hidrocarburos contaminantes de capas de agua fué realizada por medio de pozos de gran diámetro ó sanjas, estas fueron hechas cuando existía una dirección de flujo definida, con la cual se interceptaban grandes cantidades de agua, como así a las substancias contaminantes, que en el caso de los hidrocarburos siempre flotan sobre la superficie de la misma, siempre que no exista agitación artificial. En el caso de Laboulaye, se ha visto que la lente, una vez que fué localizado y neutralizado el aporte, la misma quedó prácticamente estable, con pequeñas variaciones dentro de la misma, pero sin una dirección de flujo de-



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°

CAPITAL FEDERAL

-19-

finida por lo menos a partir de la época en que se iniciaron los estudios.

En cambio, si se extraen pequeños caudales en forma paulatina y periódica de los sondeos dispersos en la playa de la estación, se obtendrá un drenaje (al exterior) del gas-oil que se halle en estado gravitacional, quedando retenido únicamente el que se halle adherido a los materiales formadores del suelo, el que con el tiempo, debido a factores como ser oscilación de capa freática, etc., podrá pasar gran parte del mismo al estado gravitacional y eliminado por lo tanto en forma de bombeo suave.

Además, otra ventaja del bombeo a través de sondeos ubicados en distintos lugares de la lente, se debe a la baja permeabilidad del suelo que dificulta la transmisión de los fluidos a cierta distancia.

Por lo tanto, se recomienda para una extracción racional y poco onerosa del gas-oil, el bombeo lento de cada uno de los sondeos de observación, colocando el extremo del caño chupador ó filtro, dentro del gas-oil, para obtenerlo puro, y ni bien aparece agua, suspender la extracción inmediatamente. Se calcula que de éste modo se obtendrán valores entre 8 a 3 litros de gas-oil puro, y se podrá repetir la extracción cada 24 hs. hasta observar un retardo ó disminución en el tiempo y valores de recuperación.

A tal efecto conviene hacer notar, que el proceso extractivo debe estar regulado por períodos crecientes de reposo. Eso es, que si los primeros días se deja descansar a los pozos 24 horas entre bombeo y bombeo para su recuperación, los siguientes bombeos podrán ir espaciados 48 horas, para seguir espaciando cada vez más, de acuerdo a como se produzca la recuperación del gas-oil en éstos pozos.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA
Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6º
CAPITAL FEDERAL

-20-

Para la realización de éstos bombeos, debido al mínimo caudal a extraer, se recomienda usar una bomba manual aspirante, de las denominadas comúnmente "Zapo" con capacidad máxima de unos 1.000 litros hora. Asimismo, podría emplearse una bomba del tipo reloj, pero se debe tener cuidado con respecto a la misma pues no siempre poseen suficiente poder aspirante, son primordialmente impelentes. Un detalle muy importante, es el de disponer como caño chupador de una manguera flexible. Esto facilita y acelera mucho la operación de armado e instalación de la bomba en cada sondeo, y teniendo en cuenta que ésta operación se debe realizar en unos diez sondeos se verá la economía de tiempo y trabajo. Además de esto, la manguera flexible permitirá graduar cada vez la altura exacta para que el extremo del caño chupador sea emplazado dentro de la capa de gas-oil, sin tener que cortar ni añadir caños, para evitar así la extracción de agua con todos los perjuicios que se han enumerado.

Finalmente, conviene controlar la presencia de gas-oil en la época de mayor ascenso freático, el cual puede aumentar aparentemente su volumen por lavado de los sedimentos recubiertos por el mismo en forma pelicular.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

-21-



Form. I.N.G.M. 2 - 64

ESTADO FINAL DE LOS SONDEOS EN JABULAYE AL
15/VII/1965

Sondeo N°	1	N.B.	--	Desmoronada	
"	"	2		"	"
"	"	3	N.F.	- 6,15	Espesor gas-oil 0,15 m.
"	"	4	--	--	Desmoronada
"	"	5	--	--	"
"	"	6	--	--	"
"	"	7	--	--	"
"	"	8	N.F.	- 6,80	Espesor gas-oil 0,00 m.
"	"	9	N.F.	- 6,80	" " 0,00 m.
"	"	10	N.F.	- 6,25	" " 0,42 m.
"	"	11	N.F.	- 6,15	" " 0,42 m.
"	"	12	N.F.	--	Desmoronada
"	"	13	N.F.	--	Desmoronada
"	"	14	N.F.	- 6,10	Espesor gas-oil 0,00 m.
"	"	15	N.F.	- 6,20	Espesor gas-oil 0,00 m.
"	"	16	--	--	Desmoronada
"	"	17	N.F.	- 6,20	Espesor gas-oil 0,26 m.
"	"	18	N.F.	- 6,40	" " 0,00 m.
"	"	19	N.F.	- 6,35	" " 0,00 m.
"	"	20	N.F.	- 6,45	" " 0,20 m.
"	"	21	N.F.	- 6,50	" " 0,35 m.
"	"	22	--	--	Desmoronada
"	"	23	N.F.	- 6,40	Espesor gas-oil 0,56 m.
"	"	24	N.F.	- 6,50	" " 0,49 m.
"	"	25	N.F.	- 6,50	" " 0,34 m.
"	"	26	N.F.	- 7,00	" " 0,00 m.
"	"	27	N.F.	- 6,60	" " 0,45 m.
"	"	28	N.F.	--	Desmoronada
"	"	29	N.F.	--	Desmoronada
"	"	30	N.F.	--	Desmoronada
"	"	31	N.F.	- 6,60	Espesor gas-oil 0,12 m.
"	"	32	N.F.	--	Desmoronada
"	"	33	N.F.	--	Desmoronada
"	"	34	N.F.	- 6,45	Espesor gas-oil 0,86 m.
"	"	35	N.F.	- 6,20	" " 0,68 m.
"	"	36	N.F.	--	Desmoronada
"	"	37	N.F.	- 6,30	Espesor gas-oil 0,40 m.
"	"	38	N.F.	- 6,25	" " 0,00 m.
"	"	39	N.F.	- 6,25	" " 0,00 m.
"	"	40	N.F.	- 6,25	" " 0,00 m.
"	"	41	N.F.	- 6,25	" " 0,00 m.
"	"	42	N.F.	- 6,25	" " 0,00 m.
"	"	43	N.F.	- 6,45	" " 0,00 m.



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA
INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

-22-



Sondeo N°	44	N.F. - 6,30	Espesor gas-oil	0,00 m.	
"	"	45 N.F. - 6,25	"	"	0,00 m.
"	"	46 N.F. - 6,29	"	"	0,00 m.
"	"	47 N.F. - - -	Desmoronada		
"	"	48 N.F. - 5,90	Espesor gas-oil	0,00 m.	
"	"	49 N.F. -	no se localizó		
"	"	50 N.F. - 5,20	Espesor gas-oil	0,00 m.	
"	"	51 N.F. - 5,30	"	"	0,56 m.
"	"	52 N.F. - 5,80	"	"	0,47 m.
"	"	53 N.F. - - -	Desmoronada		
"	"	54 N.F. - - -	"		
"	"	55 N.F. - - -	"		
"	"	56 N.F. - 6,40	Espesor gas-oil	0,00 m.	
"	"	57 N.F. - 6,50	"	"	0,47 m. Pozo Piezómetro
"	"	58 N.F. - 6,50	"	"	0,42 m. " "
"	"	59 N.F. - 6,48	"	"	0,45 m. " "
"	"	60 N.F. - 6,37	"	"	0,27 m. " "
"	"	61 N.F. - 6,60	"	"	0,002 m. Central.

NOTA: N.F. = Nivel Freático

La precedente lista ha sido confeccionada con el objeto de permitir un control para el caso que se decida extraer el gas-oil contaminante, para lo cual la misma podrá ser utilizada como referencia inicial para los resultados a obtener. Pero como los valores consignados pueden variar, especialmente en forma de un incremento del espesor del gas-oil, se debe volver a medir los sondeos antes de iniciar los ensayos.

El aumento en espesor mencionado, puede ocurrir debido a que estos valores han sido tomados al finalizar una serie de ensayos y bombeos, por lo cual es posible que no han tenido tiempo para una recuperación total.

Los valores del nivel freático han sido tomados desde boca pozo, ó sea son relativos, ya que no se trabajó con los valores de las estacas de cada uno de ellos por no ser necesaria una precisión tan elevada en la medición de los niveles freáticos totales (agua + gas - oil).-



SECRETARIA DE ESTADO DE INDUSTRIA Y MINERIA

INSTITUTO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA

Avda. JULIO A. ROCA 651 - PISO 6°
CAPITAL FEDERAL

BIBLIOGRAFIA - CONSULTADA

- Castany, Gilbert.**- Estude des eaux souterraines, 4a. Partie
(Ecoulement des eaux souterraines dans
les ouvrages de captage) B.R.G. y M.Paris
1960.
- Geraghty, James.**- Contaminación de aguas, por movimientos a
través de formaciones geológicas.
Traducido del Water Well Journal - marzo 1962
Luis Doliner - Servicio Aguas Subterráneas.
- Meinzer, Oscar E.**- Hydrology - McGraw-Hill - 1942 - Dover Pu-
blications, New York.
- Peters, Ernesto R.**-Apuntes de producción de Petróleo - Energía
Disponible en los Yacimientos - Boletín de
Informaciones Petroleras - marzo 1963.-
- Todd, David K.** .-Ground Water Hidrology - John Wiley & Sons
Inc, London.-

- - - - -

MUESTREADOR DE GAS-OIL



Fig. 1

INSTALACIÓN POZO CENTRAL Y COMPORTAMIENTO CAPA GAS-OIL (ESQUEMÁTICO)

