



# ESTUDIO DE TRANSFERENCIA ENTRE POZOS PETROLIFEROS

**YACIMIENTO ZX**

**Inyección de tritio en el pozo ZX-115**

**INFORME FINAL**

Mayo 2001



# INTRODUCCION



# INTRODUCCION GENERAL

## Trazadores

Un trazador es una sustancia que, incorporada a un proceso natural o artificial, permite estudiar la evolución y dinámica del mismo a través del seguimiento de su propio comportamiento.

Ejemplos de trazadores son sólidos en suspensión, colorantes, sales y radioisótopos. La principal ventaja de éstos es la posibilidad de localizarlos por medio de las radiaciones que emiten.

Un trazador, cualquiera sea su naturaleza, debe cumplir con el requisito fundamental de seguir fielmente al medio marcado.

## Radioisótopos

El núcleo atómico está constituido por dos tipos de partículas : *protones* y *neutrones*. La cantidad de protones es llamada *número atómico* y es determinante del comportamiento químico del elemento al que el átomo pertenece, mientras que la suma de ambos tipos de partículas se denomina *número de masa*. Existen átomos con igual número atómico y distinto número de masa, son llamados *isótopos* del elemento en cuestión.

Para ciertos valores de los números atómico y de masa los núcleos son estables, es decir que en función del tiempo, no sufren alteraciones de no mediar alguna acción externa. Cuando la cantidad de neutrones en un núcleo es mayor o menor que la correspondiente al estado estable, el núcleo trata de lograr la estabilidad a través de la emisión de partículas *alfa* o *beta*. A este proceso se lo denomina desintegración radiactiva y puede ir acompañado de emisión de radiación electromagnética de origen nuclear, es decir radiación *gamma*.

La velocidad con la que una sustancia radiactiva desintegra es proporcional a su masa y se llama *actividad*, siendo su unidad de medición el *Becquerel* que equivale a una desintegración por segundo (1 Bq = 1 d / s). En la práctica suele utilizarse otra unidad más antigua, llamada *Curio* (1 Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq = 37 GBq). El tiempo que demora una masa dada de un radioisótopo en reducirse a la mitad por efecto de la desintegración radiactiva se denomina *período de semidesintegración* y se mide en unidades de tiempo.

## Tritio

El hidrógeno natural está constituido en un 99,985% por un isótopo ( $^1\text{H}$ ) caracterizado por poseer un único protón en su núcleo mientras que la fracción restante está integrada por otro isótopo ( $^2\text{H}$ ) llamado *deuterio* cuyo núcleo posee un protón y un neutrón. Ambos son estables.

Por medio de ciertas reacciones nucleares es factible producir un tercer isótopo del hidrógeno ( $^3\text{H}$ ) conocido como *tritio* con un protón y dos neutrones en su núcleo atómico. En este caso el exceso de neutrones hace que dicho núcleo sea inestable y que, entonces, busque la estabilidad a través de la emisión de una partícula beta para transformarse en un isótopo del helio. La desintegración radiactiva del tritio no produce emisión de radiación gamma por lo que resulta muy sencillo su blindaje.

## Medición de tritio

La particularidad de este radionucleido de ser un emisor beta puro de baja energía hace que su medición con alta eficiencia sólo sea posible en laboratorio mediante la técnica conocida como centelleo líquido.

Las muestras de agua tritiada se limpian, filtran y fraccionan en volúmenes del orden de los 8 a 10 ml. Luego se mezclan con una sustancia denominada "cóctel centelleador" que se caracteriza por la propiedad de emitir fotones luminosos cuando las partículas beta provenientes de la desintegración del tritio interactúan con sus átomos. Los fotones son detectados por válvulas fotomultiplicadoras que entregan pulsos con amplitud proporcional a la energía de la partícula y frecuencia proporcional a la actividad presente en la muestra. Estos pulsos son procesados y contados por la unidad electrónica.



La respuesta es expresada en pulsos o "cuentas" por unidad de tiempo (c.p.m. = cuentas por minuto), o bien si se considera la eficiencia del sistema de medición, directamente en desintegraciones por unidad de tiempo (d.p.m. = desintegraciones por minuto).

Cuando se efectúan experiencias con tritio suele utilizarse una unidad de concentración que expresa la actividad de este radionucleído por unidad de volumen. Una *unidad de tritio* (U.T.) equivale a una concentración de un átomo de tritio por cada  $10^{18}$  átomos de hidrógeno común ( $^1\text{H}$ ) o, lo que es lo mismo,  $1 \text{ U.T.} = 0,118 \text{ Bq/l.}$



## ESTUDIOS EN YACIMIENTOS

El empleo de trazadores brinda una información de inestimable valor respecto al comportamiento dinámico del agua de inyección y del petróleo recuperado en yacimientos que operan bajo asistencia hídrica. La información que surge de su aplicación no puede ser obtenida por medio de ninguna otra técnica por lo que constituyen la mejor opción cuando se trata de valorar fenómenos tales como la influencia ejercida sobre la recuperación de hidrocarburos por el cierre o habilitación de nuevos pozos, alteración del régimen extracción, existencia de heterogeneidades en roca reservorio o comunicaciones verticales entre estratos.

La operación consiste en la incorporación al pozo, en forma conjunta con el agua de inyección, de una solución acuosa en la que se encuentra el trazador en una forma química apropiada. Una planificada y ordenada extracción de muestras en los pozos productores posibilita la generación gráficos representativos de las curvas de respuesta o transferencia.

Los resultados obtenidos a partir de dichas curvas permiten efectuar el cálculo de los tiempos de tránsito entre inyector y productores y del factor de reparto de agua de inyección entre los distintos pozos como así también determinar canalizaciones preferenciales, barreras geológicas y la existencia de múltiples estratos dentro de una única capa. Asimismo, resultan una herramienta de gran utilidad para ajuste y validación de modelos matemáticos.

En el caso particular de yacimientos ubicados mar adentro, donde se manejan grandes caudales de agua para abastecer un limitado número de pozos, la información suministrada por un único estudio, aplicada al conjunto del reservorio, puede ser relevante para el futuro régimen de explotación del yacimiento

Dentro de este contexto, resulta especialmente ventajoso el empleo trazadores radioisotópicos siendo, entre ellos, el tritio el de más amplia utilización a nivel mundial en razón de las ventajas siguientes :

- posibilidad de marcar grandes volúmenes del medio con una pequeña masa de trazador (esta propiedad es común a cualquier radioisótopo);
- ser un emisor beta puro de baja energía, lo que hace innecesario el empleo de grandes blindajes y prácticamente nulo el riesgo de irradiación;
- facilidad para ser medido con gran sensibilidad, lo que permite su detección en concentraciones súmamente bajas;
- comportamiento ideal por tratarse de un isótopo del hidrógeno y, en consecuencia, formar parte de la molécula de agua.

Otros trazadores, emisores gamma en este caso, que también pueden ser empleados son :  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{46}\text{Sc}$  e  $^{131}\text{I}$ ; sin embargo ninguno de ellos se comporta como trazador ideal.

### Inyección

Se han propuesto diversas técnicas destinadas a la incorporación del trazador a la capa en estudio. En todos los casos debe asegurarse que la inyección se efectúe en forma instantánea, condición que se cumple cuando el tiempo que demora el trazador en ingresar es despreciable comparado con su tiempo de tránsito entre pozos.

El empleo de una bomba dosificadora es una de las posibles alternativas para lograr una correcta inyección. La bomba se alimenta de un recipiente en el que se encuentra la solución marcadora acoplándose su salida al caudal principal de inyección de agua de formación.

Otra alternativa consiste en tomar una derivación del caudal normal de inyección y hacerla pasar por el recipiente que almacena el trazador. Accionando válvulas adecuadamente dispuestas se logra arrastrar el fluido en forma efectiva.

Asimismo, puede utilizarse alguna herramienta especial de inyección que permita cargar el trazador en superficie y luego ser llevada hasta el nivel de inyección para luego ser accionada en forma remota. Por supuesto que en este así como en los casos anteriores, la capa a estudiar debe encontrarse aislada de las restantes.



## Muestreo

El muestreo es una operación simple que normalmente la realiza el personal del yacimiento sin ninguna dificultad. Es importante rotular los frascos que almacenan las muestras con algún medio indeleble, escribiendo sobre ellos una referencia alfanumérica fácilmente identificable. Cada envío de muestras debe acompañarse de una planilla que indique el número de pozo al que pertenece cada una de ellas y la fecha de extracción. Cuando se toma más de una muestra diaria debe indicarse también la hora.

El plan de muestreo debe comprender una alta frecuencia de toma de muestras durante los días inmediatamente posteriores a la inyección, para luego ir disminuyendo el ritmo a medida que transcurre el tiempo. Dos muestras diarias los primeros dos o tres días, una por día la semana siguiente y así sucesivamente hasta llegar a una muestra semanal cuando hayan pasado algunos meses, suele ser un plan racional.

El motivo de la alta frecuencia inicial es la posibilidad de presencia de una canalización a través de la cual el trazador emerja en el pozo productor muy rápidamente antes de haberse dispersado longitudinalmente produciendo en respuesta corta pero de gran amplitud que sólo es posible reconstituir si tiene un número suficiente de muestras.

Debe recordarse que antes de la inyección es necesario extraer una muestra de cada productor a los efectos de poder efectuar mediciones *de fondo*, como se verá en el próximo punto.

## Medición y corrección de resultados

La medición de tritio se efectúa como ya se explicó mediante la técnica de centelleo líquido, mientras que si se emplean otros radiotrazadores emisores gamma deben utilizarse otro tipo de detectores.

En cualquier caso, la lectura entregada por el instrumento corresponde a un valor de *actividad bruta* expresada en cualquiera de las unidades mencionadas o, mejor aún, como concentración de actividad, como se mencionó anteriormente. Para transformarla en *actividad neta* es necesario restar el fondo de radiación natural existente en cualquier parte del mundo y en cualquier muestra.

En caso de una respuesta inmediata, el fondo se obtiene a partir de la medición de la muestra extraída antes de la inyección. Sin embargo, si el trazador demora en aparecer puede obtenerse un valor más representativo del fondo calculando la media aritmética de las primeras mediciones, teniendo en cuenta que cuantos más puntos se tomen menor será su desviación estándar.

Al respecto, cabe aclarar que la desintegración radiactiva es un fenómeno estadístico que responde a la distribución binomial y que puede ser aproximado por las funciones de distribución de Poisson y de Gauss. Aplicando esta última, puede considerarse que la totalidad de los valores de una serie de mediciones está comprendida en un intervalo de cinco desviaciones estándar centrado en el valor medio. Por lo tanto, para poder asegurar que dos mediciones pertenecen a distintas poblaciones, las mismas deberían diferir entre sí en cinco desvíos como mínimo.

Ese criterio se utiliza también para determinar si una muestra de baja actividad es realmente activa o si se está midiendo un valor perteneciente a la banda de fluctuaciones estadísticas del fondo natural. Es decir que una muestra contendría restos de trazador cuando se diferencie del fondo en más de cinco desviaciones. De aquí se derivan los conceptos de límite de detección y de concentración mínima detectable. Si se desea trabajar cuantitativamente con los resultados de esas mediciones, es mejor adoptar un criterio más seguro y definir como concentración mínima medible a aquella cuya lectura de actividad se diferencia de la correspondiente al fondo en diez o más desviaciones estándar.

Otra consecuencia de las variaciones estadísticas es la dificultad de establecer funciones de ajuste debido a la dispersión de los datos originales. A efectos de suavizar algo las curvas de respuesta, puede aplicarse a los valores de actividad o concentración neta, algún procedimiento de alisado, por ejemplo el remplazo de cada valor por el promedio de los cuatro anteriores.

Por último, para poder comparar mediciones pertenecientes a muestras extraídas en distintos días se requiere corregir los resultados por decaimiento radiactivo. Si bien el período del tritio es lo suficientemente largo como para que sean innecesarias las correcciones cuando las diferencias son de algunos días, en el



caso de que el muestreo se prolongue durante meses es conveniente efectuar esta corrección que implica una modificación en los datos de 0,46% mensual.

## **Curvas de respuesta**

La respuesta de cada pozo está constituida por la representación gráfica de la concentración de actividad neta, corregida por decaimiento, en función del tiempo. Los datos originales pueden ser sometidos a un procedimiento de alisado.

También resulta importante el trazado de la curva de actividad total recuperada en función del tiempo ya que ella permite determinar los factores de reparto del trazador entre los distintos pozos.

La curva de actividad recuperada se obtiene multiplicando los valores de ordenada por el caudal del pozo productor e integrando la función resultante por algún método numérico, tal como el de los trapecios o, si se cuenta con un número suficiente de mediciones, el de Simpson. La aplicación de técnicas más complejas por lo general no se justifica en razón de la dispersión estadística de los datos experimentales.



<p style="text-align: center;"><b>VALORES MEDIOS</b></p> <p><b>Tiempos de residencia</b>  <math>t_{r1} = 5</math> días      <math>t_{r2} = 290</math> días</p> <p><b>Velocidad del agua</b>  <math>v_1 = 50</math> m / día      <math>v_2 = 0,86</math> m / día</p>	<p style="text-align: center;"><b>VALORES MEDIOS</b></p> <p><b>Tiempos de residencia</b>  <math>t_{r1} = 140</math> días      <math>t_{r2} = 305</math> días</p> <p><b>Velocidad del agua</b>  <math>v_1 = 1,78</math> m / día      <math>v_2 = 0,82</math> m / día</p>	<p style="text-align: center;"><b>VALORES MEDIOS</b></p> <p><b>Tiempos de residencia</b>  <math>t_{r1} = 145</math> días</p> <p><b>Velocidad del agua</b>  <math>v_1 = 1,72</math> m / día</p>

Las figuras que se anteriores representan **en forma cualitativa** algunos casos típicos de respuesta de pozos productores ante una una inyección puntual de trazador.

## Ajuste de las curvas de respuesta

Resulta muy conveniente intentar el ajuste de los valores experimentales por medio de expresiones teóricas que respondan a un modelo matemático adecuado. Mediante la aplicación de estas funciones las curvas de transferencia pueden descomponerse en distintas respuestas elementales a partir de las cuales pueden efectuarse cálculos comparativos tales como valores de permeabilidad relativa entre diversos extratos.

Entre los principales parámetros que pueden ser calculados a partir del modelo seleccionado se encuentra el tiempo de tránsito del trazador entre inyector y productor o *tiempo medio de residencia* que se determina a partir del cálculo del baricentro de la curva de respuesta y representa el instante en que emerge la mitad de la masa total de trazador que se extraerá a tiempo infinito. A partir del tiempo medio de residencia y conocida la distancia entre los pozos es inmediato el cálculo de la velocidad media de arribo del trazador.





## **Seguridad radiológica**

NOLDOR S.R.L. cuenta con permisos institucionales y personales para trabajar con tritio y otros radioisótopos otorgados por el Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

Toda práctica realizada por NOLDOR que implique la utilización de radiotrazadores en yacimientos o plantas industriales o que involucren al medio ambiente están avaladas por un “procedimiento” desarrollado especialmente para cada caso particular que ha sido previamente aprobado por dicha Autoridad y puesto a consideración del comitente.

Para el transporte de radioisótopos, NOLDOR cuenta con contenedores y envases especiales que cumplen con los requisitos impuestos por el “*Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*” (Organismo Internacional de Energía Atómica , edición 1985, enmienda 1990) y el “*Reglamento para el transporte seguro de materiales peligrosos de la República Argentina*”. Estos bultos están, asimismo, en un todo de acuerdo con lo especificado por otras organizaciones internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

La extracción de muestras de los pozos productores, que es la única tarea llevada a cabo por personal del yacimiento, es una operación completamente segura puesto que la concentración de actividad de tritio en las mismas resulta ser tres órdenes de magnitud inferior al límite anual de ingestión (ALI) establecido por la ARN (publicación AR10.1.1).



## MODELOS MATEMATICOS

Para el ajuste de las funciones de transferencia obtenidas experimentalmente, pueden usarse alguna expresiones desarrolladas para el estudio del movimiento de trazadores en acuíferos, tal como :

$$C(x, t) = C_{REF} \frac{1}{\sqrt{4\pi \frac{D_1}{v x} t_N^3}} e^{-\frac{(1-t_N)^2}{4 \frac{D_1}{v x} t_N}}$$

Siendo:0

$C(x,t)$  : concentración del trazador en función del tiempo y de la distancia.

$t_N$  : tiempo normalizado.

$D_1$  : dispersividad intrínseca del medio.

$v$  : velocidad de desplazamiento.

$x$  : distancia desde el punto de inyección.

El ajuste se realiza seleccionando valores apropiados de  $D_1 / v x$  y del tiempo medio de residencia. Cuando la respuesta presenta varios picos, esos parámetros deben establecerse para distintas curvas, las que luego se suman, afectadas por un factor de peso, para obtener la respuesta total del sistema.

Para el cálculo de permeabilidad pueden aplicarse dos ecuaciones simplificadas según el tipo de flujo considerado .

Para flujo radial se emplea la siguiente expresión:

$$k = \frac{\phi S_w \mu}{t \Delta P} (d^2 - r^2) \ln\left(\frac{d}{r}\right)$$

Siendo:

$\mu$  : viscosidad del agua de inyección.

$d$  : distancia entre los pozos inyector y productor.

$r$  : radio del pozo productor.

$\bar{t}$  : tiempo medio de residencia del trazador.

$\Delta P$  : diferencia de presión entre los pozos.

En cambio, para flujo lineal se emplea la siguiente:

$$k = \frac{\phi S_w \mu d^2}{t \Delta P}$$

Las expresiones expuestas hacen uso de numerosas simplificaciones pero constituyen aproximaciones aceptables desde el punto de vista práctico para el cálculo de la permeabilidad media del volumen de roca de reservorio interesado.

La principal utilidad de este método de cálculo es la obtención de valores comparativos de permeabilidad media en distintas capas o diferentes estratos dentro de una misma capa o bien entre sectores de un yacimiento.



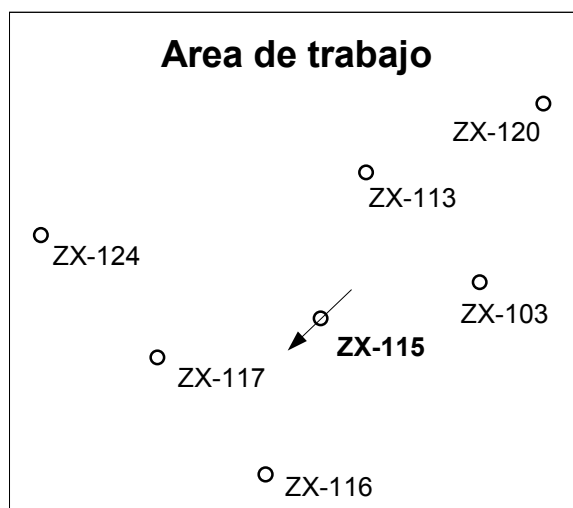
# ANALISIS PARTICULAR



## INYECCION EN EL POZO ZX-115

Este estudio se inició el día 15 de diciembre de 1999 mediante una inyección de 15 Ci (55,5 GBq) de tritio bajo la forma de agua tritiada en la capa seleccionada del pozo ZX-115 ubicado en el yacimiento ZX.

El muestreo se está realizando en los pozos ZX-113, ZX-116, ZX-117, ZX-120 y ZX-124. La ubicación de los pozos involucrados en el estudio puede observarse en la figura siguiente.



### Resultados experimentales

En las próximas páginas se resumen las mediciones efectuadas en cada pozo para distintas fechas. Se incluyen el valor de fondo con su respectiva desviación estándar y el límite de detección por sobre el cual puede asegurarse la presencia de trazador en el pozo productor.

Las tablas reflejan las concentraciones de actividad bruta, neta y corregida por decaimiento, tomando como referencia la fecha en la que se realizó la inyección, expresadas en Becquerel por litro (Bq / L). También se tabula la masa de trazador recuperada hasta el momento expresada en forma porcentual con respecto de la cantidad inyectada.



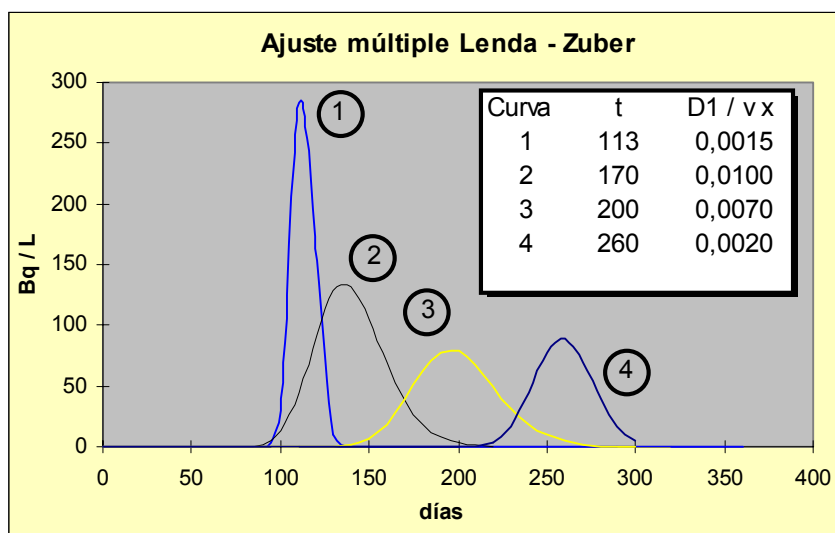
**ZX-113**

No se recibieron muestras correspondientes al período comprendido entre el 24 de diciembre de 1999 y el 18 de febrero de 2000. Comenzó a responder el 28 de marzo de 2000 a los 104 días de efectuada la inyección. La concentración de actividad en todas las muestras es baja. Presentó un pico a 111 días para luego iniciar un rápido descenso seguido por algunas fluctuaciones pero con una tendencia promedio decreciente. La respuesta finalizó a los 286 días a contar desde la fecha de inyección. Se recuperó sólo el 0,1% de la actividad inyectada.

Se ensayó un ajuste por medio de cuatro curvas de Lenda y Zuber de acuerdo con la siguiente tabla :

Curva	Factor	$t_0$ (días)	$D_1 / v_x$	vel. (m / día)
Curva 1	0,009	113	0,0015	2,2
Curva 2	0,010	140	0,0100	1,8
Curva 3	0,005	200	0,0070	1,3
Curva 4	0,003	260	0,0020	1,0

El gráfico de las curvas individuales se muestra a continuación :

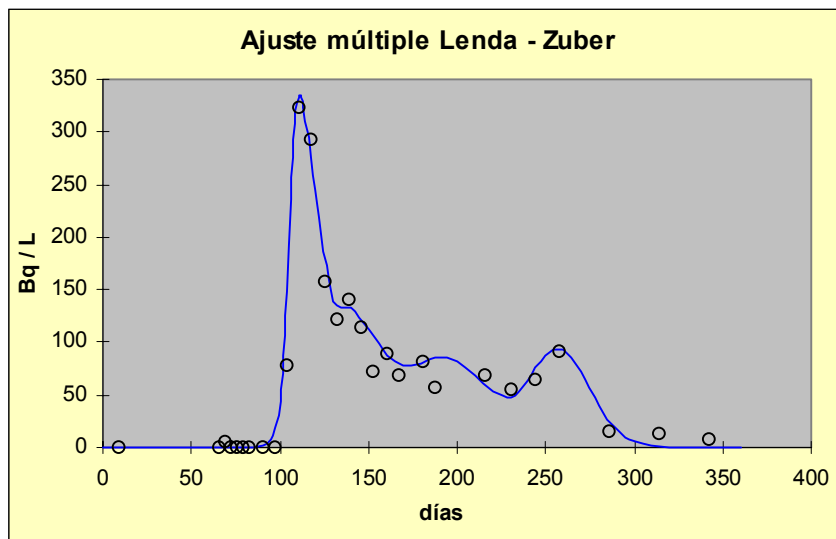


El tiempo medio de residencia experimental es de 174 días, en tanto que el determinado mediante el modelo es de 170 días, es decir idéntico para los fines prácticos. En la tabla siguiente se resume el cálculo efectuado a partir de la contribución de cada curva individual a la recuperación total.



Curva	Fracción	t medio (días)
Curva 1	0,240	113
Curva 2	0,334	140
Curva 3	0,239	200
Curva 4	0,187	260
<b>TOTAL</b>	<b>1,000</b>	<b>170</b>

La curva de ajuste resultante de la combinación de las cuatro funciones es la siguiente :



**ZX-116**

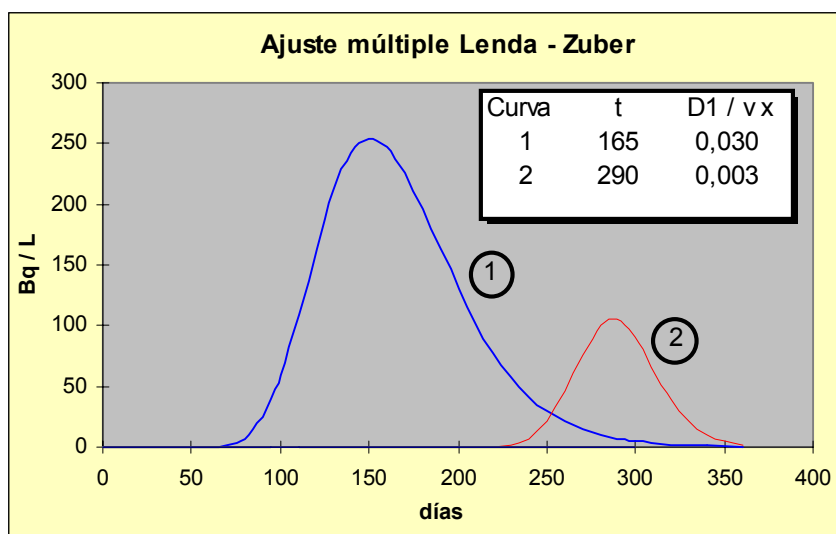
No se recibieron muestras correspondientes al período comprendido entre el 27 de diciembre de 1999 y el 18 de febrero de 2000. Comenzó a responder 28 de marzo de 2000 a los 104 días de efectuada la inyección. La concentración de actividad en todas las muestras es baja. Presentó un ancho máximo entre los 139 y los 167 días. Posteriormente, a los 286 días se presentó un nuevo pico de muy baja amplitud. Se recuperó sólo el 0,3% de la actividad inyectada.

Se efectuó un ajuste por empleando dos curvas de Lenda y Zuber de acuerdo con la siguiente tabla :

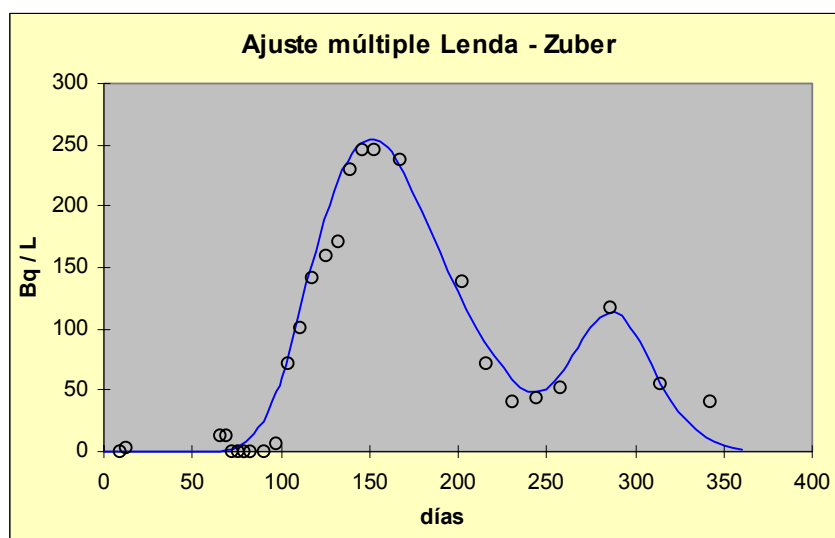
Curva	Factor	t <sub>0</sub> (días)	D <sub>1</sub> / vx	vel. (m / día)
Curva 1	0,043	165	0,030	3,8
Curva 2	0,006	290	0,003	2,1



El gráfico de las curvas individuales se muestra a continuación :



En tanto que la sumatoria de ambas se muestra en la figura siguiente:



El tiempo medio de residencia experimental es de 191 días, en tanto que el determinado mediante el modelo resultó de 189 días, es decir idéntico para los fines prácticos. En la tabla siguiente se resume el cálculo efectuado a partir de la contribución de cada curva individual a la recuperación total.

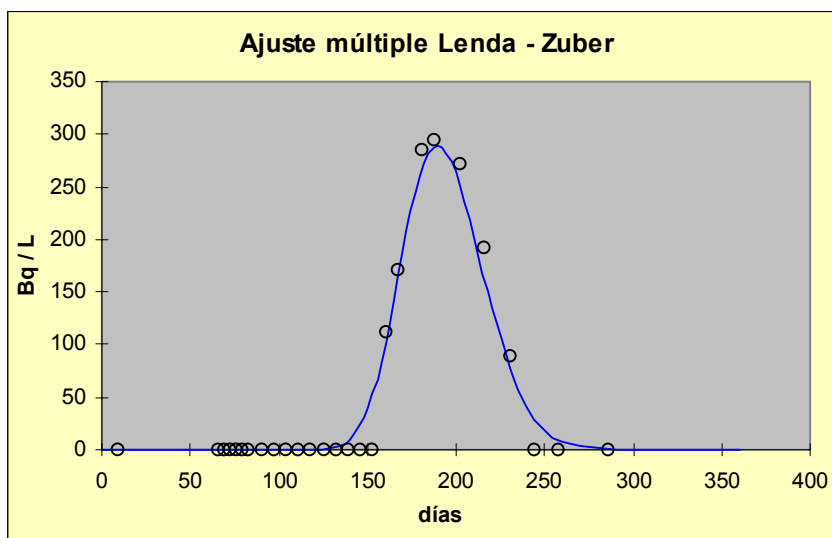
Curva	Fracción	t medio (días)
<b>Curva 1</b>	0,809	165
<b>Curva 2</b>	0,191	290
<b>TOTAL</b>	1,000	<b>189</b>



**ZX-117**

No se recibieron muestras correspondientes al período comprendido entre el 24 de diciembre de 1999 y el 18 de febrero de 2000. Comenzó a responder el 28 de marzo de 2000 a los 104 días de efectuada la inyección. La concentración de actividad en todas las muestras es baja. Presentó un máximo a los 188 días y la respuesta finalizó a los 230 días. Se recuperó algo menos del 0,2% de la actividad inyectada.

Se efectuó un ajuste mediante una única función de Lenda y Zuber con un tiempo medio de residencia de 194 días (coincidente con el valor experimental), un factor  $D_1 / v_x$  de 0,007 y un factor de escala de 0,018. La velocidad resultante es de 3,1 m / s. El ajuste logrado se presenta en el gráfico siguiente:



**ZX-120**

No se recibieron muestras correspondientes al período comprendido entre el 24 de diciembre de 1999 y el 18 de febrero de 2000. Comenzó a responder el 7 de marzo a los 72 días después de la inyección. Presentó un pico a los 97 días, luego la respuesta decreció hasta los 286 días donde pareciera que comenzó a crecer nuevamente. El muestreo se interrumpió a los 342 días. Se recuperó algo más del 0,6% de la actividad inyectada.

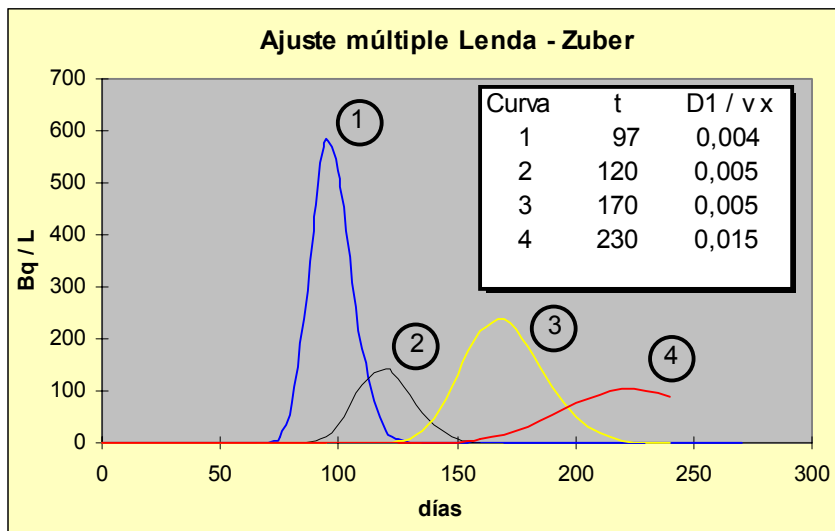
Se efectuó un ajuste mediante cuatro funciones sin tener en cuenta los tres últimos puntos, de acuerdo con la siguiente tabla :

Curva	Factor	$t_0$ (días)	$D_1 / v_x$	vel. (m / día)
Curva 1	0,055	97	0,004	11,7
Curva 2	0,015	120	0,005	9,4
Curva 3	0,025	170	0,005	6,7
Curva 4	0,015	230	0,010	4,9

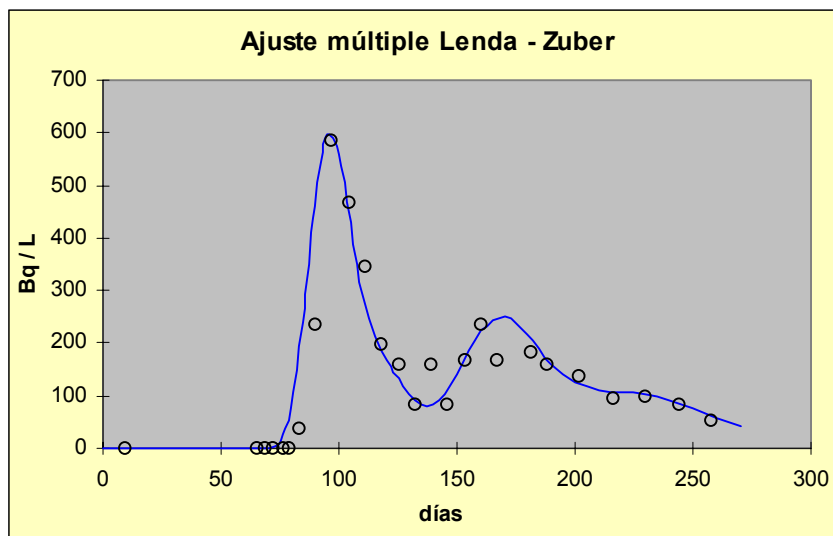




El gráfico de las curvas individuales se muestra a continuación :



La curva de ajuste resultante de la combinación de las cuatro funciones es la siguiente :



El tiempo medio de residencia experimental es de 148 días, en tanto que el determinado mediante el modelo es de 133 días, es decir algo inferior. En la tabla siguiente se resume el cálculo efectuado a partir de la contribución de cada curva individual a la recuperación total.



Curva	Fracción	t medio (días)
Curva 1	0,446	97
Curva 2	0,147	120
Curva 3	0,350	170
Curva 4	0,057	230
<b>TOTAL</b>	<b>1,000</b>	<b>133</b>

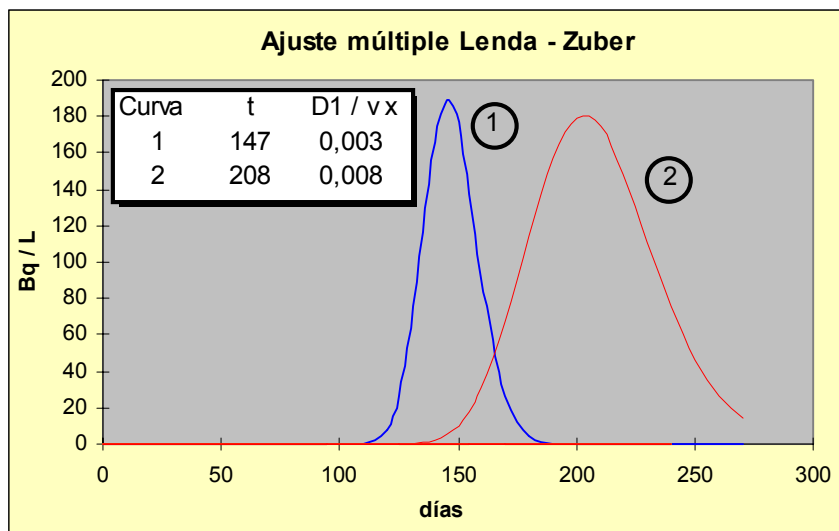
**ZX-124**

No se recibieron muestras correspondientes al período comprendido entre el 27 de diciembre de 1999 y el 18 de febrero de 2000. Comenzó a responder el 2 de mayo a los 139 días después de la inyección. Presentó un pico agudo a los 146 días y luego otro muy ancho entre los 181 y los 216 días. La respuesta finalizó a los 244 días. Se recuperó menos del 0,1% de la actividad inyectada.

Se efectuó un ajuste por empleando dos curvas de Lenda y Zuber de acuerdo con la siguiente tabla :

Curva	Factor	t <sub>0</sub> (días)	D <sub>1</sub> / vx	vel. (m / día)
Curva 1	0,0065	147	0,003	7,1
Curva 2	0,1000	208	0,008	5,0

El gráfico de las curvas individuales se muestra a continuación :



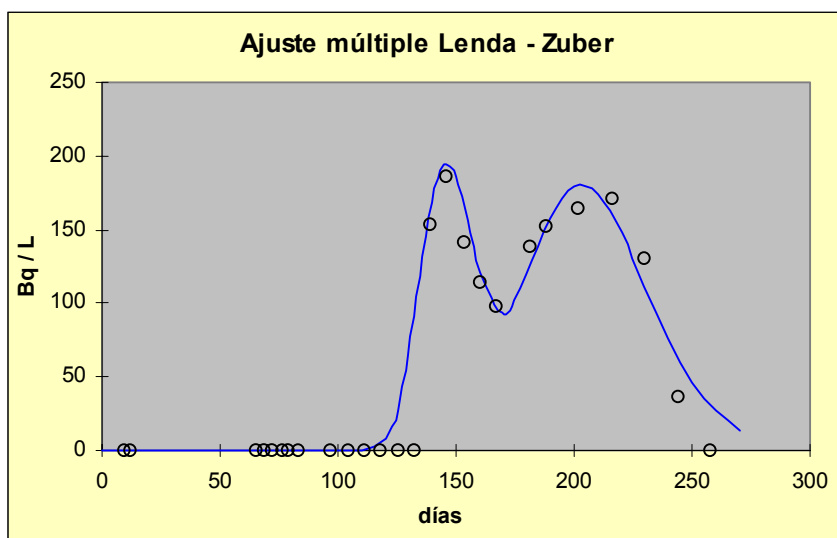
El tiempo medio de residencia experimental es de 188 días, en tanto que el determinado mediante el modelo resultó de 186 días, es decir idéntico para los fines prácticos. En la



tabla siguiente se resume el cálculo efectuado a partir de la contribución de cada curva individual a la recuperación total.

Curva	Fracción	t medio (días)
Curva 1	0,362	147
Curva 2	0,638	208
<b>TOTAL</b>	<b>1,000</b>	<b>186</b>

La curva de ajuste resultante de la combinación de las dos funciones es la siguiente :





# RESUMEN GENERAL



## RESUMEN GENERAL

A manera de resumen, se exponen a continuación una serie de cuadros con los resultados más relevantes para los pozos en los que se obtuvo respuesta. El tiempo mínimo experimental corresponde al tiempo de arribo del trazador, en tanto que el tiempo máximo es aquel para el cual la respuesta cae al 1% de su valor máximo. A partir de ellos se calcularon las velocidades máxima y mínima respectivamente. Para los tiempos teóricos se aplicó el mismo criterio a la respuesta analítica.

Más adelante se presentan un gráfico con la respuesta de todos los pozos de la malla en forma conjunta y en idéntica escala y otro representativo de actividad recuperada.

<b>MALLA ZX-115</b>		<b>POZO ZX-113</b>					
Fecha de inyección: 15 / 12 / 99		Arenas: B1, B3, C2		Distancia al inyector: 574 m			
Parámetro		Total		Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
		experim.	teórico	teórico	teórico	teórico	teórico
t mínimo	días	104	90	90	90	140	220
t medio	días	168	170	113	140	200	260
t máximo	días	286	310	137	210	280	310
v mínima	m / día	2,0	1,8	4,2	2,7	2,0	1,8
v media	m / día	3,4	3,4	5,1	4,1	2,9	2,2
v máxima	m / día	5,5	6,4	6,4	6,4	4,1	2,6
t mín/t med	-	0,62	0,53	0,80	0,64	0,70	0,85
tmáx/t med	-	1,70	1,82	1,21	1,50	1,40	1,19
Agua rec.	%	0,11	0,12	0,03	0,04	0,03	0,02



<b>MALLA ZX-115</b>		<b>POZO ZX-116</b>			
Fecha de inyección: 15 / 12 / 99		Arenas: B3, C2 m		Distancia al inyector: 622 m	
Parámetro		Total		Curva 1	Curva 2
		experim.	teórico	teórico	teórico
t mínimo	días	104	70	70	224
t medio	días	191	189	165	290
t máximo	días	420 (*)	360	320	360
v mínima	m / día	1,5	1,7	1,9	1,7
v media	m / día	3,3	3,3	3,8	2,1
v máxima	m / día	6,0	8,9	8,9	2,8
t mín/t med	-	0,54	0,37	0,42	0,77
t máx/t med	-	2,20	1,90	1,94	1,24
Agua recup. (**)	%	0,27	0,38	0,31	0,07
(*) Extrapolado					
(**) No se considera el último pico. Al incorporarlo, la recuperación pasa a ser del 0,31%					

<b>MALLA ZX-115</b>		<b>POZO ZX-117</b>	
Fecha de inyección: 15 / 12 / 99		Arenas: B1, B3, D2 m	
		Distancia al inyector: 597 m	
Parámetros		Experimental	Teórico
t mínimo	días	160	130
t medio	días	194	194
t máximo	días	240	272
v mínima	m / día	2,5	2,2
v media	m / día	3,1	3,1
v máxima	m / día	3,7	4,6
t mín/t med	-	0,82	0,67
t máx/t med	-	1,24	1,4
Agua recuperada	%	0,17	0,18



<b>MALLA ZX-115</b>		<b>POZO ZX-120</b>					
Fecha de inyección: 15 / 12 / 99		Arenas: A1, B1, B3			Distancia al inyector: 1133 m		
Parámetro		Total		Curva 1	Curva 2	Curva 3	Curva 4
		experim.	teórico	teórico	teórico	teórico	teórico
t mínimo	días	83	70	70	85	120	145
t medio	días	148	133	97	120	170	230
t máximo	días	280 (*)	340	130	160	230	340
v mínima	m / día	4,0	3,3	8,7	7,1	4,9	3,3
v media	m / día	7,7	8,5	11,7	9,4	6,7	4,9
v máxima	m / día	13,7	16,2	16,2	13,3	9,4	7,8
t mín/t med	-	0,56	0,62	0,86	0,69	0,49	0,36
t máx/t med	-	1,89	2,56	1,34	1,33	1,35	1,48
Agua rec. (**)	%	0,38	0,46	0,20	0,07	0,16	0,03
(*) Extrapolado							
(*) No se considera el crecimiento final de la respuesta							

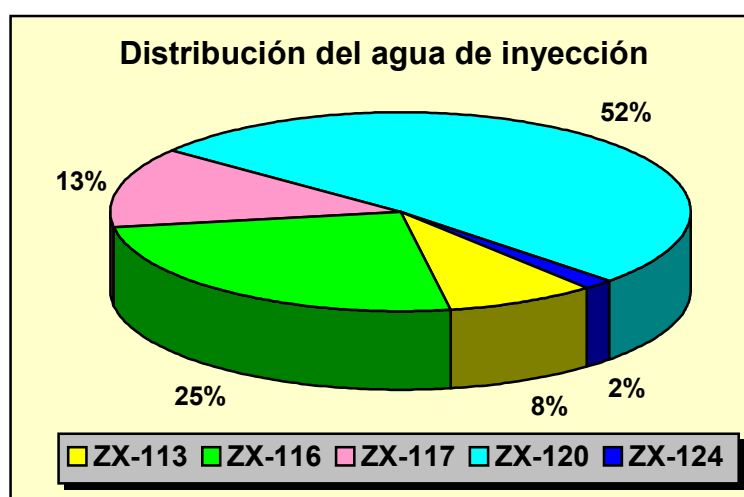
<b>MALLA ZX-115</b>		<b>POZO ZX-124</b>			
Fecha de inyección: 15 / 12 / 99		Arenas: B3, C2		Distancia al inyector: 1042 m	
Parámetro		Total		Curva 1	Curva 2
		experim.	teórico	teórico	teórico
t mínimo	días	139	115	115	137
t medio	días	188	186	147	208
t máximo	días	251	295	183	295
v mínima	m / día	4,1	3,5	5,7	3,5
v media	m / día	5,5	5,6	7,1	5,0
v máxima	m / día	7,5	9,1	9,1	7,6
t mín/t med	-	0,74	0,62	0,78	0,66
t máx/t med	-	1,33	1,57	1,24	1,42
Agua recup.	%	0,02	0,02	0,01	0,01



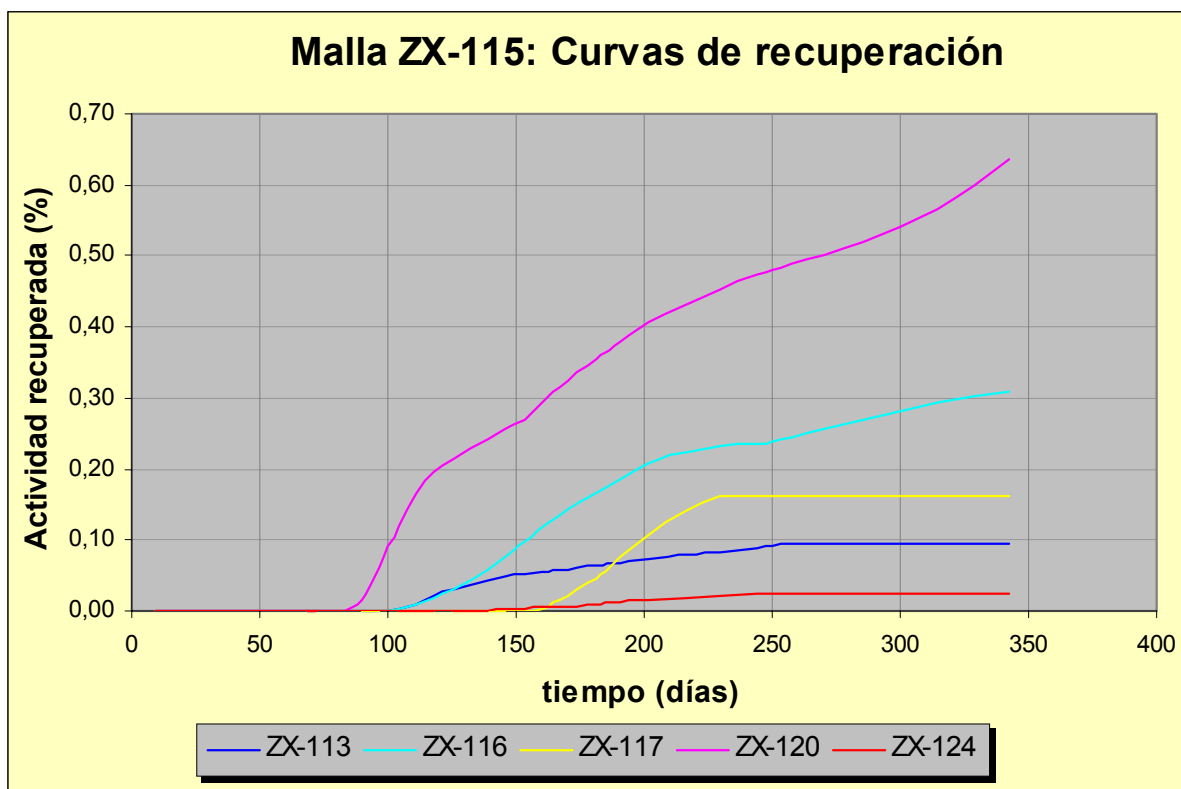
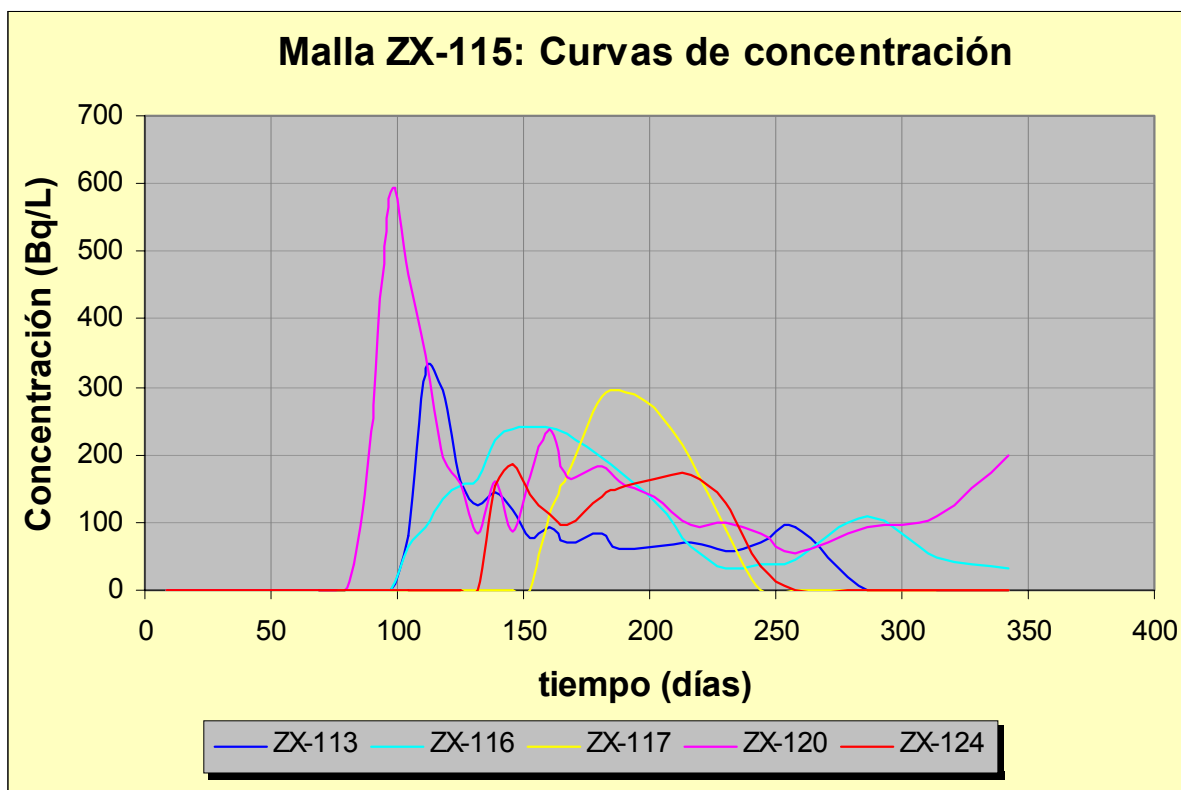
## **Conclusiones**

A partir de los datos experimentales y de los cuadros resumen pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- La descomposición de respuestas con múltiples picos en funciones simples permite deducir la existencia de varios estratos de distinta permeabilidad a través de los cuales se desplaza el trazador desde el inyector hacia cada productor. Este modelo indicaría la presencia de cuatro estratos en el caso de los pozos ZX-113 y ZX-120 y dos en los pozos ZX-116 y ZX-124.
- Se recuperó apenas algo más del 1% de la actividad de trazador inyectada. Esto, sumado al hecho de que no se detectaron canalizaciones permite concluir que se está trabajando con una muy buena eficiencia.
- Más del 50% del trazador y, por lo tanto, del agua inyectada se desplaza hacia el pozo ZX-120 en tanto que algo más del 25% lo hace hacia el ZX-116.
- El siguiente gráfico ilustra la distribución del agua de inyección entre los pozos que componen el arreglo.







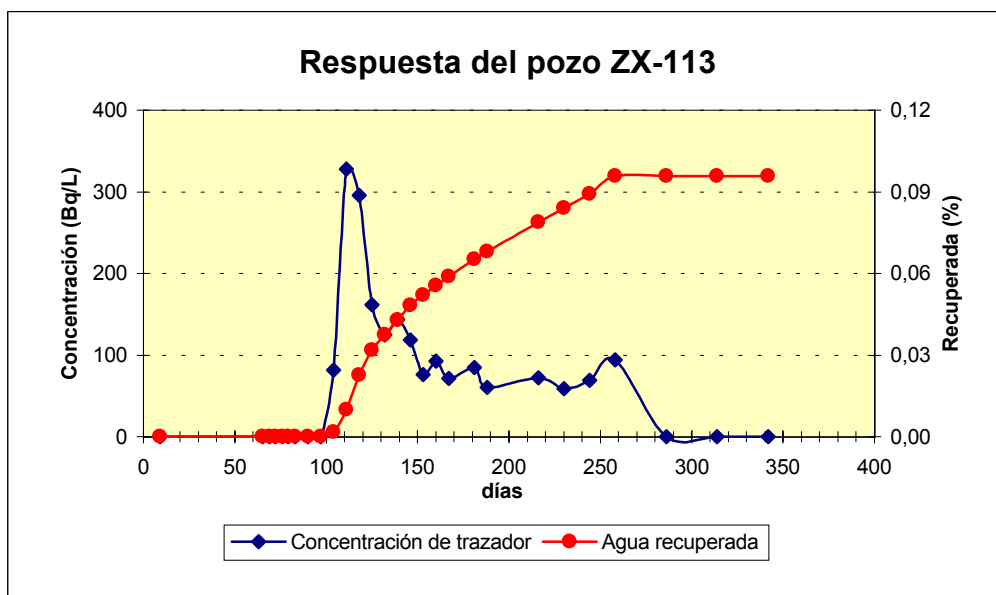


# RESULTADOS EXPERIMENTALES

**ENSAYOS CON TRAZADORES**

Empresa	Petrolera XZ	
Yacimiento	ZX	
Pozo inyector	ZX-115	
Capa	C2, B3, B1	m3/día
Pozo productor	ZX-113	m3/día
Fecha de inyección	15/12/99	
Actividad inyectada	15 Ci	
Fondo promedio	39 Bq/L	
Desvío del fondo	5 Bq/L	
Límite	63 Bq/L	

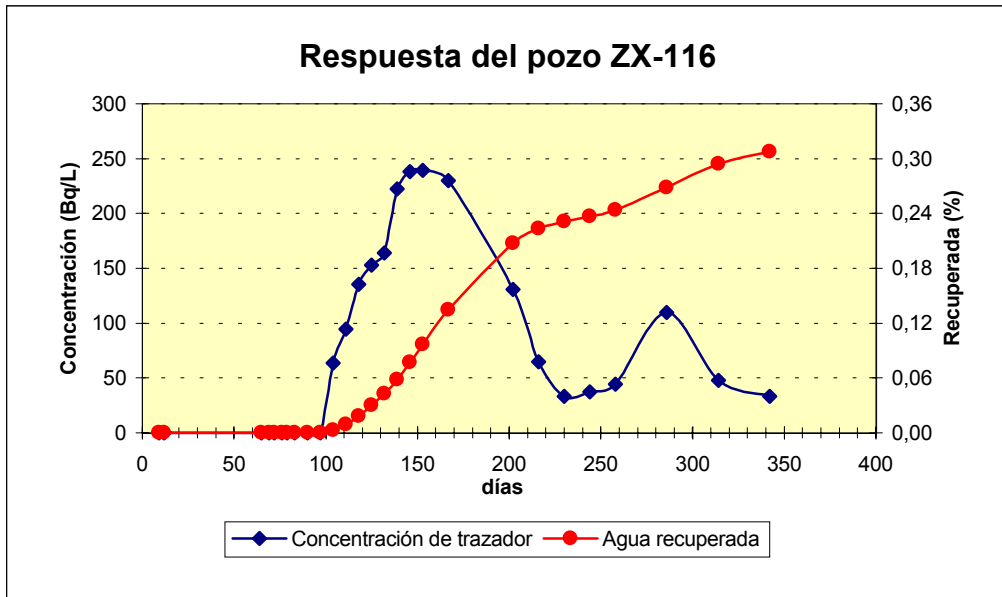
Tiempo	Conc. de trazador (Bq/L.)			Caudal m3/día	Act. (%) Acumulada
	Fecha	Días	Respuesta Error		
24/12/99	9	0		34,1	0,00
18/02/00	65	0		37,9	0,00
22/02/00	69	0		37,9	0,00
25/02/00	72	0		37,9	0,00
29/02/00	76	0		37,9	0,00
03/03/00	79	0		32,0	0,00
07/03/00	83	0		32,0	0,00
14/03/00	90	0		32,0	0,00
21/03/00	97	0		32,0	0,00
28/03/00	104	82	9	32,0	0,00
04/04/00	111	327	12	32,0	0,01
11/04/00	118	296	12	32,0	0,02
18/04/00	125	162	9	32,0	0,03
25/04/00	132	124	10	32,0	0,04
02/05/00	139	144	10	32,0	0,04
09/05/00	146	118	10	32,0	0,05
16/05/00	153	76	9	32,0	0,05
23/05/00	160	93	10	32,0	0,06
30/05/00	167	72	9	32,0	0,06
13/06/00	181	85	10	32,0	0,07
20/06/00	188	60	9	32,0	0,07
18/07/00	216	72	10	32,0	0,08
01/08/00	230	59	9	32,0	0,08
15/08/00	244	69	9	32,0	0,09
29/08/00	258	94	10	32,0	0,10
26/09/00	286	0		32,0	0,10
24/10/00	314	0		32,0	0,10
21/11/00	342	0		32,0	0,10



**ENSAYOS CON TRAZADORES**

Empresa	Petrolera XZ	
Yacimiento	ZX	
Pozo inyector	ZX-115	
Capa	C2, B3	m3/día
Pozo productor	ZX-116	m3/día
Fecha de inyección	15/12/99	
Actividad inyectada	15 Ci	
Fondo promedio	32 Bq/L	
Desvío del fondo	6 Bq/L	
Límite	64 Bq/L	

Tiempo	Conc. de trazador (Bq/L.)			Caudal m3/día	Act. (%) Acumulada
	Fecha	Días	Respuesta Error		
24/12/99	9	0		162,3	0,00
27/12/99	12	0		162,3	0,00
18/02/00	65	0		63,2	0,00
22/02/00	69	0		63,2	0,00
25/02/00	72	0		63,2	0,00
29/02/00	76	0		63,2	0,00
03/03/00	79	0		64,2	0,00
07/03/00	83	0		64,2	0,00
14/03/00	90	0		64,2	0,00
21/03/00	97	0		64,2	0,00
28/03/00	104	64	10	64,2	0,00
04/04/00	111	94	10	64,2	0,01
11/04/00	118	135	9	64,2	0,02
18/04/00	125	153	9	64,2	0,03
25/04/00	132	164	10	64,2	0,04
02/05/00	139	222	11	64,2	0,06
09/05/00	146	238	9	64,2	0,08
16/05/00	153	239	9	64,2	0,10
30/05/00	167	230	11	64,2	0,13
04/07/00	202	131	9	64,2	0,21
18/07/00	216	65	9	64,2	0,22
01/08/00	230	33	9	64,2	0,23
15/08/00	244	37	9	64,2	0,24
29/08/00	258	44	9	64,2	0,24
26/09/00	286	110	10	64,2	0,27
24/10/00	314	48	9	64,2	0,29
21/11/00	342	33	9	64,2	0,31



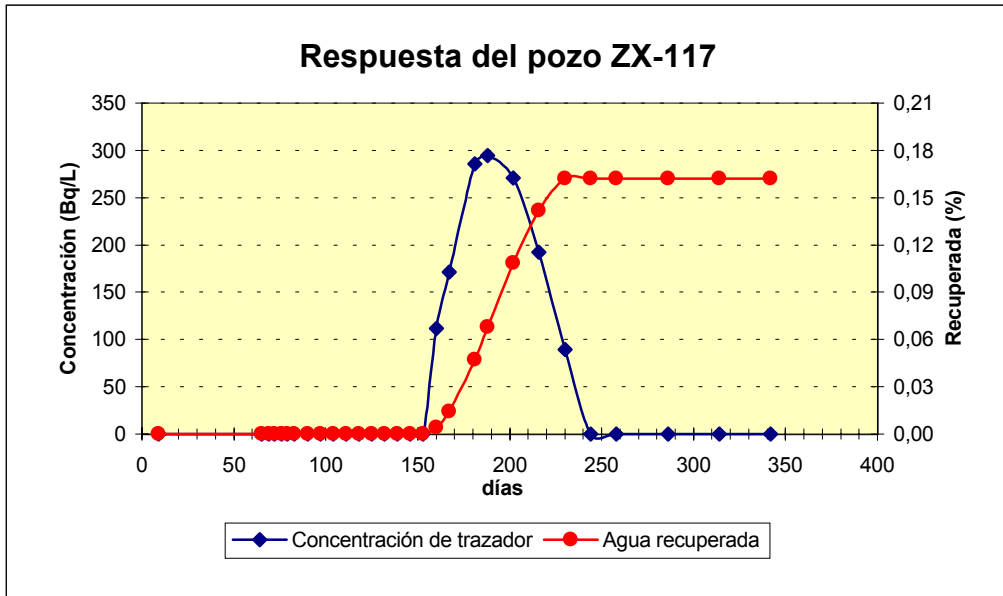
**NOLDOR S.R.L.**

## ENSAYOS CON TRAZADORES

Empresa Petrolera XZ  
Yacimiento ZX  
Pozo inyector ZX-115  
Capa D2, B3, B1 m3/día  
Pozo productor ZX-117 m3/día  
Fecha de inyección 15/12/99  
Actividad inyectada 15 Ci

Fondo promedio 22 Bq/L  
Desvío del fondo 14 Bq/L  
Límite 92 Bq/L

Tiempo	Conc. de trazador (Bq/L.)			Caudal m3/día	Act. (%) Acumulada
	Fecha	Días	Respuesta Error		
24/12/99	9	0		71,4	0,00
18/02/00	65	0		97,0	0,00
22/02/00	69	0		97,0	0,00
25/02/00	72	0		97,0	0,00
29/02/00	76	0		97,0	0,00
03/03/00	79	0		57,0	0,00
07/03/00	83	0		57,0	0,00
14/03/00	90	0		57,0	0,00
21/03/00	97	0		57,0	0,00
28/03/00	104	0		57,0	0,00
04/04/00	111	0		57,0	0,00
11/04/00	118	0		57,0	0,00
18/04/00	125	0		57,0	0,00
25/04/00	132	0		57,0	0,00
02/05/00	139	0		57,0	0,00
09/05/00	146	0		57,0	0,00
16/05/00	153	0		57,0	0,00
23/05/00	160	112	10	57,0	0,00
30/05/00	167	171	9	57,0	0,01
13/06/00	181	286	11	57,0	0,05
20/06/00	188	294	10	57,0	0,07
04/07/00	202	271	9	57,0	0,11
18/07/00	216	192	10	57,0	0,14
01/08/00	230	89	9	57,0	0,16
15/08/00	244	0		57,0	0,16
29/08/00	258	0		57,0	0,16
26/09/00	286	0		57,0	0,16
24/10/00	314	0		57,0	0,16
21/11/00	342	0		57,0	0,16

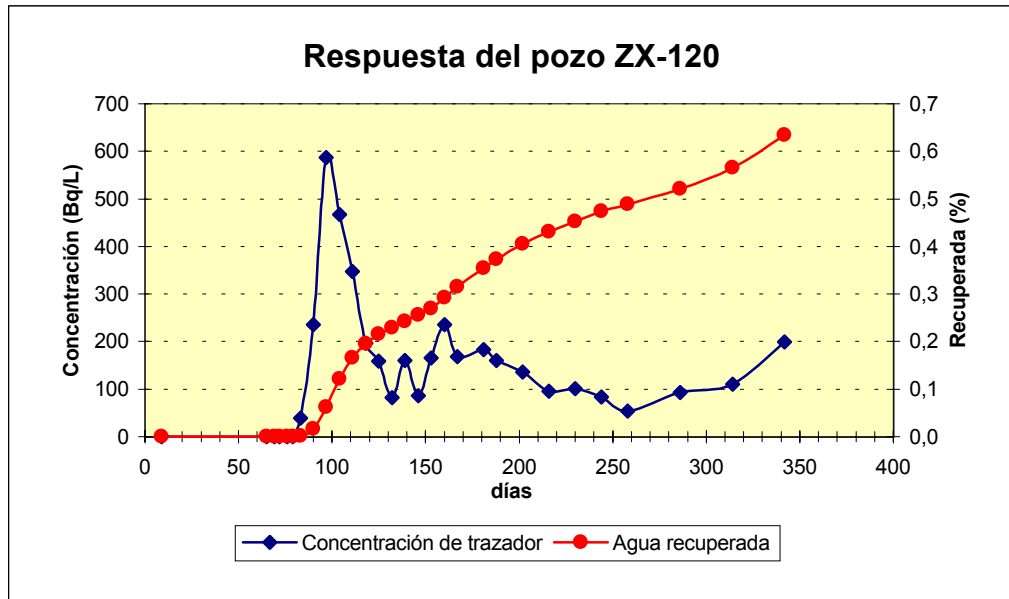




**ENSAYOS CON TRAZADORES**

Empresa	Petrolera XZ	
Yacimiento	ZX	
Pozo inyector	ZX-115	
Capa	B3, B1, A1	m3/día
Pozo productor	ZX-120	m3/día
Fecha de inyección	15/12/99	
Actividad inyectada	15 Ci	
Fondo promedio	36 Bq/L	
Desvío del fondo	7 Bq/L	
Límite	72 Bq/L	

Tiempo	Conc. de trazador (Bq/L.)			Caudal m3/día	Act. (%) Acumulada
	Fecha	Días	Respuesta Error		
24/12/99	9	0		90,4	0,00
18/02/00	65	0		124,4	0,00
22/02/00	69	0		124,4	0,00
25/02/00	72	0		124,4	0,00
29/02/00	76	0		124,4	0,00
03/03/00	79	0		87,9	0,00
07/03/00	83	39	9	87,9	0,00
14/03/00	90	236	11	87,9	0,02
21/03/00	97	587	14	87,9	0,06
28/03/00	104	467	9	87,9	0,12
04/04/00	111	348	9	87,9	0,17
11/04/00	118	196	11	87,9	0,20
18/04/00	125	158	10	87,9	0,22
25/04/00	132	82	9	87,9	0,23
02/05/00	139	161	10	87,9	0,24
09/05/00	146	86	9	87,9	0,26
16/05/00	153	166	9	87,9	0,27
23/05/00	160	236	11	87,9	0,29
30/05/00	167	168	10	87,9	0,31
13/06/00	181	183	10	87,9	0,35
20/06/00	188	160	10	87,9	0,37
04/07/00	202	137	10	87,9	0,41
18/07/00	216	96	10	87,9	0,43
01/08/00	230	100	10	87,9	0,45
15/08/00	244	83	10	87,9	0,47
29/08/00	258	54	9	87,9	0,49
26/09/00	286	93	10	87,9	0,52
24/10/00	314	111	10	87,9	0,57
21/11/00	342	199	11	87,9	0,63



**NOLDOR S.R.L.**

## ENSAYOS CON TRAZADORES

Empresa	Petrolera XZ	
Yacimiento	ZX	
Pozo inyector	ZX-115	
Capa	C2, B3	m3/día
Pozo productor	ZX-124	m3/día
Fecha de inyección	15/12/99	
Actividad inyectada	15 Ci	
Fondo promedio	85 Bq/L	
Desvío del fondo	6 Bq/L	
Límite	116 Bq/L	

Tiempo	Conc. de trazador (Bq/L.)			Caudal m3/día	Act. (%) Acumulada
	Fecha	Días	Respuesta Error		
24/12/99	9	0		53,9	0,00
27/12/99	12	0		53,9	0,00
18/02/00	65	0		43,2	0,00
22/02/00	69	0		43,2	0,00
25/02/00	72	0		43,2	0,00
29/02/00	76	0		43,2	0,00
03/03/00	79	0		8,5	0,00
07/03/00	83	0		8,5	0,00
21/03/00	97	0		8,5	0,00
28/03/00	104	0		8,5	0,00
04/04/00	111	0		8,5	0,00
11/04/00	118	0		8,5	0,00
18/04/00	125	0		8,5	0,00
25/04/00	132	0		8,5	0,00
02/05/00	139	154	11	8,5	0,00
09/05/00	146	186	11	8,5	0,00
16/05/00	153	141	11	8,5	0,00
23/05/00	160	114	10	8,5	0,01
30/05/00	167	97	9	8,5	0,01
13/06/00	181	139	9	8,5	0,01
20/06/00	188	152	9	8,5	0,01
04/07/00	202	164	9	8,5	0,01
18/07/00	216	171	11	8,5	0,02
01/08/00	230	130	10	8,5	0,02
15/08/00	244	36	9	8,5	0,02
29/08/00	258	0		8,5	0,02
26/09/00	286	0		8,5	0,02
24/10/00	314	0		8,5	0,02
21/11/00	342	0		8,5	0,02

