

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
DIRECCION DE RADIOISOTOPOS Y RADIACIONES

TECNICAS NUCLEARES EN LA RECUPERACION SECUNDARIA DE
PETROLEO. EL MEDANITO. COLONIA CATRIEL

PRIMERA EXPERIENCIA

Departamento de Aplicaciones Tecnológicas

Buenos Aires - Julio de 1978

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION
DIRECCION DE RADIOISOTOPOS Y RADIACIONES

TECNICAS NUCLEARES EN LA RECUPERACION SECUNDARIA DE
PETROLEO. EL MEDANITO. COLONIA CATRIEL

PRIMERA EXPERIENCIA

Departamento de Aplicaciones Tecnológicas

Buenos Aires - Julio de 1978

TECNICAS NUCLEARES EN LA RECUPERACION SECUNDARIA
DE PETROLEO. EL MEDANITO - COLONIA CATRIEL

1.0.0 ANTECEDENTES

Este estudio, destinado a determinar tiempos de residencia y otros parámetros hidrogeológicos en el yacimiento El Medanito, tiene vigencia en el marco del convenio (acuerdo nº 2) entre la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) y Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF).

En amplias áreas productoras de petróleo de nuestro país se realizan inyecciones de fluidos (generalmente agua) con el fin de mantener una elevada presión artificial y contribuir así a mantener los pozos en explotación con adecuados niveles de rentabilidad. Es, precisamente, para revertir la tendencia declinante en la producción de todo yacimiento y compatibilizar costos con beneficios, que se ejecuta la reactivación secundaria (o terciaria en algunos casos) con el fin de desplazar hacia los pozos de extracción el petróleo adherido a los sedimentos del reservorio, que por falta de presión o adecuada permeabilidad, no son extraídos durante la explotación primaria del yacimiento.

Por ser el petróleo un recurso no renovable, se requiere una lógica concepción en su explotación siendo preciso y conveniente disponer de racionales métodos para investigar o controlar los principales parámetros del proceso de recuperación secundaria.

2.0.0 DESCRIPCION DEL YACIMIENTO

En el yacimiento El Medanito cada pozo de inyección está rodeado por seis pozos de extracción. Esta regular distribución de pozos puede apreciarse en la figura 1. La primera experiencia con trazadores radiactivos ejecutóse en los pozos Nº 71 (inyección) y en los pozos de extracción Nº 69, 70, 100, 101, 72 y 116, éstos últimos dos pozos (72 y 116) estaban fuera de servicio en virtud de su bajo rendimiento en petróleo. En la figura 1, se aprecia una distribución en planta de los pozos de inyección y extracción del yacimiento El Medanito mientras que en la figura 2, se aprecia con más detalle el área involucrada en esta primera experiencia.

En el diagrama esquemático de la figura 3, por otra parte, se aprecia un corte de los estratos productivos y pozos de extracción e inyección.

La inyección de agua prevista durante todo el lapso de la experiencia, fué del orden de 150 m³ por día, mientras que en la práctica este valor se modificó de acuerdo a los requerimientos impuestos por el manejo del yacimiento.

Los volúmenes de extracción durante el lapso de la experiencia serán incorpora-

dos a este informe dejando prevista la diagramación de las Tablas I y II para su futura incorporación.

La inyección de material radiactivo se efectuó en el nivel correspondiente al reservorio denominado petrolífero (Fig. 3).

3.0.0 SELECCION DEL TRAZADOR RADIOACTIVO

Entre los cientos de isótopos existentes sólo unos pocos son aptos o están disponibles para ser usados como trazadores del agua; la selección del más eficiente es fácil cuando se trata de un problema de aguas superficiales con límites de tiempo y espacio más o menos predecibles; sin embargo, cuando se estudian aguas subterráneas, donde el medio suele ser ignorado o mal conocido, al igual que la dinámica de sus fluidos, la rigurosidad y atención que debe darse a la etapa de selección del trazador es mucho mayor.

El párrafo anterior es válido para acuíferos libres o confinados tornándose más complejo aún el planteo a efectuar en este caso, donde el agua es inyectada a presión (se crea una presión artificial que suponemos constante a lo largo de la experiencia) en el pozo de inyección y recuperada por bombeo en diversos pozos de producción conjuntamente con el petróleo, gas y agua del reservorio.

Por las razones mencionadas (a las que es necesario agregar la elevada temperatura y presión del reservorio y las interfases de los fluidos involucrados) no nos resulta posible predecir o plantear en forma teórica el comportamiento del agua de inyección en el reservorio en virtud de la carencia de información sobre el medio saturado donde se desplaza el agua de inyección.

Consideramos, por otra parte, que no cabe aplicar en este caso las leyes de régimen laminar (Darcy), turbulento o transición; valga esta introducción a la selección del trazador para exponer algunas de las dificultades encontradas en este análisis previo a la primera experiencia.

Las pérdidas de trazadores por absorción, intercambio, etc. son proporcionales al tiempo y superficie de contacto trazador-sedimentos; fijada luego la distancia que debe recorrer el trazador la velocidad del mismo en el acuífero será determinante del contacto antes mencionado. La velocidad es proporcional al gradiente hidráulico, permeabilidad y porosidad.

Las soluciones, sólidos o coloides que conforman los acuíferos o estratos permeables tienen capacidad para fijar o intercambiar los iones presentes en el agua (trazador, por ejemplo); dos tipos extremos de intercambio ocurren, la mayoría de las veces, simultáneamente: absorción física y/o absorción química.

La absorción física o química se verifica más intensamente en estratos que contienen arcillas, coloides, limos o sustancias orgánicas, (humus, por ejemplo), minerales zeolíticos o minerales férricos, etc.

Las arcillas y las materias orgánicas dan origen a coloides electro negativos que fijan particularmente los cationes: quedan pues, ya excluidos en la primera selección de trazadores aptos para recorrer largos trayectos en aguas subterráneas o permanecer lapsos prolongados en contacto con los acuíferos, los cationes.

Algunos aluminatos, en cambio, pueden formar coloides electro positivos y otros minerales dan origen a coloides anfóteros: cuando estos minerales abundan, el uso de aniones como trazadores puede resultar no aconsejable quedando reducidas las posibilidades de selección a formas no iónicas o trazadores naturales tales como el tritio. De acuerdo a la naturaleza de la arcilla, varía la capacidad de intercambio con los cationes: expresado en miliequivalentes por 100 g estaría comprendido entre los siguientes valores:

Caolinita	3 - 15 mE/100 g
Halloysita, 2 H ₂ O	5 - 10 "
Halloysita, 4 H ₂ O	40 - 50 "
Montmorillonita	80 - 150 "
Illita	10 - 40 "
Vermiculita	100 - 150 "
Llorita	10 - 40 "

El grado de fijación de los cationes depende además de la valencia de los mismos: en términos generales podemos decir que los bivalentes son más fijados o bien la unión es más enérgica que en el caso de los monovalentes.

En aquellos lugares donde abundan las materias orgánicas, tales como los estratos que contienen humus, turba, etc., la capacidad de intercambio también es grande.

Los coloides electronegativos que abundan en las arcillas y compuestos húmicos superficiales o poco profundos tienen una capacidad de retención muy elevada: 200 a 400 miliequivalentes cada 100 gramos.

La fijación de iones marcados con los estratos, depende particularmente de la naturaleza de estos últimos y de las condiciones físico-químicas imperantes en el medio (temperatura, presión, precipitación, etc.). Juega también un importante papel la concentración del trazador en el agua.

Los estratos compuestos por arena y gravas en general tienen baja capacidad de intercambio o absorción: lo mismo ocurre en los acuíferos calcáreos; en estos casos los cationes no son siempre desechables.

Otro de los factores que influyen considerablemente en la retención del trazador es la porosidad. Fijado el recorrido del nucleído a mayor porosidad menor velocidad y por consiguiente menor tiempo de contacto o posibilidad de intercambio. Independientemente del tiempo de contacto se ha podido comprobar, por otra parte, que, en arcillas de igual composición química pero distinta granulometría, la retención del trazador prácticamente no varía.

El intercambio de iones es además función de la concentración de éstos en el agua; la absorción relativa es, naturalmente, mayor cuando la solución es muy diluida. Por

esta razón es conveniente adicionar a la solución marcada, una considerable cantidad de portador.

4.0.0 BASES PARA LA ESTIMACION DE LA ACTIVIDAD UTILIZADA

4.1.0 TRITIO

En virtud del largo período de semidesintegración del tritio y la conveniencia de no alterar los niveles naturales de actividad en las aguas subterráneas y superficiales del yacimiento dejando intacta la potencial capacidad de "datación" que posee este radioisótopo ambiental, hemos calculado la actividad mínima a inyectar partiendo del tritio inyectado como agua tritiada en el reservorio "Petrólifera".

La actividad mínima del tritio a utilizar para la primera experiencia ha sido estimada teniendo en cuenta las consideraciones y supuestos que se exponen a continuación: La concentración de actividad a la salida del pozo, C_2 , deberá ser tal que medida por centelleo líquido (eficiencia del 30-35%) produzca 10^3 c/min en un volumen de medición de 1 ml (esto corresponde a una actividad de $0,1 \mu\text{Ci}$).

La relación de caudales y actividades entre pozo de inyección y un pozo cualquiera de extracción para inyección "continua" (no pulsante):

$$Kq C_1 = QC_2$$

Siendo K: factor de "repartición" de la actividad inyectado para $150 \text{ (m}^3/\text{día)}$ de agua y $30 \text{ (m}^3/\text{día)}$ de extracción diaria de petróleo (60% petróleo; 40% agua); q y Q los caudales de entrada y salida y C_1 y C_2 las respectivas concentraciones de actividad.

$$q: 0,02 \text{ m}^3/\text{h}; \quad Q: 0,5 \text{ m}^3/\text{h}; \quad C_2: 0,1 \mu\text{Ci/ml}$$

$$C_1 = \frac{150}{12} \cdot \frac{Q}{q} \cdot C_2$$

$$C_1 = \frac{150}{12} \cdot \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{h}}{0,02 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 0,1 \mu\text{Ci/ml} = 30 \mu\text{Ci/ml}$$

$$A = 0,6 \text{ Ci para 20 litros de agua tritiada inyectada durante 1 hora.}$$

4.2.0 CROMO-51

Para el caso de ^{51}Cr se considera que la actividad a medir con un detector de centelleo deberá ser alrededor de 10.000 c/min . Considerando una eficiencia de 30% y un volumen de medición de 1 l, resulta una concentración de $0,01 \mu\text{Ci/ml}$ teniendo en cuenta que sólo un 9% de los átomos que desintegran producen radiación gamma detectable.

También en este caso la inyección se realizó durante 1 hora con un caudal de $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$. Hay que considerar en el cálculo de C_1 , el decaimiento del ^{51}Cr cuyo período

de semidesintegración es de 28 días. Si la extracción de muestras dura aproximadamente dos meses, es decir, alrededor de dos períodos, habrá que afectar la expresión de la concentración de actividad de entrada con un factor 4.

$$C_1 = 4 \cdot \frac{150}{12} \cdot \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{h}}{0,02 \text{ m}^3/\text{h}} \cdot 0,01 \text{ } \mu\text{Ci/ml} \approx 15 \text{ } \mu\text{Ci/ml}$$

La inyección se efectuó con el doble de esta concentración empleándose 600 mCi de ^{51}Cr .

4.3.0 IODO-131

Un planteo similar para ^{131}I , considerando que tiene un período de semidesintegración de 8 días y que se miden casi el 100% de los átomos que desintegran da una concentración de actividad C_1 de:

$$C_1 = 100 \text{ } \mu\text{Ci/ml}$$

Se llegó a este valor considerando condiciones de medición iguales que para el ^{51}Cr y midiendo muestras extraídas durante aproximadamente 6 períodos del ^{131}I o sea 48 días.

La actividad utilizada en esta experiencia fué de 3 Ci, surgiendo del cálculo anterior una actividad mínima de 2 Ci.

4.4.0 RESULTADOS

Los resultados obtenidos experimentalmente pueden no haber sido coincidentes con lo esperado, dado que la concentración de actividad de salida resultó inferior a la calculada a tal punto que no pudo diferenciarse del fondo natural.

Las causas probables por las cuales no concordarían los resultados prácticos con los teóricos pueden ser las siguientes:

1. - Que la adsorción o intercambio iónico del medio sea mayor que la esperada y por lo tanto llegue menos actividad a los pozos de extracción.
2. - Que contribuya significativamente el agua de la formación al caudal de extracción de agua disminuyendo así la actividad específica a medir.
3. - Que el tratamiento dado al problema correspondiente a una inyección continua sea incorrecto por ser el tiempo de inyección muy corto con respecto a los parámetros propios del sistema en estudio o a la función de transferencia.

Por lo tanto, se propone efectuar una segunda experiencia con una extracción de muestras subordinada a una nueva programación y un aumento de las actividades a utilizar para alcanzar a conocer la función de transferencia del sistema. Para ello se efectuaría una inyección más prolongada de modo que pueda considerarse continua respecto a la función de salida y se adoptaría un margen de seguridad mayor aumentando la actividad de los trazadores radiactivos en la futura experiencia.

5.0.0 DESCRIPCION DE LA PRIMERA EXPERIENCIA

5.1.0 INYECCION DEL TRAZADOR RADIOACTIVO

En la perforación No 71 se efectuaron las inyecciones de los tres trazadores radiactivos. Se reseñan a continuación las principales características de esta etapa:

Tritio (T):

Forma química: HTO; Volumen inyectado: 20 litros.

Día de inyección: 15/IX/77. Hora de inyección: 14.40.

Lapso de inyección: 1 hora.

Procedencia: Importación

Actividad inyectada al 12/VII/77: 1 Ci.

Cromo 51 (^{51}Cr):

Forma química: EDTA.

Día de inyección: 10/IX/77. Hora de inyección: 12.40.

Lapso de inyección: 1 hora. Volumen inyectado: 20 litros.

Procedencia: Producción, RA-3, CNEA.

Actividad al 10/IX/77: 600 mCi

Iodo 131 (^{131}I):

Forma química: INa.

Día de inyección: 10/IX/77. Hora de inyección: 12.40.

Lapso de inyección: 1 hora.

Procedencia: Producción, RA-3, CNEA.

Actividad al 5/IX/77: 3 Ci.

Para efectuar esta inyección se utilizó una bomba electromagnética (propiedad de YPF) de dos vías, regulable y portable; apta para levantar presiones superiores a las reinantes en las cañerías (Fig.4).

Se considera que la inyección se efectuó de acuerdo a lo previsto sin que puedan mencionarse inconvenientes significativos.

5.2.0 EXTRACCION DE MUESTRAS.

Se realizaron extracciones entre los días 10 de setiembre y 12 de octubre de 1977. Durante los primeros diecinueve días fueron tomadas dos muestras diarias de cada pozo, mientras que en los restantes se extrajo una muestra por día y por pozo.

5.3.0 MEDICION DE LA ACTIVIDAD EN LAS MUESTRAS

5.3.1 De agua.

En los laboratorios de YPF se procesaron las muestras y se separó el agua del petróleo por procedimientos químicos y físicos. En el mismo laboratorio se procedió a medir la actividad de ^{131}I y ^{51}Cr utilizando un detector de INa(Tl) de 2" x 2" asociado a un multicanal Packard de 200 canales.

Esta medición tenía como finalidad orientar la secuencia y frecuencia en la extracción de muestras, alterando el plan prefijado si así lo aconsejaban los resultados u otras circunstancias. Como no fué detectada en ningún momento la presencia de ^{131}I y ^{51}Cr , esta programación se cumplió tal como fué propuesta al inicial la experiencia.

El dotar de una unidad de medición de radiación gamma al laboratorio de YPF tenía además la finalidad de formar a los profesionales y técnicos de esa institución para que luego pudiesen ellos mismos operar el equipo y efectuar las mediciones de actividad "in situ".

En los laboratorios de la CNEA se midieron las muestras de agua utilizando el siguiente instrumental y técnica:

Para ^{131}I y ^{51}Cr (volumen medido: 1 litro):

Cristal de INa(Tl) 4" x 4" asociado a multicanal Northern NS-900; 1024 canales.

Detector Ge(Li) 85 cm^3 Nuclear Diodes asociado al multicanal antes mencionado.

Para T (volumen medido: aproximadamente 1 ml):

Sin enriquecimiento (el total de las muestras de agua) la medición se efectuó en un contador de centelleo líquido Packard.

Con enriquecimiento (se midieron 10 muestras) en celdas de electrólisis y un factor de enriquecimiento del orden de 16 (en volumen). La medición de actividad se realizó utilizando el contador de centelleo líquido antes mencionado.

En todas las mediciones efectuadas no se encontraron cantidades significativas de ningún trazador radiactivo.

5.3.2 De petróleo.

Se intentó, con resultados negativos, comprobar si existía ^{131}I y ^{51}Cr en algunas muestras de petróleo midiendo con el instrumental mencionado en 5.3.1 e igual volumen y geometría.

Para futuras experiencias esperamos contar con una técnica que nos permita detectar y medir tritio en petróleo.

6.0.0 CONCLUSIONES

Dado que el análisis de las muestras indicó la inexistencia de trazadores radiactivos en los mismos, los resultados obtenidos pueden calificarse de inciertos. En efecto, pueden darse dos posibilidades: o bien el sistema de recuperación secundaria funciona perfectamente, sin canalizaciones preferenciales y con tiempo de residencia del agua considerablemente grande (mayor que el lapso de experimentación); o bien no se detectó el material radiactivo por alguna de las razones expuestas en el punto 4.0.0.

Según lo expresado en dicho punto, es de interés de la CNEA continuar con las experiencias iniciadas empleando ^{51}Cr y ^3H como trazadores del agua de inyección en la misma batería de pozos donde se ejecutó este primer ensayo. Un racional incremento de la actividad a utilizar y algunas alteraciones en la programación y medición de las muestras a procesar nos permitirían eliminar la incertidumbre que surge del primer ensayo.

En caso de que las autoridades de YPF opinen en forma coincidente con lo expresado, este Departamento se encuentra dispuesto para realizar una nueva serie de experiencias contando la próxima campaña (una inyección de ^{51}Cr y T, simultáneamente) con adecuada financiación, sin mediar erogaciones suplementarias para YPF. -

TABLA I *

VOLUMENES DE EXTRACCION (AGUA-PETROLEO-GAS) EN EL
AREA INVOLUCRADA POR LA EXPERIENCIA

Perforación No	Tipo de bombeo*	Extracción media total (m ³)	Porcentaje de agua (%)	Porcentaje de gas (%)
100				
70				
69				
101				

* En las perforaciones con bombeo hidráulico debe descartarse al petróleo extraído el petróleo inyectado.

TABLA II

VOLUMENES PROMEDIO DE EXTRACCION (DURANTE EL LAPSO DE LA
EXPERIENCIA) EN EL YACIMIENTO EL MEDANITO

No. de perforaciones en producción

Volumen promedio diario total (m³/día pozo)

Volumen promedio diario de petróleo (m³/día pozo)

Volumen promedio diario de agua (m³/día pozo)

Volumen promedio diario de gas (m³/día pozo)

No. de pozos de inyección en actividad

Volumen promedio de inyección de agua (m³/día pozo)

* Estas Tablas serán completadas en Colonia Catriel y analizadas en conjunto por profesionales de YPF y la CNEA.

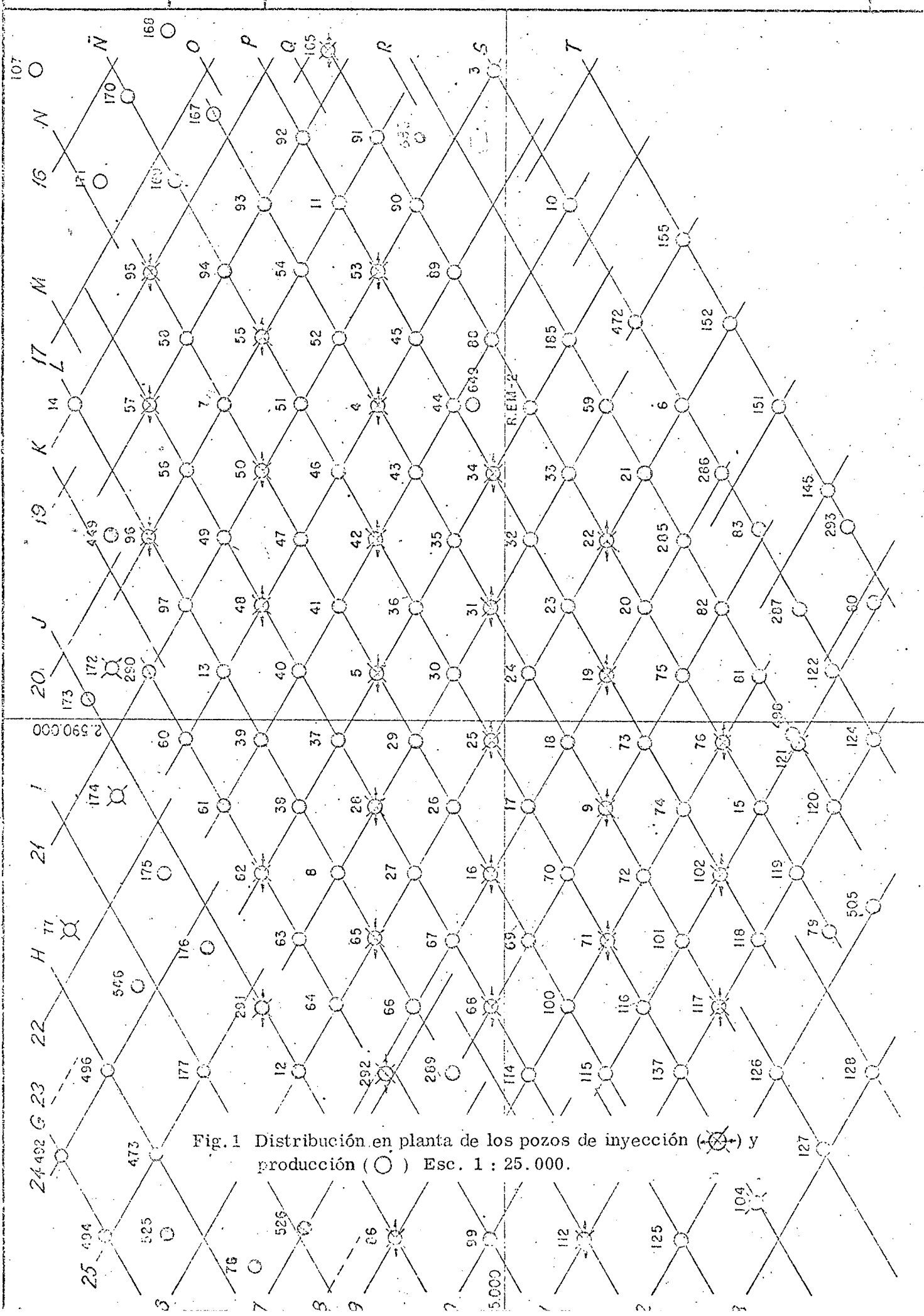


Fig. 1 Distribución en planta de los pozos de inyección (⊗) y producción (○) Esc. 1 : 25.000.

FOCAL A 1:25 000
P. 1.0712

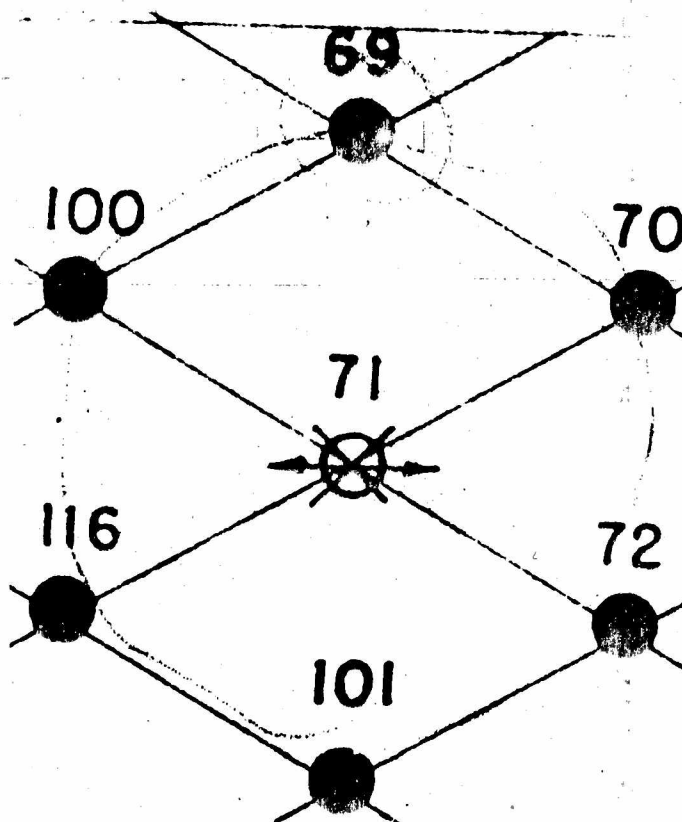


Fig. 2 Detalle en planta de la zona involucrada por la primera experiencia.

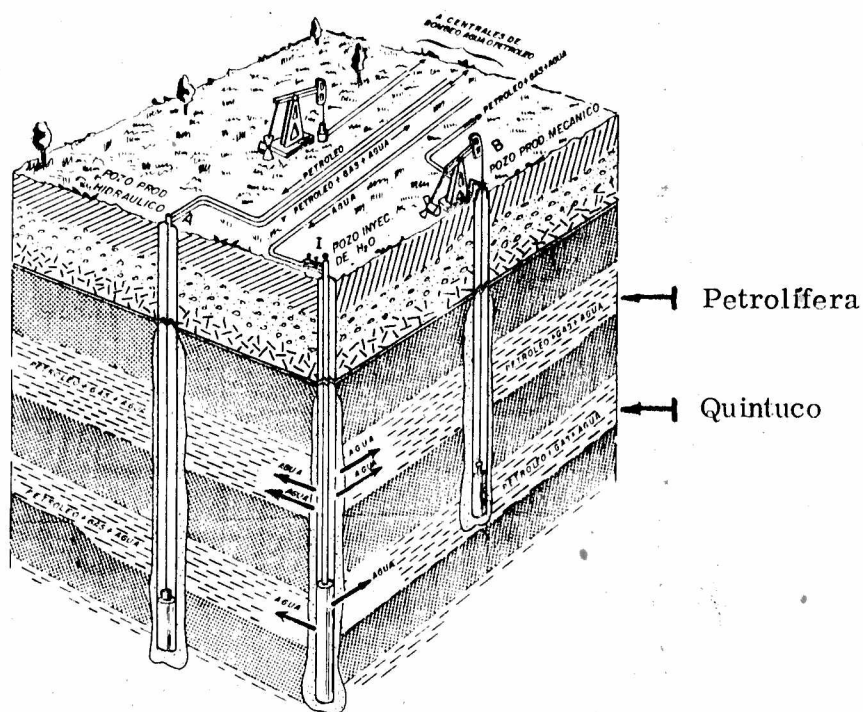


Fig. 3 Perspectiva y corte esquemático del yacimiento to El Medanito.

Instalación y válvulas de control en pozos de inyección de agua.



Recipiente para dilución del trazador radiactivo.

Mangueras para inyectar el trazador radiactivo



Bomba doble inyección

Fig.4 Vistas del pozo No.71 durante la inyección de los trazadores radiactivos.