

Reedición

Referencias Johnson

Año 1, Nº 3 Julio 2009

3



G.E.S.A.S Grupo Empresarial al Servicio de Aguas Subterráneas.
NAHUELCO SA / A JOHNSON SCREENS COMPANY - GRAVAFILT SA - MARCO AURELIO SOSA SACIF

MARCO AURELIO SOSA S.A.C.I.F.

Desde 1956 Más de 50 años liderando en caños de acero.



Nuevos productos

Caños para bajada de bomba sumergibles con extremos bridados con muesca para el cable; más económico, más seguro y al no ser roscado se puede elaborar con caños de espesores más bajos.



Casa Central

Av. PADRE CLARET 5700 - LOS BOULEVARES
TEL. (03543) 421771 - 422130 - 422123 - 421953
FAX (03543) 442700 - CP - 5147 CORDOBA

Sucursal

Av. ARMADA ARGENTINA 826
TELFAX (0351) 4617425 - 4613447 - CP - 5016 CORDOBA

www.marcoareliososa.com.ar - info@marcoareliososa.com.ar

Sumario

Año 1 - N3 - Julio del 2009

Grupo G.E.S.A.S.

Reedición de las Referencias Johnson

Dirección General:

Grupo G.E.S.A.S.

Dirección Editorial:

Patricio Rodríguez
(NAHUELCO SA / A JOHNSON
SCREENS COMPANY)

Leopoldo Cumini
(GRAVAFILT SA)

Roberto Barbieri
(MARCO AURELIO SOSA SACIF)

Producción:

Mariano Barbieri

Diseño Gráfico:

Máximo Coeli
el_nexo@hotmail.com

Direcciones de contacto:

patricior@nahuelco.com
rbarbieri@marcoareliososa.com.ar

Los ensayos de bombeo proporcionan datos útiles (Parte 2)

Página 04

Perfilaje de rojos gamma

Página 10

Nahuelco/Johnson regresa a sus raíces

Página 15

Guía para diseño de pozos de agua (Parte 2)

Página 23

Reunión GÉSAS
Marco A. Sosa, Córdoba

Página 29

Los ensayos de bombeo proporcionan datos útiles (Parte 2)

En la parte I de este artículo ya se describió el método que usan los perforistas, ingenieros o geólogos para llevar a cabo los ensayos de bombeo.

La Parte II describe, el procesamiento y análisis de los datos obtenidos durante el ensayo de bombeo con el propósito de determinar las características del acuífero y del pozo.

Para el análisis de los datos presentados en este artículo se utilizan las fórmulas de no-equilibrio modificadas o método Jacob. En este método los datos se vuelcan a papel semilogarítmico, según se aprecia en la fig. 4.

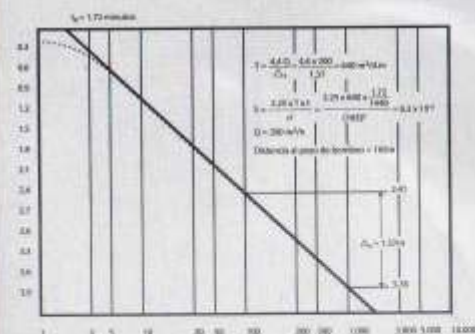


Fig. N° 4. Ejemplo de un diagrama de tiempo-depresión que muestra la línea recta que mejor se adapta a los puntos, la Δs , el t_0 , y los cálculos utilizados para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.

Cuando se grafica de esta manera los puntos constituyen una línea recta. Ese proceder a su vez, simplifica mucho las fórmulas y cálculos usados para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento del acuífero. Las fórmulas usadas son simplemente aritméticas y, de ahí en adelante, sólo se necesita un lápiz y un block de papel borrador.

La forma básica de la ecuación modificada de Jacob es:

$$S = \frac{4.4 Q}{T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S} \quad (1)$$

Reordenando esa fórmula (1) y haciendo algunas simplificaciones aritméticas se obtienen las tres ecuaciones siguientes:

$$T = \frac{4.4 Q}{\Delta s} \quad (2)$$

$$S = \frac{2.25 T t}{r^2} \quad (3)$$

$$T = \frac{4.4 Q}{\Delta s} \quad (4)$$

Las ecuaciones (2) y (3) se usan en el método de tiempo-depresión y la ecuación (4) se usa en el método tiempo-recuperación. Las fórmulas indicadas son para mediciones en unidades del sistema métrico, en uso en nuestro país.

Probablemente sea útil en este punto hacer una revisión de los términos que se consideraron en la Parte 1 e introducir nuevos términos que serán utilizados en los cálculos. La Transmisividad (T) está relacionada con la permeabilidad del acuífero. Es la cantidad de agua que fluirá a través de una franja vertical del acuífero de 1m de ancho y que se prolonga a través de todo el espesor saturado del acuífero, bajo una gradiente hidráulica de 1. La unidad de transmisividad es metros cúbicos por día por metro ($m^3/día, m$).

El coeficiente de almacenamiento (S) es el volumen de agua extraído del almacenamiento o tomado en almacenamiento por unidad de área del acuífero por unidad de variación de carga. El coeficiente de almacenamiento es una proporción, por lo tanto, carente de unidades.

La descarga del pozo de bombeo (Q) es el régimen a que el pozo es bombeado. Se mide en metros cúbicos por hora (m^3/h).

La descarga del pozo se supone que sucede a lo largo de una línea vertical de radio cero. En consecuencia, el radio del pozo de bombeo y la distancia a un pozo de observación tienen el mismo significado en la ecuación y, por lo tanto, emplean la misma variable (r). Esa distancia se mide en metros.

El Nivel Estático (NE) es el nivel que tiene el agua en el pozo cuando no se extrae agua del acuífero por bombeo ni por surgencia natural. Generalmente se lo mide desde la superficie del terreno, boca del pozo o desde otro punto acotado conocido. Si el pozo es surgente, el NE se mide en metros de columna de agua desde el nivel del terreno o en presión de cierre.

El nivel dinámico o de bombeo (ND) es el nivel del agua en el pozo cuando se está bombeando.

La depresión (s) es la diferencia entre el nivel estático (NE) y el nivel dinámico (ND), se la mide en metros.

La depresión residual (s') es la diferencia entre el nivel estático (NE) y el nivel que el agua ha alcanzado en su ascenso luego de haberse detenido la bomba. También se la mide en metros. $\Delta s'$ es el cambio de depresión en un ciclo logarítmico en el gráfico de tiempo-depresión.

$\Delta s'$ es el cambio de depresión residual en un ciclo logarítmico en el gráfico de tiempo-recuperación. Estos términos se explican con mayor detalle en el texto de este artículo.

El tiempo transcurrido desde que se puso en marcha la bomba se expresa por t, se mide en minutos. El tiempo transcurrido desde que se detuvo la bomba se expresa por t' . La relación entre esos dos tiempos se expresa t/t' y por ser una proporción entre tiempos, no tiene unidades. En la ecuación de Jacob las unidades de tiempo son en

días. Ahora que ya se han establecido las diversas ecuaciones que se aplican, y definidos los términos usados en ellas, el próximo paso es el procesamiento de todos los datos originales obtenidos durante el ensayo de bombeo de manera que puedan ser volcados a gráficos en papel semilogarítmico.

Ensayo realizado por: N. N. Coccoloni
 Propietario del pozo: Granja El Cuello S.A.
 Ubicación del pozo: Casarito N. Tucumán P. 300m al N de 200m. Norte 49°
 Formación: Espesor: 20m. DE: 120m. A: 120m.
 Pozo de Bombeo: Largo del filtro: 27m. Entré: 123m y 120m PROF.
 Diam. del filtro: 40mm. Diam. del pozo: 470mm.
 Arranque: Hora: 7:00 Fecha: 3-3-07
 Parada: Hora: 7:20 Fecha: 4-3-07
 Nivel estático: 12m. Caudal medio: 200m³/h.
 Pozo observación: Diámetro: 100mm. Profundidad: 750m.
 Distancia: 165m.
 Datos del pozo N°: 1 Observado por: M.A.L.-A.F.L.

HORA	MINUTOS	TMENS	t/t'	Nivel Agua	S D S	Q (m ³ /h)	OBSERVACIONES
7:00:00	0			12.00	0.00		
7:00:15	0:15			11.00	0.00		
7:00:30	0:30			10.00	0.00		
7:00:45	0:45			9.00	0.00		
7:01:00	1:00			8.00	0.00	200	Inicio estacionado
7:01:15	1:15			7.00	0.00		
7:01:30	1:30			6.00	0.00		
7:01:45	1:45			5.00	0.00		
7:02:00	2:00			4.00	0.00		
7:02:15	2:15			3.00	0.00		
7:02:30	2:30			2.00	0.00		
7:02:45	2:45			1.00	0.00		
7:03:00	3:00			0.00	0.00		
7:03:15	3:15			0.00	0.00		
7:03:30	3:30			0.00	0.00		
7:03:45	3:45			0.00	0.00		
7:04:00	4:00			0.00	0.00		
7:04:15	4:15			0.00	0.00		
7:04:30	4:30			0.00	0.00		
7:04:45	4:45			0.00	0.00		
7:05:00	5:00			0.00	0.00		
7:05:15	5:15			0.00	0.00		
7:05:30	5:30			0.00	0.00		
7:05:45	5:45			0.00	0.00		
7:06:00	6:00			0.00	0.00		
7:06:15	6:15			0.00	0.00		
7:06:30	6:30			0.00	0.00		
7:06:45	6:45			0.00	0.00		
7:07:00	7:00			0.00	0.00		
7:07:15	7:15			0.00	0.00		
7:07:30	7:30			0.00	0.00		
7:07:45	7:45			0.00	0.00		
7:08:00	8:00			0.00	0.00		
7:08:15	8:15			0.00	0.00		
7:08:30	8:30			0.00	0.00		
7:08:45	8:45			0.00	0.00		
7:09:00	9:00			0.00	0.00		
7:09:15	9:15			0.00	0.00		
7:09:30	9:30			0.00	0.00		
7:09:45	9:45			0.00	0.00		
7:10:00	10:00			0.00	0.00		
7:10:15	10:15			0.00	0.00		
7:10:30	10:30			0.00	0.00		
7:10:45	10:45			0.00	0.00		
7:11:00	11:00			0.00	0.00		
7:11:15	11:15			0.00	0.00		
7:11:30	11:30			0.00	0.00		
7:11:45	11:45			0.00	0.00		
7:12:00	12:00			0.00	0.00		

Fig. N° 5. El registro de los datos en forma tabulada facilita su manejo. Toda la información necesaria para el análisis de los ensayos de bombeo debe estar anotada en esta planilla.

Durante el ensayo de bombeo se miden y registran en diversos tiempos los niveles del agua en el pozo de bombeo y en los varios pozos de observación. Se mide también la descarga del pozo de bombeo en distintas ocasiones durante la prueba para asegurarse que el caudal se mantenga constante.

Los datos registrados (fig. 5) durante el ensayo son la hora de la medición (columna 1) y el nivel de agua (columna 5). Luego de haber completado el ensayo, o durante

el desarrollo del ensayo si el tiempo lo permite, los valores de la hora se convierten en número de minutos desde que comenzó el bombeo. Para el período de recuperación se calculan el número de minutos desde que se detuvo la bomba y la relación t/t' . La depresión o la depresión residual se calcula restando el nivel estático de cada nivel de agua que se haya medido en el ensayo de bombeo.

El cálculo y el análisis de los datos del ensayo de bombeo podrá iniciarse cuando estén llenadas las columnas correspondientes de las planillas de datos. Ese análisis puede hacerse mediante el método tiempo-depresión o el método tiempo-recuperación. El primer paso para calcular la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento de un acuífero usando los datos de tiempo-depresión es volcar a papel semilogarítmico los valores calculados.

Como se muestra en la fig. 4, el tiempo se representa en la escala logarítmica (escala horizontal) y la depresión en la escala aritmética (escala vertical). Nótese que dado que la depresión es la medida del descenso de los niveles de agua, el cero se calcula en la parte superior de la escala y los valores aumentan hacia abajo de la hoja.

El próximo paso es trazar la línea recta que mejor vincule entre sí la mayoría de los puntos volcados en el papel. Antes de hacer eso, deberá prestarse atención a la parte izquierda del trazado. Al observar la fig. 4 se puede apreciar que los puntos forman una línea curva en esa zona. Esa forma de apartarse del resto de los demás puntos que están en línea recta se debe a inexactitudes de la ecuación de Jacob debidas a algunas de las suposiciones hechas al desarrollar la fórmula reducida. En efecto, la ecuación de Jacob se acerca a una relación lineal solamente cuando el tiempo (t) es grande y la distancia (r) al

pozo de observación es pequeña. En este caso, la ecuación de Jacob no es válida para aquellos puntos de un tiempo menor que 10 minutos. El tiempo que la curva tarda en coincidir con la recta depende de la distancia al pozo de observación, el coeficiente de almacenamiento y la transmisividad del acuífero. La magnitud de esa "separación", por consiguiente, varía de un gráfico a otro. Los puntos que se encuentran en esa porción "curva" del gráfico no deberán ser tomados en consideración para el trazado de la línea recta que mejor se adecue a los demás puntos.

Luego de haberse trazado la recta, podrán determinarse los dos números necesarios para completar los cálculos. Esos números son Δ_s , o la variación de depresión en un ciclo logarítmico del gráfico y t^0 que es el punto en donde la recta intersecta a la depresión cero.

Para determinar Δ_s se toma cualquier valor del tiempo en el gráfico y se anota la depresión para ese tiempo. Luego se divide ese tiempo por 10 y se ubica en el gráfico ese nuevo tiempo. Se anota el valor de la depresión que corresponde a ese nuevo tiempo y se lo resta del valor de la primera depresión que se eligió anteriormente. Esa diferencia es Δ_s .

Generalmente los tiempos que se usan son múltiplos de 10, como 1.000 minutos y 100 minutos usados en nuestro ejemplo.

Sin embargo, para determinar AS pueden emplearse cualesquiera otros dos valores que tengan una relación de 10 entre sí (20 minutos y 2 minutos, 500 minutos y 50 minutos, etc.).

El valor de t_0 se determina directamente del gráfico. En algunos casos puede ser necesario agregar hojas adicionales al papel de gráficos para extender la línea recta o bien utilizar técnicas de extrapolación para determinar el punto en que la línea recta intersecte la línea de depresión cero.

En nuestro ejemplo se determinó que el Δ_s es 1,37 m y el t^0 es de 1,72 minutos. Se podrá ahora calcular la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Los únicos otros dos datos necesarios para los cálculos son la descarga del pozo (Q) y la distancia entre el pozo de bombeo y el pozo de observación. La transmisividad se calcula usando la ecuación (2). Reemplazando los valores adecuados en esta ecuación se calcula como sigue:

$$T = \frac{4,4 \times 200}{1,37} = 642,34 \text{ m}^3/\text{d. metro}$$

Dado que las condiciones en la naturaleza jamás son completamente uniformes, la transmisividad nunca podrá ser calculada con la exactitud que se muestra en el ejemplo. Por lo tanto generalmente, se redondea la cifra a la decena más baja. Es decir 640 m³/d. metro sería la transmisividad aceptable para el ejemplo indicado.

De una manera similar, se calcula el coeficiente de almacenamiento usando la fórmula (3). Para nuestro ejemplo los cálculos son:

$$S = \frac{2,25 \times 640 \times \frac{1,72}{1440}}{(165)^2} = 6,31 \times 10^{-5}$$

También se redondea este coeficiente con un solo decimal. En el ejemplo considerado el coeficiente de almacenamiento de la formación sería $6,3 \times 10^{-5}$. Nótese que el tiempo t en esta ecuación es en días y t_0 que se determina por la prolongación de la recta del gráfico debe ser convertido a tiempo en días. Ello se logra dividiendo el valor del tiempo por 1.440 (número de minutos en un día).

Cuando se efectúan esos cálculos para el pozo de bombeo, el coeficiente de almacenamiento no resulta real, pues el pozo nunca es 100 % eficiente.

Esa ineficiencia hace que el gráfico de tiempo-depresión se desplace hacia abajo. Entonces cuando se trace la línea recta el valor de t_0 se desplazará hacia la izquierda. Como resultado se tendrá que el coeficiente de almacenamiento que se calcule con los datos del pozo de bombeo siempre será menor que el real valor del acuífero. La ineficiencia del pozo de bombeo, especialmente si es marcada, hace que del gráfico tiempo-depresión tome la forma de una S "achatada" o de recorrido sinuoso. Si en el gráfico se observara eso, deberá descartarse ese tramo cuando se traza la línea recta.

El ejemplo usado en este artículo es un pozo que cumple todas las condiciones necesarias para que sea válido el método de Jacob, lo que verdaderamente es una situación poco usual en la naturaleza. Sin embargo, en la mayoría de los acuíferos son suficientemente amplias y uniformes para permitir la obtención de buenos resultados.

Existen algunas condiciones (llamadas efectos de límite) que alteran profundamente los resultados del método.

Un límite de recarga es el que agrega agua al acuífero o lo recarga. El efecto de este límite es que los niveles de agua, según se los mide en el ensayo de bombeo, no descienden tan rápido como debieran. En el momento que se encuentra un límite de recarga, los puntos volcados al gráfico tendrán una tendencia hacia arriba. A veces pueden identificarse los límites de esa recarga. Los lagos, ríos u otros cuerpos de agua cercanos pueden recargar los acuíferos no-confinados (freáticos). Otras veces los límites pueden ser más sutiles. Un acuífero confinado (artesiano) que aumente su espesor, por ejemplo, podrá aparecer como una recarga aunque el acuífero no sufra realmente ninguna recarga:

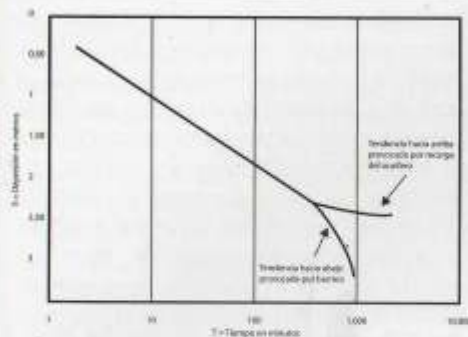


Fig. N° 6. Cuando se encuentra un límite durante el ensayo de bombeo, el gráfico de tiempo-depresión tenderá hacia arriba (recarga) o hacia abajo (barrera) respecto de su posición teórica.

Una barrera es el caso opuesto a un límite de recarga, es decir, restringe el flujo de agua a través del acuífero. Desde que el flujo de agua es restringido el efecto en el acuífero es que los niveles de agua descenderán mucho más rápido que lo anticipado en el ensayo de bombeo. Eso hace que el gráfico tiempo-depresión muestre la línea de puntos con inflexión hacia abajo. En un acuífero no-confinado la barrera podrá identificarse por un afloramiento cercano de granito u otra roca impermeable. En un acuífero confinado la barrera puede ser el adelgazamiento del acuífero, una falla que corte el acuífero o cualquier otra razón geológica similar.

Cuando en el transcurso del ensayo de bombeo se encuentra una recarga o una barrera, se tendrá especial cuidado con el trazado de la recta que una los puntos marcados en el gráfico. Se considera lo mejor usar la parte del gráfico anterior a las anomalías para trazar la recta. La fig. 6 muestra de qué manera la recarga o la barrera afectan el trazado de la recta.

Es posible que durante el ensayo de bombeo se encuentre más de un límite, así habrá 2 ó 3 "quebraduras" de la recta hacia arriba o hacia abajo, según sean recarga o barrera.

El método de tiempo-recuperación usa los datos de recuperación tomados luego de la detención de la bomba. Muchos técnicos opinan que el ensayo tiene más validez de esta manera puesto que la bomba no funciona. Este aserto es particularmente válido para los datos obtenidos del pozo de bombeo. Además, los datos de la recuperación están menos influidos por las condiciones de límite que los datos empleados para el método de tiempo-depresión. Teóricamente, cuando se inyecta agua en un acuífero los niveles de agua en el pozo de bombeo y en los pozos de observación ascenderán en la misma relación que bajaron cuando el agua era bombeada del acuífero. Esa es la premisa en la que se basa el método tiempo-recuperación.

Cuando se detiene la bomba usada para el ensayo de bombeo, el efecto en el acuífero puede ser considerado como si se pusiera en marcha una segunda bomba que inyectara agua en el acuífero. La depresión residual (s') puede ser considerada, entonces, como el resultado de dos efectos. El primer efecto es el bombeo continuado del pozo que provoca el descenso de los niveles de agua. El segundo efecto es el de un segundo pozo que inyecte agua en el acuífero al mismo régimen que el pozo de bombeo que extrae agua del acuífero.

Esa segunda "bomba" se considera como puesta en marcha cuando la verdadera bomba usada para el ensayo se detiene y deja de funcionar. La "inyección" de agua provoca el ascenso de los niveles de agua. El resultado final es que los niveles de agua ascienden o recuperan el nivel estático en los pozos de observación y de bombeo. Al analizar esos dos efectos con la ecuación de Jacob (1) Inmediatamente se pone en evidencia que la depresión residual (s') está relacionada con la transmisividad, el régimen de bombeo y la relación t/t' (ec.:4).

$$s' = 2,25 Q/T \times \log t/t' \quad (5)$$

Esta ecuación puede ser cambiada a una forma similar a la utilizada para calcular la transmisividad a partir de los datos de tiempo-depresión (3). El análisis de los datos de tiempo-recuperación es similar al usado para los datos de tiempo-depresión. Los datos se vuelcan a papel semilogarítmico usando la escala horizontal logarítmica para representar t/t' y la escala vertical aritmética para la depresión residual (s'). Dado que la proporción t/t' nunca puede ser menor que 1, la parte inferior de este gráfico siempre se marcará como 1. Nótese que en este gráfico la desviación de la línea recta aparece a la derecha.

El trazado de la mejor línea recta y el valor de Δ_c se determina de la misma manera que para el caso del método tiempo-depresión (fig. 7). Usando el valor de Δ_c en la ecuación (3) se determinará la transmisividad del acuífero:

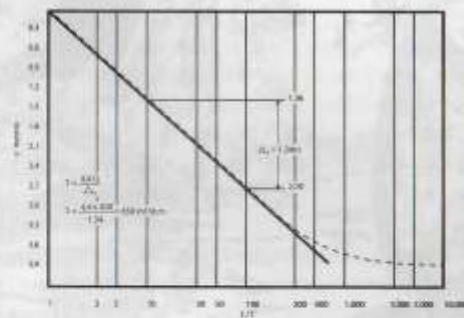


Fig. N° 7. Ejemplo de diagrama tiempo-recuperación que muestra la línea recta que mejor se adapta a los puntos, la Δ_c y los cálculos utilizados para determinar la transmisividad.

Con este método existe un inconveniente de menor cuantía. El coeficiente de almacenamiento cae fuera de las posibilidades de la ecuación (4) y, entonces, no hay manera de resolverlo. No obstante, el hecho de no estar así capacitado para calcular el coeficiente de almacenamiento

no constituye una desventaja seria. El coeficiente de almacenamiento integra la fórmula de Jacob en término logarítmico, razón por la cual un error grande en el coeficiente de almacenamiento se ve apreciablemente reducido cuando se toma su logaritmo.

Cuando no puede calcularse el coeficiente de almacenamiento se considera que pueden emplearse valores de 0,1 para acuíferos no-confinados y de 0,0001 para acuíferos confinados, que son de una aproximación suficiente.

Según puede verse en la fig. 8, los límites afectan de diferente modo a los datos de recuperación y de depresión. En condiciones ideales, la línea recta que se traza por unión de los puntos volcados al gráfico debe intersectar la parte superior izquierda del gráfico ($t/t' = 1$; $s' = 0$). No obstante, cuando se encuentra un límite de recarga, el acuífero se recupera más rápidamente de lo que debiera y toda la línea recta es desplazada hacia arriba. A la inversa, cuando se encuentra una barrera, el acuífero se recupera más lentamente y la recta es desplazada hacia abajo.

A lo largo de todo el desarrollo de este artículo se han empleado derivaciones de la ecuación de Jacob para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Ahora, que esos valores ya han sido calculados, pueden ser usados en la ecuación de Jacob para calcular el comportamiento del pozo y del acuífero en que se funda nuestro interés. Los más importantes de ellos son la máxima producción posible de un pozo y la eficiencia del pozo. Mediante una rápida regla pueden aproximarse las cifras de esos valores, que aunque sean cálculos groseros, a veces resultan de utilidad práctica. La capacidad específica de un pozo (Q/s) puede ser estimada dividiendo la transmisividad por

26,47 para acuíferos no-confinados y por 35,3 para acuíferos confinados. Comparando esos valores con la capacidad específica del pozo, determinada con el ensayo de bombeo, podrá estimarse la eficiencia del pozo. Asimismo, multiplicando ese valor por la depresión disponible en el pozo, se podrá estimar la máxima producción del pozo. Mediante el manejo de las ecuaciones usadas en este artículo y construyendo las curvas de distancia-depresión se puede determinar con mayor exactitud la eficiencia y la producción máxima de un pozo. También se pueden determinar la interferencia entre dos o más pozos y otras informaciones adicionales.

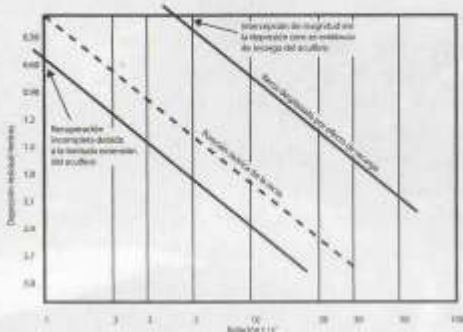


Fig. N° 8. El efecto de límite puede provocar que el gráfico de tiempo-recuperación se desplace hacia arriba (recarga) o hacia abajo (barrera) respecto de su posición teórica.



Perfilaje de rayos gamma

El perfilaje de rayos gamma se efectúa bajando al interior del pozo el detector adecuado para registrar las variaciones de los rayos gamma radiactivos que se desprenden de las rocas a diversas profundidades. Constituye una de las técnicas de perfilaje geofísico.

El perfilaje geofísico de los pozos comprende todos los sistemas que hacen descender al pozo dispositivos detectores o sensores y efectúan la correspondiente medición de alguna propiedad significativa de los materiales subterráneos que esté indirectamente relacionada con el carácter geológico e hidrológico de esos materiales. El perfilaje eléctrico mide las resistividades eléctricas aparentes de los estratos atravesados por la perforación y detecta los potenciales espontáneos que se originan entre los fluidos de los estratos adyacentes y el fluido de perforación (inyección). El perfilaje de rayos gamma naturales mide la intensidad relativa de las emisiones naturales de rayos gamma de baja intensidad que se desprenden de los estratos de arcilla, limo, arena, grava y las rocas duras.

Los rayos gamma, similares en muchos aspectos a los rayos X, son emitidos o irradiados por ciertas partículas radiactivas que, a diversas concentraciones, es común encontrar en todos los materiales geológicos del subsuelo. Sucede que la concentración de tales partículas es mayor en las formaciones de arcilla que en las formaciones de arena de cuarzo limpias.

Un detector de rayos gamma, por consiguiente, puede distinguir entre arcilla y arena de cuarzo. Cuando se instala el detector cerca de una formación de arcilla, recoge mayor concentración de rayos gamma que si se lo colocara cerca de una formación cuarzosa.

Esta es la esencia del perfilaje de rayos gamma de los pozos. Cuando los datos se grafican —en forma similar a como se hace con el perfilaje eléctrico corriente—, el diagrama muestra las diversas intensidades de rayos gamma que se detectan a distintas profundidades.

Tanto los rayos gamma como otros tipos de emisiones de energía se desprenden de minerales radiactivos naturales. Sin embargo, en el perfilaje de pozos sólo se miden los rayos gamma, por su particularidad de penetrar materiales de gran densidad, tales como la aislación de cemento que rodea la tubería de revestimiento y aun la misma tubería.

El perfilaje de rayos gamma, por lo tanto, tiene una ventaja fundamental sobre el perfilaje eléctrico. Puede ser efectuado indistintamente en pozos entubados o en perforaciones abiertas que contengan aire, agua o fluido de perforación. El perfilaje eléctrico sólo puede realizarse en perforaciones sin entubado llenas de fluido de perforación. El equipo de rayos gamma puede perfilar pozos viejos cuyos perfiles originales hayan sido extraviados o destruidos.

Los rayos gamma son emitidos a intervalos irregulares por los minerales radiactivos de un tipo dado de material geológico. Esto significa que el número de pulsos de energía emitidos por segundo o por minuto varía dentro de ciertos valores máximos y mínimos.

Debe considerarse un segundo elemento fortuito pues estos pulsos irregulares chocan contra el elemento de detección que está en el dispositivo detector de perfilaje. No todos los pulsos emitidos por el material radiactivo son recogidos por el aparato detector. La proporción en que realmente son captados es muy variable. Este hecho y la naturaleza estadística de la emisión de rayos gamma deben ser

considerados cuando se procede a la lectura o interpretación de los perfiles de rayos gamma.

Número de pulsos

La intensidad de la radiación de un material geológico determinado está relacionada con el número de pulsos detectados por unidad de tiempo mediante el instrumento utilizado en la operación de perfilaje. Esta intensidad es expresada como el número promedio de "cuentas por segundo" o "cuentas por minuto" en un período de tiempo dado, durante el cual los pulsos son recibidos por el detector. En perfilaje radiactivo se denomina "constante de tiempo" al período durante el cual se promedian las cuentas o pulsos. Esa constante de tiempo es seleccionada por el operador basándose en las características de cada tipo de aparato y en la experiencia que tenga perfilar dentro de una zona delimitada o región geológica.

Para ilustrar el efecto de la constante de tiempo supóngase que 40 cuentas se registran en 20 segundos en el detector ubicado a 60 m de profundidad. Eso representaría un promedio de 2 cuentas por segundo en un período de 20 segundos, o su equivalente de 120 cuentas por minuto. Si las cuentas debieran ser registradas para cada segundo individualmente durante el período de 20 segundos, algunos intervalos de 1 segundo marcarían sólo 1 cuenta, otros 2 cuentas y el resto indicaría 3 cuentas por segundo.

La frecuencia fortuita en tal caso varía de 1 cuenta a 3 cuentas por segundo. Con una constante de tiempo de sólo 1 segundo, por lo tanto el registro indicaría 1, 2 ó 3 cuentas por segundo, dependiendo de cuál fuera el intervalo de 1 segundo elegido para la medición observada a 60 m de profundidad.

Constante de tiempo

Si se elige una constante de tiempo muy corta se tendrán mayores fluctuaciones en cuentas por segundo o por minuto si se las compara con las cuentas sobre una constante más prolongada.

Cuando se perfila con el dispositivo contador de radiaciones con un movimiento ascendente a velocidad continua dentro de la perforación, deberán elegirse constantes de tiempo relativamente cortas. Esta es la situación de un aparato de perfilaje con registrador automático que traza una curva continua simultáneamente con el movimiento del dispositivo que capta las emisiones en el pozo. La constante de tiempo y la velocidad de perfilaje deben estar perfectamente coordinadas para obtener un buen perfil.

Las constantes de tiempo de períodos más prolongados son de fácil empleo con un equipo de perfilaje accionado manualmente en el que las mediciones se realizan con el dispositivo de captación detenido en cada tramo. Con este tipo de sistema de perfilaje, las mediciones se registran en el campo y se vuelcan en la oficina en forma manual.

Los rayos gamma que detecta el dispositivo de captación se originan en el material que está a una distancia relativamente corta de los alrededores de la perforación. El detector capta radiaciones de un volumen aproximadamente esférico de material. Se llama "radio de investigación" del detector al radio de una esfera cuyo contenido produce el 90% de los pulsos que alcanzan el dispositivo de captación. La dimensión horizontal de la perforación se incluye dentro del radio de investigación. De acuerdo con ello, es evidente que, en una situación dada, el diámetro de la perforación tiene cierta influencia en las mediciones.

La Fig. N° 2 muestra el concepto del radio de investigación. Los geofísicos del U.S.

Geological Survey estiman que el 90% de los rayos gamma detectados durante el perfilaje se originan en un límite hasta 150 mm a 300 mm de la pared del pozo.

La Fig. N° 2 también muestra cómo las emisiones combinadas de los estratos adyacentes, constituidos por materiales diferentes, influyen en las mediciones en las que parte de cada capa se encuentra dentro del radio de investigación del detector.

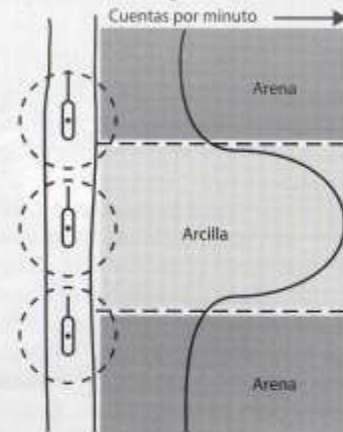


Fig. N° 2 Posiciones sucesivas del detector de rayos gamma que muestran cómo el radio de investigación incluye arena y arcilla tanto en el límite superior como en el límite inferior del estrato de arcilla.

En la interfase de dos capas no se produce abruptamente el cambio de cuentas por segundo.

Como resultado, en este ejemplo, la curva del registro se "redondea" entre cortos tramos, tanto en la parte superior como en la inferior de la arcilla. Esta particularidad debe ser muy bien tenida en cuenta cuando se usa el perfil para determinar el espesor de una capa en particular. A causa de ello, también se debe reconocer que las capas muy delgadas, de no mayor espesor que el radio de investigación, pueden pasar desapercibidas en el perfil de rayos gamma.

El circuito electrónico de un aparato de perfilaje de rayos gamma consta de

un detector, una fuente de energía de alto voltaje, un amplificador de pulsos, un regulador de voltaje y un "timer" electrónico.

La mayoría de los instrumentos para pozos de petróleo y algunas unidades para pozos de agua usan como detectores tubos Geiger-Müller (G.M.) llenos de gas. Otras unidades para pozos de agua emplean un "scintillador" con detector a cristal de talio-ioduro de sodio activado, pero no puede ser empleado a temperaturas superiores a 65° C (150° F).

Amplificador transistorizado

El tubo Geiger-Müller es un detector menos eficaz, pero el dispositivo de captación del instrumento GR 71, diseñado por W. G. Keck y Asociados, dispone de 7 tubos para lograr una sensibilidad satisfactoria. Esos tubos están alojados en un cilindro de P.V.C. de 33 mm de diámetro por 380 mm de largo.

El instrumento G.R. 71 tiene el amplificador de pulsos, de estado sólido, en una sección del dispositivo de captación, completamente aislado de los tubos G.M. Este amplificador transistorizado está en un tramo de 10 cm de largo del cilindro de P.V.C. relleno de resina epoxy.

Los minerales que comúnmente se encuentran en los materiales ordinarios del subsuelo como arcillas, arenas, calcáreos y areniscas contienen potasio radiactivo K40 y algunos productos de desintegración de uranio y torio. El más importante de ellos es el potasio K 40, puesto que se presenta en mucha mayor cantidad que las otras partículas radiactivas.

El potasio es un constituyente importante de la arcilla, mica, feldespato y lutitas. Del total de potasio contenido en esos materiales, cerca del 0.012 por ciento es el isótopo radiactivo potasio-40 que emite rayos gamma.

Las arenas de cuarzo no contienen potasio ni potasio 40 radiactivo. Por lo tanto, un estrato de arena emite muy pocos rayos gamma.

Normalmente, el registro de rayos gamma muestra más cuentas por minuto en niveles correspondientes a capas de arcilla o lutitas y menos cuentas por minuto en niveles correspondientes a capas de arena o areniscas si la arena es de cuarzo. La actividad en rayos gamma de la arcilla o estratos con contenido de arcilla es relativamente elevada por la simple razón de que la arcilla contiene más potasio 40.

Los granos de feldespato

En algunos casos en que las arenas incluyen una gran proporción de granos de feldespato se originan problemas de interpretación del perfil geofísico. El feldespato, contrariamente al cuarzo, contiene potasio y potasio radiactivo K40.

Una arena de feldespato puede emitir rayos gamma en una intensidad que se acerca a la de la arcilla. El contraste de los rayos gamma, entre la arcilla y ese tipo de arena feldespática, por consiguiente, no es tan marcado como entre la arcilla y el cuarzo. Como resultado, el perfil podría no identificar las capas de arenas feldespáticas de manera tan evidente como uno querría. Este es un punto importante para tener presente cuando se efectúan perfiles en pozos perforados en materiales glaciales, en los que el feldespato es a menudo un mineral de relevancia en la constitución de los granos de arena.

Para la correcta interpretación del perfil, en tales casos, es necesario el conocimiento de la geología local y una gran experiencia en perfilajes. Los casos en que la arenisca u otras formaciones contienen inclusiones de material volcánico con cantidades relativamente grandes de minerales radiactivos constituyen importantes

excepciones a todas las comparaciones generalizadas precedentes. La mena de uranio y otras rocas muy radiactivas son, por supuesto, de una categoría completamente diferente a las formaciones relacionadas de ordinario con los pozos de agua.

Diámetro de la perforación

Otro problema de interpretación está relacionado con el diámetro de la perforación. Donde se encuentran lutitas o arcillas desmoronables y ocurre un derrumbamiento o lavado de la pared del pozo, el perfilaje de rayos gamma indicará bajos niveles de radiactividad frente a los tramos ensanchados de la perforación. En ese caso el perfil parecería indicar un estrato de arena. Las muestras y el perfil del perforista ayudarán a superar esta dificultad de interpretación.

Hasta este momento, el perfil de rayos gamma ha sido descrito como una curva que indica el promedio de cuentas por minuto o por segundo volcada en un gráfico en función de la profundidad a que fue hecha la lectura. A menudo es conveniente, sin embargo, considerar la Inversa de las cuentas por unidad de tiempo, que es el tiempo en segundos para un arbitrario número de cuentas que recoge el detector.

El "timer" electrónico del modelo G.R. 71 ofrece este tipo de medición. Ese "timer" indica automáticamente el número de segundos requeridos para 50, 100 ó 200 pulsos o cuentas. Durante la operación de perfilaje las medidas se registran como "segundos por 50 cuentas", por ejemplo.

Esos valores de los tiempos se grafican contra las profundidades para obtener el gráfico del perfil. Las inflexiones relativas de la curva trazada de la manera descrita se corresponden generalmente con las de la curva de resistividad da un perfilaje eléctrico.

Perforación y diseño

Una deflexión pronunciada hacia la derecha tanto en el perfilaje de rayos gamma como en el perfilaje eléctrico indicaría la existencia de un estrato de arena limpia conteniendo agua dulce.

El perfilaje de rayos gamma es un elemento útil para la perforación de pozos de agua y para el diseño de pozos. Es el único método práctico de perfilaje que se puede utilizar en pozos entubados perforados a percusión y en pozos viejos ya entubados que necesiten ser rehabilitados. En los pozos perforados a rotación, el perfilaje de rayos gamma es un método suplementario del perfilaje eléctrico y proporciona útiles informaciones adicionales sobre los estratos acuíferos. Todos los perfilajes geofísicos deben ser interpretados junto con los perfiles del perforista, las muestras de las formaciones atravesadas y un conocimiento general de la geología de la zona.

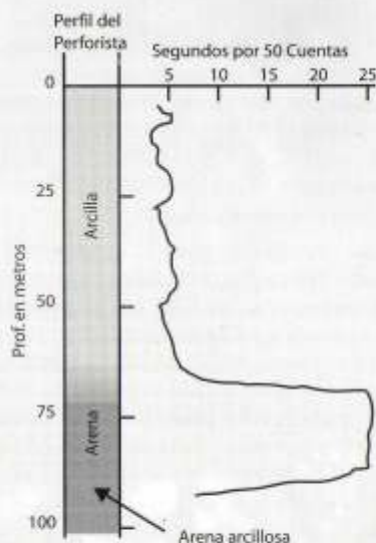


Fig. N° 3. Perfil de rayos gamma con las inversas de las cuentas por segundo graficadas en función de la profundidad; la curva se pronuncia hacia la derecha frente a la capa de arena en forma similar al perfil eléctrico.

Nahuelco/Johnson regresa a sus raíces

La empresa Nahuelco/Johnson nuevamente cuenta con su producto REVERT II (Polímero Orgánico) para Fluidos de perforación.

FLUIDO DE PERFORACION ORGANICO REVERT®

Aplicaciones típicas

- ❖ Pozos de Agua
- ❖ Pozos de Monitoreo
- ❖ Pozos de Recuperación
- ❖ Pozos Horizontales

Beneficios

- ❖ Mínimo daño a la formación
- ❖ Desarrollo más rápido del pozo
- ❖ Capacidad de construcción de alta viscosidad
- ❖ Mejores muestras de la formación
- ❖ Reducción de los problemas por hinchamiento de arcilla
- ❖ Se mezcla con aguas salinas
- ❖ Menor abrasión
- ❖ Menor desgaste por abrasión
- ❖ Mejor velocidad de penetración
- ❖ Menores costos de electricidad/combustible
- ❖ Biodegradable

Durante más de 30 años, Revert ha sido usado en miles de pozos municipales, domésticos, industriales y de irrigación. El monitoreo constante de la calidad del agua por parte de las municipalidades ha comprobado que los pozos perforados y correctamente completados con el polímero Revert han producido excelentes rindes de agua sin bacterias. Dado que Revert está hecho con polímero de goma guar con estándares alimenticios, (Fig 1) no contiene toxinas ni productos químicos que son futuras fuentes de contaminación de los pozos.

Ventajas

MINIMIZA EL DAÑO A LA FORMACION

Los fluidos de perforación se agregan a la formación durante la perforación. Por lo tanto, la permeabilidad del acuífero se ve reducida si no se quita totalmente el fluido de perforación durante el desarrollo del pozo. Con los sistemas de fluidos convencionales, se puede formar una torta de lodo casi impermeable sobre la pared. Dado que la viscosidad de Revert se puede reducir casi a la del agua, su remoción durante el desarrollo del pozo es mucho más fácil.

EL TRABAJO SE LOGRA CON MENOS FLUIDO DE PERFORACION

Revert tiene de ocho a diez veces la capacidad de construcción viscosa que la bentonita (Figura 2). Esto significa que el fluido Revert tiene menos que 1/8 de los sólidos de los lodos convencionales con la misma viscosidad, lo que significa una menor cantidad de kilos de fluido de perforación.

SE PRODUCEN MEJORES MUESTRAS

Debido a que la arcilla no se mezcla fácilmente con el Revert, los materiales extraños de arcilla no contaminan a las muestras. Las arcillas nativas penetradas por la barrena se muestran separadas y nítidas.

POLIMERO NATURAL DE GOMA GUAR CON ESTANDARES ALIMENTICIOS

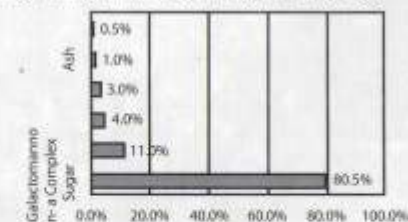


Figura 1

SOLUCION PARA PROBLEMAS DE DERRUMBAMIENTO, HINCHAMIENTO Y COMPACTACION

El Revert encapsula o cubre las arcillas para evitar los problemas que ocurren cuando cierto tipo de arcillas y estratos de esquistos se mojan. Se consiguen agujeros de inspección más limpios y uniformes que con los lodos basados en bentonita.

LAS AGUAS SALINAS NO SON UN PROBLEMA

El Revert, al revés de lo que sucede con la bentonita o las arcillas nativas, se mezcla bien con estas aguas. No es necesario cambiar el sistema de lodos al encontrarse con agua salina durante la perforación.

LAS VIRUTAS SE ASIENTAN MUCHO MAS RAPIDO

Las arenas abrasivas y otras virutas que circulan en el sistema de lodos pueden obstruir a las muestras, y –más importante– pueden causar desgaste por abrasión en las camisas de la bomba de lodos y en otras partes. La menor intensidad del gel de Revert permite que las virutas se asienten más rápido.

MEJOR VELOCIDAD DE PENETRACION

La menor densidad del Revert reduce drásticamente la fricción del fluido en los sistemas de circulación. Por lo tanto hay más fluido de perforación en la barrena, que es donde más se necesita. Se puede perforar de forma más rápida pozos más grandes y más profundos.

MEZCLA DE REVERT II

Revert es tan fácil de mezclar como los fluidos de perforación convencionales. Típicamente se utiliza un mezclador a chorro (jet). El Revert no debe ser arrojado sin mezclar al foso de lodos. Si se lo alimenta demasiado rápido al mezclador

formará "grumos" debido a la hidratación incompleta. Se recomienda una alimentación típica de 110 kg/hora con un mezclador a chorro (jet). Esto hidratará todas las partículas del Revert. Para trabajos más pequeños, se puede espolvorear el Revert en un barril de agua en donde se genera turbulencia por medio de paletas o de una pequeña bomba. Un barril de fluido mezclado de esta manera puede ser suficiente para una operación de herramientas de cable, de mecha de barrena, o de chorro. Las velocidades de hidratación varían según las condiciones locales, pero en términos generales se puede lograr una viscosidad adecuada luego de __ a __ horas después de la mezcla.

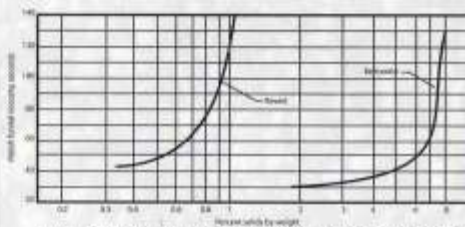


Figure 2. The viscosity-building properties of the polymeric additive, Super GG HV, are about 10 times those of bentonite for the range of Marsh funnel

Se utiliza un embudo Marsh, una taza, y una balanza de lodos para medir la viscosidad y el peso de la mezcla de fluido. (Figura 3). El pH del fluido de perforación se puede medir periódicamente con un medidor de pH o un papel de pruebas.

Material Drilled	Desiref MFV (Seconds)	LB. REVERT II Per 100 Gal. At Mixing Water Temp (°F) of...		
		45°	60°	85°
Fine Sand	40	2.8	3.5	4.2
Medium Sand	50	4.2	4.7	5.6
Coarse Sand	60	4.9	5.5	6.5
Gravel	70	5.5	6.1	7.0
Coarse Gravel	80	6.0	6.5	7.4

Figure 3. A suitable viscosity of REVERT II drilling fluid can be obtained for various combinations of temperatures and formation materials.

Los factores que afectan a la viscosidad

La viscosidad dada por una determinada cantidad de Revert en agua puede ser afectada por varias condiciones, tales como la temperatura, pH y salinidad del agua de mezcla. Cuanto más alta es la temperatura del agua, más Revert se necesita para lograr una viscosidad dada.

La mayoría del agua subterránea tiene un pH que varía entre 5,5 a 8,0. Dentro de esos límites, el Revert se mezcla fácilmente y forma un fluido adecuado. (Figura 4). Luego de la mezcla, la viscosidad del fluido de perforación debe medirse con un embudo Marsh. En ese momento, se pueden ajustar las propiedades del fluido agregando más Revert o agregando más agua. En términos generales, sólo pequeñas cantidades de Revert serán necesarias para compensar variaciones de salinidad, pH o temperatura del agua.

Cuanto más alto es el pH del agua, (más alcalino) más tiempo llevará la hidratación y más baja será la viscosidad para una cantidad dada de Revert. La mezcla con agua salina en lugar de agua dulce también dará como resultado un fluido de baja viscosidad.

Condiciones Especiales de Campo

En ocasiones poco frecuentes, las cualidades del agua utilizada para mezclar el Revert pueden afectar la velocidad de mezcla y la viscosidad final del fluido de perforación. Esto puede ocurrir cuando se perfora sobre una lechada de cemento fresca y se contamina el fluido de perforación, elevando notablemente el pH. En este caso, el Revert no se hidratará y el fluido de perforación no se tornará viscoso. Si esto ocurre, se debe dar por perdido al Revert o se debe reducir el pH. Esto se puede lograr agregando ácido clorhídrico, muriático u otro tipo de ácido como el NW-100 de Johnson.

Si el agua de mezcla contiene mucho hierro –más de 3 mg/l– puede formar un compuesto de hierro complejo con el Revert que dará como resultado con menor viscosidad que la normal. Se puede tratar el agua con 600 gramos de polvo de hipoclorito de calcio (HTH) u 8 litros de hipoclorito de sodio (5%) cada 4000 litros de agua de mezcla. Esto dará como resultado una solución con 100 ppm de cloro. Esto desinfectará al agua y oxidará al hierro disuelto.

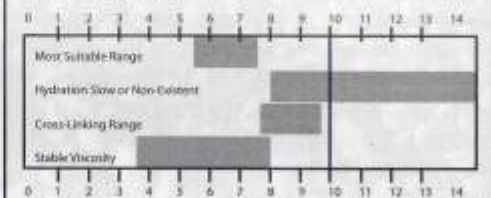


Figure 4. Revert system's pH must be maintained below 10 at all times. For most applications, a neutral to slightly acid pH is best.

Hay una tercera condición que consiste en elementos químicos, tales como los metales pesados, que pueden hacer que el fluido de perforación Revert se gelifique, o que pueden impedir una correcta hidratación del Revert. Los fluidos gelificados son resistentes al flujo y pueden ser difíciles de manejar. En este caso, el sistema debe ser clorado tal cual se describe más arriba para oxidar los metales presentes. Si fuera necesario, también hay que bajar el pH con tratamientos de ácido como se mencionó anteriormente.

En general, el agua de mezcla debe ser clorada si se sospecha la presencia de cualquiera de los elementos mencionados, o si el agua de mezcla proviene de una fuente sin tratar de la superficie. Antes de mezclar y durante la perforación, el pH se debe mantener cerca de neutral y debe contener un residuo medible de cloro libre. El cloro no debe sobrepasar las 200 ppm, ya que el fluido de perforación Revert se rompe (pierde viscosidad) con un contenido de cloro de aproximadamente 500 ppm.

Control de viscosidad

En la Fig 5 se muestra el tiempo que el Revert mantendrá una viscosidad dada bajo condiciones típicas. Con temperaturas altas, el Revert tiende a "romperse" o perder viscosidad más rápido. Esto se debe en parte al crecimiento de ciertos microorganismos que son más prolíficos a temperaturas de 27° - 49°. Las enzimas que producen estos microorganismos agregadas a las que son inherentes del Revert pueden acelerar la "rotura" del Revert. Se deben tomar precauciones en los casos en que estos microorganismos o bacterias del suelo puedan estar presentes.

Si se cava la fosa de lodos, debe estar forrada con plástico. El agua de mezcla se puede desinfectar con 100 ppm de cloro.

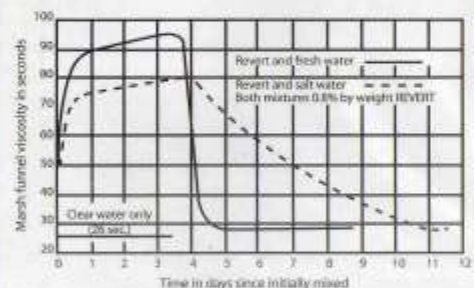


Figure 5. Revert mixes well with either fresh or salt water. Curves show the change in fluid viscosity with time in a typical drilling fluid of 0.8% Revert by weight at 70°.

Hay ocasiones en donde es deseable acelerar la descomposición del fluido. Una de las técnicas consiste en agregar persulfato de amonio (NH4) 2S2O8 y sulfato ferroso (FeSO4) directamente a la fosa de lodos a razón de 1kg de cada compuesto por cada 25 kg de Revert en el sistema de fluido. Se hace circular al fluido hasta su descomposición, generalmente a los 10-20 minutos luego de la mezcla.

Si el fluido Revert ha penetrado una formación muy permeable, reducirá temporalmente la eficiencia del pozo y puede llegar a dar información de

bombeo equivocada. Para retirar el fluido, se debe desarrollar el pozo con chorros horizontales de alta velocidad que contengan una solución 1000 ppm de cloro para descomponer al Revert. Esto nos otorga el beneficio adicional de desinfectar el pozo. Ver la Figura 6 para la mezcla de compuestos de cloro.

Cuando se utilizan concentraciones altas de cloro, a veces es más útil usar hipoclorito de sodio en lugar de hipoclorito de calcio. Esto es especialmente recomendable en formaciones de granos finos donde el pH del agua de la formación es más alto que 7 y el agua puede contener cantidades significantes de calcio.

Una solución de 1000-ppm de hipoclorito de calcio contiene aproximadamente 280 ppm de calcio. El calcio tiende a precipitarse en soluciones de aproximadamente 300 ppm. Por lo tanto, si los niveles combinados de calcio exceden las 300-ppm, podrían detonar la precipitación de hidróxido de calcio en la formación y se necesitaría un tratamiento de ácido consiguiente para restaurar la permeabilidad original.

Hay otras condiciones tales como la presencia de lodo gelificado o lodo saturado de sal que pueden hacer difícil la aceleración de la descomposición de la viscosidad. El proceso de clorinación descrito más arriba debería solucionar el problema.

SODIUM HYPOCHLORITE				
Available Chlorine	PPM (in 1,000 Gal. of water)			
	50	100	500	1,000
3%	1.7 gal	3.3 gal	16.7 gal	33.3 gal
5%	1.0 gal	2.0 gal	10.0 gal	20.0 gal
10%	0.5 gal	1.0 gal	5.0 gal	10.0 gal
15%	0.3 gal	0.7 gal	3.3 gal	6.7 gal
CALCIUM HYPOCHLORITE				
65%	0.6 lb	1.3 lb	6.4 lb	12.8 lb

Figure 6. The above quantities of chlorine compounds added to 1,000 gallons of water will produce the most commonly used concentrations of chlorine in a drilling fluid. Note that sodium hypochlorite is measured in gallons; calcium hypochlorite in pounds.

Control del peso del fluido

El peso del fluido de perforación Revert es ligeramente superior al del agua aproximadamente 1,02 kg por litro. Cuando debemos trabajar con presiones artesianas, puede ser necesario incrementar el peso del fluido para controlar el flujo del agua hacia el agujero desde la formación para evitar el desmoronamiento. La mejor manera de agregar peso al Revert es con sal -cloruro de calcio o cloruro de sodio- tanto antes como después de mezclar el fluido.

Esto produce un fluido con peso en su solución en lugar de los fluidos con peso por suspensión de las bentonitas.

La Figura 7 nos muestra la razón aproximada recomendada de sal a volumen de fluido para lograr el peso de fluido deseado.

Fluid weight (Lb/Gal)	NaCL		CaCL	
	Lb/1000 Gal	Freeze point (F°)	Lb/1000 Gal	Freeze point (F°)
8.33	-	32	-	52
8.5	-	29	-	-
8.7	531	26	-	-
8.8	725	23	-	-
9.0	1031	19	925	23
9.2	1356	14	1136	18
9.4	1828	8	1587	13
9.6	2106	2	1828	7
9.8	2531	-	2075	0
10.0	2926	-	2363	-5
10.2	-	-	2750	-15
10.4	-	-	3104	-25
10.6	-	-	3625	-35
10.8	-	-	3784	-
11.0	-	-	4174	-
11.2	-	-	4486	-
11.4	-	-	5156	-
11.65	-	-	5554	-

Figure 7. Conditions may require that Revert drilling fluid be weighted. Solution weighting may be accomplished by adding salts in the approximate ratios shown. Note that salt also has the effect of lowering the fluid freezing point.

Aplicaciones especiales del Revert

El fluido de perforación Revert puede ser aplicado como una "solución de problemas" en circunstancias especiales y también para realizar otros procedimientos de perforación convencionales.

Control de pérdidas de fluido

Uno de los problemas con que se encuentran los perforadores es cuando se pierde fluido de perforación en zonas muy permeables. Hay dos métodos para solucionar el problema de circulación perdida.

El primero requiere un fluido Revert extremadamente viscoso -120 segundos de embudo Marsh o más. (Las propiedades reductoras de fricción del Revert permiten hacer circular este fluido sin equipos especiales). Se debe aplicar una masa de este Revert recién mezclado y muy viscoso en el agujero en el lado opuesto a la zona de circulación perdida. En un tanque o fosa separada se debe mezclar una cantidad suficiente de Revert con esta viscosidad como para llenar dos veces el anillo tórico del agujero y se debe bombear a través de la cañería de perforación hacia esta zona. Luego se retira la cañería para permitir que el Revert viscoso migre hacia la zona permeable y la selle. Luego de aproximadamente 30 minutos, se puede reducir la viscosidad del fluido remanente y volver a perforar normalmente.

El segundo método consiste en mezclar bórax con Revert para crear un material sellador denso y gomoso. Es aconsejable experimentar al pie del pozo con algunos litros de fluido para determinar las cantidades de la mezcla, pero en general se puede proceder de la siguiente forma: (1) Mezclar una taza de bórax comercial en 18 litros de agua y verter directamente en el vástago de perforación. (2) Hacer una

Control de viscosidad

En la Fig 5 se muestra el tiempo que el Revert mantendrá una viscosidad dada bajo condiciones típicas. Con temperaturas altas, el Revert tiende a "romperse" o perder viscosidad más rápido. Esto se debe en parte al crecimiento de ciertos microorganismos que son más prolíficos a temperaturas de 27° - 49°. Las enzimas que producen estos microorganismos agregadas a las que son inherentes del Revert pueden acelerar la "rotura" del Revert. Se deben tomar precauciones en los casos en que estos microorganismos o bacterias del suelo puedan estar presentes.

Si se cava la fosa de lodos, debe estar forrada con plástico. El agua de mezcla se puede desinfectar con 100 ppm de cloro.

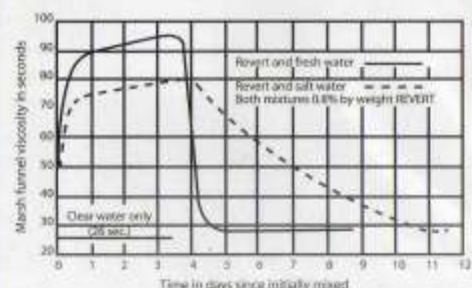


Figure 5. Revert mixes well with either fresh or salt water. Curves show the change in fluid viscosity with time in a typical drilling fluid of 0.8% Revert by weight at 70°.

Hay ocasiones en donde es deseable acelerar la descomposición del fluido. Una de las técnicas consiste en agregar persulfato de amonio (NH4) 2S2O8 y sulfato ferroso (FeSO4) directamente a la fosa de lodos a razón de 1kg de cada compuesto por cada 25 kg de Revert en el sistema de fluido. Se hace circular al fluido hasta su descomposición, generalmente a los 10-20 minutos luego de la mezcla.

Si el fluido Revert ha penetrado una formación muy permeable, reducirá temporalmente la eficiencia del pozo y puede llegar a dar información de

bombeo equivocada. Para retirar el fluido, se debe desarrollar el pozo con chorros horizontales de alta velocidad que contengan una solución 1000 ppm de cloro para descomponer al Revert. Esto nos otorga el beneficio adicional de desinfectar el pozo. Ver la Figura 6 para la mezcla de compuestos de cloro.

Cuando se utilizan concentraciones altas de cloro, a veces es más útil usar hipoclorito de sodio en lugar de hipoclorito de calcio. Esto es especialmente recomendable en formaciones de granos finos donde el pH del agua de la formación es más alto que 7 y el agua puede contener cantidades significantes de calcio.

Una solución de 1000-ppm de hipoclorito de calcio contiene aproximadamente 280 ppm de calcio. El calcio tiende a precipitarse en soluciones de aproximadamente 300 ppm. Por lo tanto, si los niveles combinados de calcio exceden las 300-ppm, podrían detonar la precipitación de hidróxido de calcio en la formación y se necesitaría un tratamiento de ácido consiguiente para restaurar la permeabilidad original.

Hay otras condiciones tales como la presencia de lodo gelificado o lodo saturado de sal que pueden hacer difícil la aceleración de la descomposición de la viscosidad. El proceso de clorinación descrito más arriba debería solucionar el problema.

SODIUM HYPOCHLORITE				
Available Chlorine	PPM (in 1,000 Gal. of water)			
	50	100	500	1,000
3%	1.7 gal	3.3 gal	16.7 gal	33.3 gal
5%	1.0 gal	2.0 gal	10.0 gal	20.0 gal
10%	0.5 gal	1.0 gal	5.0 gal	10.0 gal
15%	0.3 gal	0.7 gal	3.3 gal	6.7 gal
CALCIUM HYPOCHLORITE				
65%	0.6 lb	1.3 lb	6.4 lb	12.8 lb

Figure 6. The above quantities of chlorine compounds added to 1,000 gallons of water will produce the most commonly used concentrations of chlorine in a drilling fluid. Note that sodium hypochlorite is measured in gallons; calcium hypochlorite in pounds.

Control del peso del fluido

El peso del fluido de perforación Revert es ligeramente superior al del agua aproximadamente 1,02 kg por litro. Cuando debemos trabajar con presiones artesianas, puede ser necesario incrementar el peso del fluido para controlar el flujo del agua hacia el agujero desde la formación para evitar el desmoronamiento. La mejor manera de agregar peso al Revert es con sal-cloruro de calcio o cloruro de sodio- tanto antes como después de mezclar el fluido.

Esto produce un fluido con peso en su solución en lugar de los fluidos con peso por suspensión de las bentonitas.

La Figura 7 nos muestra la razón aproximada recomendada de sal a volumen de fluido para lograr el peso de fluido deseado.

Fluid weight (lb/gal)	NaCL		CaCL	
	Lb/1000 Gal	Freeze point (F°)	Lb/1000 Gal	Freeze point (F°)
8.33	-	32	-	52
8.5	-	29	-	-
8.7	531	26	-	-
8.8	725	23	-	-
9.0	1031	19	925	23
9.2	1356	14	1130	18
9.4	1828	8	1587	13
9.6	2106	2	1828	7
9.8	2531	-	2075	0
10.0	2926	-	2363	-5
10.2	-	-	2750	-15
10.4	-	-	3104	-25
10.6	-	-	3625	-35
10.8	-	-	3784	-
11.0	-	-	4174	-
11.2	-	-	4486	-
11.4	-	-	5156	-
11.65	-	-	5554	-

Figure 7. Conditions may require that Revert drilling fluid be weighted. Solution weighting may be accomplished by adding salts in the approximate ratios shown. Note that salt also has the effect of lowering the fluid freezing point.

Aplicaciones especiales del Revert

El fluido de perforación Revert puede ser aplicado como una "solución de problemas" en circunstancias especiales y también para realizar otros procedimientos de perforación convencionales.

Control de pérdidas de fluido

Uno de los problemas con que se encuentran los perforadores es cuando se pierde fluido de perforación en zonas muy permeables. Hay dos métodos para solucionar el problema de circulación perdida.

El primero requiere un fluido Revert extremadamente viscoso -120 segundos de embudo Marsh o más. (Las propiedades reductoras de fricción del Revert permiten hacer circular este fluido sin equipos especiales). Se debe aplicar una masa de este Revert recién mezclado y muy viscoso en el agujero en el lado opuesto a la zona de circulación perdida. En un tanque o fosa separada se debe mezclar una cantidad suficiente de Revert con esta viscosidad como para llenar dos veces el anillo tórico del agujero y se debe bombear a través de la cañería de perforación hacia esta zona. Luego se retira la cañería para permitir que el Revert viscoso migre hacia la zona permeable y la selle. Luego de aproximadamente 30 minutos, se puede reducir la viscosidad del fluido remanente y volver a perforar normalmente.

El segundo método consiste en mezclar bórax con Revert para crear un material sellador denso y gomoso. Es aconsejable experimentar al pie del pozo con algunos litros de fluido para determinar las cantidades de la mezcla, pero en general se puede proceder de la siguiente forma: (1) Mezclar una taza de bórax comercial en 18 litros de agua y vertir directamente en el vástago de perforación. (2) Hacer una

mezcla de Revert muy viscosa – alrededor de 120 segundos de embudo de Marsh -. (3) Eleve el pH de este fluido a 9,0 -9,5 agregando la cantidad de soda Solvay necesaria. Comience disolviendo una taza de soda Solvay por cada 3800 litros y agregue lentamente al sistema de fluido Revert desde la succión de la bomba. Se debe verificar el pH del sistema periódicamente y se debe mantener por debajo de 10 para no destruir a los polímeros. (4) Agregue más agua con bórax a razón de una taza de bórax cada 18 litros de agua. (5) Ubique el fondo del vástago de perforación en frente de la zona de pérdida de circulación. (6) Eleve la sección de la bomba hasta casi el nivel de la fosa de superficie. (7) Active la bomba a marcha lenta y cuando el Revert comienza a fluir, eche el agua con bórax a la fosa cerca de la sección de bomba. Siga bombeando hasta que el Revert con bórax aparezca en la superficie en el espacio entre el vástago de perforación y el pozo. Será una masa gruesa y gelificada. (8) Apague la bomba inmediatamente para que el gel no llegue a la fosa. (9) Retire el vástago de perforación una o dos distancias y espere 30 minutos hasta que se cure el gel. (10) Renaudar la perforación con la bomba trabajando a velocidad reducida hasta penetrar varios metros de formación nueva. (11) Repetir toda la operación si fuera necesario.

Si se usa en un acuífero en donde se colocará un filtro, puede ser necesario desarrollar el pozo con chorros de alta velocidad y una solución clorada de 1000 ppm. (Se debe tener mucho cuidado al manejar cloro altamente concentrado.) Se puede retornar el fluido a su viscosidad original reduciendo el pH a siete o menos. La reducción de la cantidad de Revert o de bórax utilizado, o la utilización de un pH superior a siete pero menor a nueve debilitará la adherencia química del

polímero de Revert y dará como resultado una masa parcialmente gelificada fácil de bombear o circular. Este gel con enlaces parcialmente enlazados se puede utilizar cuando la pérdida excesiva de fluido se convierte en un problema, como por ejemplo cuando nos encontramos con arena gruesa y grava u otras zonas de alta permeabilidad.

Revert en perforaciones con herramienta de cable

El Revert se puede utilizar en cualquier situación en donde se usan lodos de arcilla en las perforaciones con herramientas de cable. Otorga una excelente lubricación y facilita la perforación. Se puede utilizar para sostener el agujero cuando la camisa se atasca y es necesario perforar más allá del fondo de la camisa. El fluido también reduce la fricción entre el agujero de perforación y el cable de la herramienta, y por lo tanto aumenta la eficiencia de la herramienta de cable y la velocidad de penetración. El Revert se puede usar para presurizar una formación y controlar las arenas pesadas. (Ver la sección Control del Peso del Fluido, p 4).

Revert en perforaciones de circulación invertida

El Revert es también útil en las perforaciones de circulación invertida ya que incrementa de forma notable la eficiencia de la perforación y permite perforar con mayor rapidez pozos más grandes y profundos. Pequeñas cantidades de Revert – por ejemplo 2,5 kg por cada 4.000 litros de agua – reducen la pérdida por fricción en el sistema de fluido hasta un 60%. El Revert se puede agregar periódicamente en las perforaciones cloradas para reducir la fricción.

También se puede utilizar un Revert más viscoso - como el que se usa en perforaciones convencionales - para controlar pérdidas, problemas de circulación, hinchamiento, derrumbes de esquistos y arcillas y otros problemas típicos de las perforaciones de circulación invertida.

Revert en perforaciones de espuma de aire

Pequeñas cantidades de Revert, agregadas al agente productor de espuma inyectado, formarán una espuma resistente y estable con muy buenas propiedades para levantar el agua y suspender las partículas. Medio kilo de Revert cada 400 litros de fluido de inyección brindará una excelente limpieza del pozo a bajas velocidades anulares y de inyección de aire. Las otras propiedades provechosas de Revert ayudan a reducir los desprendimientos y los derrumbes, lubrican la barrena, y protegen la permeabilidad de la formación. Como en otras aplicaciones de Revert, el fluido se puede descomponer con una solución clorada cuando fuera necesario.

Perforaciones en climas fríos

Agregando sal al fluido de perforación Revert bajamos el punto de congelamiento del mismo. La Figura 7 indica las cantidades aproximadas de sal para lograr el resultado deseado.

Revert en pozos de monitoreo y de recuperación

Es esencial minimizar el daño a la formación para asegurarnos la eficiencia de los pozos de recuperación y de que las muestras de agua sean representativas de las condiciones debajo de la superficie. Los pozos de monitoreo y de recuperación de eficiencia hidráulica se pueden realizar con mayor velocidad y facilidad con Revert que con fluidos de perforación basados en arcillas. Ya que es difícil desarrollar

pozos de diámetros pequeños, el daño a la conductividad hidráulica (permeabilidad) causado por fluidos a base de arcillas por lo general no es reparado.

Los fluidos de perforación pueden invadir las zonas permeables y alterar la composición de las muestras de agua. En estas circunstancias, es vital que se conozcan los efectos del fluido de perforación sobre el agua subterránea (Figura 8). Como resultado de extensos estudios de laboratorio, la composición química del Revert es conocida y se provee una "huella digital" en la sección Identificación del Revert en Muestras de Agua, p.6.

Otros métodos para acelerar la descomposición del Revert incluyen el agregado de ácido para bajar el pH del fluido de perforación Revert hasta tres o menos, o el agregado de soda Solvay para aumentar el pH por encima de diez. Si el uso de estos elementos químicos no está permitido en el pozo de recuperación, se pueden introducir enzimas especiales que acelerarán la descomposición. Cuando se usan estas técnicas para acelerar la descomposición, es aconsejable primero lavar el pozo con agua.

DRILLING FLUID LOG						
Job _____			Ref. N° _____			
Driller _____			Pump size _____			
Date	Time	Depth	pH	Moisture (weight) viscosity (seconds)	Weight (lb/gal)	Additives, water added, remarks

Figure 8. It is important to maintain an accurate log throughout the entire drilling job, taking note of the fluid system's pH, weight, viscosity, and other variables such as additives used or unusual conditions encountered. Such logs serve as a record of work performed and as a potentially useful reference for future jobs

Revert en la construcción del pozo

Un pozo que bombea arena muchas veces puede ser salvado utilizando un filtro de malla en la cañería ranurada. Durante este proceso, la camisa ranurada existente se destruye casi en forma total antes de la ubicación del filtro. El fluido clorado Revert en el pozo otorgará el soporte necesario durante este paso y los subsiguientes en la reconstrucción del pozo. Luego de la descomposición del fluido Revert, se puede proceder a la remoción del fluido y luego al desarrollo del pozo en forma rápida y eficiente. El mismo proceso se puede utilizar para quitar y reemplazar filtros en los pozos.

Utilización del empaque de grava con Revert

El fluido Revert es ideal para emplazar empaques de grava por el método de circulación inversa. Esto puede hacerse tanto en pozos nuevos como en pozos viejos que originalmente eran abiertos y luego requirieron una combinación de filtro y empaque de grava para solucionar el problema de bombeo de arena.

Revert y las bacterias

Dado que Revert es un polímero orgánico natural de estándar alimenticio, no contiene ni produce bacterias dañinas. Los análisis de las muestras de agua durante el desarrollo del pozo o pruebas de bombeo pueden revelar conteos altos de bacterias. Sin embargo, estas bacterias no son del tipo que provocan enfermedades, ya que los organismos en el Revert consisten de levadura, moho y lactobacilos que se encuentran naturalmente en alimentos tales como la harina y la leche. Estos organismos no patógenos también están presentes en la goma guar de estándar alimenticio. Su

presencia no es indicación de que el pozo contiene coliformes, salmonela, u otros gérmenes patógenos. De hecho, los análisis subsiguientes, tales como el de diferencial de rojo metilo o el de metileno de eosina agar azul comprobarán la presencia de sólo bacterias inocuas..

Identificación del Revert en muestras de agua

Al monitorear los pozos, es esencial que las muestras de agua sean tan representativas de las condiciones subterráneas como fuera posible. La misma perforación del pozo, sin embargo, causa cambios significativos en las condiciones del agujero perforado. Esto es aún más crítico cuando las técnicas de perforación requieren el uso de fluidos de perforación. Durante el curso de la perforación rotativa, el fluido puede invadir las zonas permeables y por lo tanto la composición de las muestras de agua posteriores.

Analysis	Procedure
• Biochemical Oxygen Demand	Standard Methods
• Chemical Oxygen Demand	Standard Methods
• Suspended Solids	Standard Methods
• Total Organic Carbon	Oxidation Method (Oceanographic 524B T.O.C. Analyzer)
•• Base/Neutral Fraction Organic Scan	GC/MS (Direct Injection) Method 625 (Finnegan 4021 GC/MS with Inco's data system)
•• Acid Fraction Organic Scan	GC/MS (Direct Injection) Method 625 (Finnegan 4021 GC/MS with Inco's data system)
•• Volatile Organic Fraction Scan	GC/MS (Purge and Trap) Method 624 (Finnegan 3021 GC/MS with Inco's data system)

Figure 9. Procedures for chemical analysis performed on Revert spiked water samples.

Parameter	Concentration (mg/l)	Detec. Limit (mg/l)
Butanoic acid	3.	.002
Hexanoic acid	.04	.002
Hexadecanoic acid	.003	.002
4-methyl-4-hydroxy-2-pentanone	.003	.002
1-hexanoe	.002	.002
Butanoic acid-3-methylbutylester	.002	.002
4-methoxybenzene methanol	.002	.002
Nanoic acid	.002	.002
Butanoic acid-1-methylpropylester	.002	.002
Diester C ₂₂ H ₄₂ O ₄	.003	.002
Large unidentified polysaccharide	.006	.002
Chemical Oxygen Demand	6000.	1.
Biochemical Oxygen Demand	2300	1.
Suspended Solids	1900.	1.
Total Organic Carbon	2300.	1.

Figure 10. Chemical composition of a 0.8% (by weight) mixture of Revert analyzed after six days incubation at 68°F.

En estas circunstancias, es vital conocer los efectos del fluido de perforación sobre el agua subterránea. Se han realizado extensos análisis de laboratorio sobre los efectos del fluido de perforación Revert. Como resultado de estos análisis, se ha logrado un minucioso conocimiento de la identidad química del Revert bajo numerosas condiciones (Ver Figuras 9,10). Se ha formado una "huella digital" del Revert para poder reconocerlo en los análisis de agua.



GUÍA PARA DISEÑO DE POZOS DE AGUA (PARTE 2)

B) Captación

Concretamente se trata del tramo en que va instalada la rejilla del pozo.

Las principales funciones de la rejilla son:

- 1) Sostén de las paredes del pozo.
- 2) Impedir el ingreso de arena al pozo,
- 3) Optimizar la captación.

Las principales propiedades a exigir de la rejilla son las siguientes:

- 1) Su área abierta.
- 2) La configuración de su abertura (ranura)
- 3) Su resistencia mecánica
- 4) Los materiales con que ha sido construida.

- Área abierta

Deberá disponer de la mayor área abierta posible. No se debe olvidar que en la ecuación $Q = A \cdot V$, el gasto (Q) está en relación directa con el área abierta (A) y la velocidad (V). Si se disminuye excesivamente el área abierta deberá aumentarse proporcionalmente el valor de la velocidad de admisión en la rejilla, lo que implica que se producirán mayores pérdidas de carga en el ingreso del agua al pozo. Y las pérdidas de carga son proporcionales al cuadrado de la velocidad. Por eso que es prudente contar con la mayor área abierta en la rejilla.

Otro aspecto que, a veces, se desestima es que el desarrollo del pozo se efectúa a través de las aberturas de la rejilla, con un movimiento alternado del agua en ambos sentidos (hacia fuera del pozo y luego

hacia adentro). Es de capital importancia disponer de la mayor área abierta en la rejilla para que el efecto de oleaje -que facilita la limpieza- pueda hacerse con la mayor libertad posible.

El área abierta se calcula de la siguiente manera:

Para rejillas Johnson:

Área abierta en % =
 $\text{abertura} / (\text{ancho envolvente} + \text{abertura}) \times 100$

Área abierta en $\text{cm}^2/\text{m} =$
 $\text{diám exte rejilla} \times 3,14 \times \text{abertura} \times$
 $1000 / (\text{abert.} + \text{ancho env.})$

Para otras rejillas:

Yasea en porcentaje del desarrollo externo de la rejilla o en cm^2/m , será necesario medir largo y ancho de la ranura y esa área multiplicarla por las veces que se repite la abertura en el desarrollo de la rejilla.

Una vez que se dispone del área abierta se puede calcular la Capacidad de Transmisión de la rejilla, expresada en metros cúbicos de agua por hora o en litros por segundo, por metro de rejilla. Ambos cálculos se efectúan asignando un valor de Velocidad de admisión de $V = 3 \text{ cm/seg}$, y en todos los casos reemplazando valores en la fórmula $Q = A \times V$

$\text{Cap. Trans.}, \text{m}^3/\text{h.m} = \text{Área abierta}, \text{cm}^2/\text{m} \times$
 0.0108

$\text{Cap. Trans.}, \text{l/s.m} = \text{Área abierta}, \text{cm}^2/\text{m} \times$
 $V, \text{cm/s} \times 0.001$

Es por todas las razones apuntadas más arriba que damos importancia al área abierta, pues favorece:

Menor velocidad de admisión, que se recomienda igual o menor que 3 cm/seg .

Menor pérdida de carga.

Menor posibilidad de incrustación.

Menor tasa de corrosión.

Mejor desarrollo del pozo.

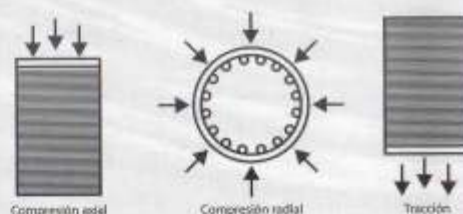
- Configuración de la abertura

La buena configuración de la abertura (ranura) también facilita el proceso de desarrollo y el posterior ingreso del agua al pozo. La ranura en "V" actúa como un inyector, encauzando de manera más favorable la energía del chorro del agua en la etapa correspondiente del desarrollo, cuando se expulsa el agua desde dentro de la rejilla hacia la formación. Además, la forma en "V" evita la obstrucción por granos atascados.

- Resistencia mecánica

La rejilla está solicitada por tres esfuerzos:

- 1) Compresión axial (Pandeo).
- 2) Compresión radial o aplastamiento (colapso)
- 3) Tracción



1) Las rejillas se comportan como una columna delgada y debe evitarse el pandeo sin soporte lateral, situación de la mayor importancia cuando se las están instalando. No deben ser apoyadas sobre el fondo, ni golpearlas para que bajen a la perforación, hasta que no esté el pozo terminado con engravado o desarrollado, o sea hasta disponer de soporte lateral. En el caso de

las rejillas Johnson, las cargas verticales son soportadas por las varillas longitudinales. De allí que se dé importancia al área total de los elementos longitudinales, pues es un factor directamente proporcional a la resistencia de que dispondrá la rejilla ante un esfuerzo axial.

2) Las presiones laterales (radiales) a que pueden estar sometidas las rejillas, son soportadas directamente por el espesor de la rejilla. En el caso de las rejillas Johnson el valor fundamental a tener en cuenta lo constituye la altura del perfil del alambre envolvente. La consideración de esta resistencia cobra relevancia en caso de instalaciones a gran profundidad o cuando se hace un violento desarrollo del pozo.

3) El esfuerzo de tracción también es soportado por los elementos longitudinales (varillas) y resulta útil conocer el valor de esa resistencia, que en la práctica deriva del valor del esfuerzo de tracción del acero. Es conveniente conocer el valor de la resistencia a la tracción de una rejilla que se pretenda instalar en un pozo, particularmente cuando de esa rejilla se suspenderán otros tramos de rejillas o de tubería, como es el caso de diseño de pozos con rejillas intercaladas para captar diversos niveles acuíferos.

- Material constitutivo de la rejilla

Está condicionado por la composición química del agua que se captará o por las películas bacterianas que pudieran formarse durante la explotación del pozo, tal es el caso del agua con Fe divalente en solución.

Independientemente de un buen análisis químico del agua, labor que nos facilitará el químico con su interpretación y de los resultados del análisis por el método de Langelier o por el índice de Ryznar, se pueden considerar ciertos indicadores para poder estimar el carácter incrustante o corrosivo del agua. Es de advertir que la

presencia de dos o más agentes corrosivos aparentemente intensifica el ataque corrosivo, comparado con el efecto causado por cada uno individualmente.

Aguas corrosivas

- Bajo valor de pH ($\text{pH} < 7$).
- Oxígeno disuelto, si excede 2 ppm.
- H_2S , aún en concentraciones inferiores a 1 ppm.
- Sólidos disueltos totales, si exceden 1000 ppm.
- CO_2 , si excede 50 ppm.
- Cl^- , si exceden 500 ppm.

Aguas incrustantes

- Dureza total carbonatos, si exceden 300 ppm.
- Alto valor de pH ($\text{pH} > 7$).
- Hierro, si excede 2 ppm.
- Manganeso, si excede 1 ppm.

Películas bacterianas

Hay aguas que llevan disuelto hierro en la forma de hierro ferroso (Fe^{2+}). Ese hierro puede ser oxidado a Fe^{3+} por acción de ciertas bacterias llamadas "bacterias del hierro" que se multiplican merced al bicarbonato del agua y a la energía que se libera en el proceso de oxidación del hierro, que pasa a formar óxidos e hidróxidos de hierro. En síntesis, ese es el metabolismo de los microorganismos que se agrupan en colonias gelatinosas que, junto con los óxidos de hierro, obturan las rejillas. Se trata de fenómenos muy difundidos, aunque, generalmente son ignorados. No todas las aguas que contengan hierro son productoras de esta anomalía, sino las que, además contengan "bacterias del hierro"; pero ante aguas con Fe^{2+} que excedan 1-2 ppm, debe temerse obturación por películas bacterianas y es prudente estar precavidos.

Si se está en presencia de aguas corrosivas, huelga decir que la recomendación del material de la rejilla se inclina por los que no sean atacados por la agresividad de las aguas, como es el caso del acero inoxidable AISI 304.

Pero no sólo ellas exigen ese tipo sino que también las aguas muy incrustantes pueden requerir ese tipo de material. En este caso no es el tipo de agua que agrede sino que los métodos para la desincrustación de los filtros consideran siempre tratamientos con ácidos concentrados, p. ej. HCl (ácido clorhídrico). Y también cuando existen películas bacterianas el tratamiento requiere el uso del HCl y posteriormente fuertes dosis de clorógenos en el pozo, en forma alternada, para eliminar las colonias. Tanto en un caso como en el otro los tratamientos suelen ser periódicos y no puede exponerse una rejilla a tratamientos tan violentos si su material no es apto para resistirlos.

Otro índice que es conveniente tener presente es el de los Sólidos disueltos totales, pues si superan límites razonables (se dirá que el agua es salobre o salada) sucede que las sales están ionizadas en solución y, por esa causa, son más conductoras de las corrientes galvánicas. También en esas circunstancias se impone la consideración de un material de la rejilla que soporte el ataque electrolítico.

Como cuando se explora la región son indispensables el análisis químico del agua, o las referencias de pozos existentes y su comportamiento, ya se estará en condiciones de poder discernir sobre el tipo de material que se empleará para la fabricación de la rejilla.

Antes de entrar en los dimensionamientos de la rejilla debemos dejar aclarado que los fabricantes deben proveer las especificaciones de las rejillas que producen, así el técnico que diseñe el pozo de agua

sepa a qué valores atenerse cuando esté considerando una captación. De esa manera se dispondrá de los valores de área abierta y de capacidades de transmisión, según la abertura que se haya elegido, además de tomar conocimiento en cuanto a las resistencias mecánicas de las rejillas (pandea, colapso y tracción) y a su peso por metro.

-Dimensionamientos

El dimensionamiento de una rejilla implica la determinación de su abertura, su longitud y su diámetro.

- Abertura

La elección de la abertura (ranura) de la rejilla debe basarse en el examen de la curva granulométrica de los materiales de la formación acuífera. No ignoramos que en múltiples ocasiones la abertura se decide "por tradición", pero resulta un procedimiento ciertamente arriesgado, más aún si se conoce que ese examen es positivamente de muy bajo costo. Inclusive, muchos proveedores de rejillas lo practican sin cargo alguno para sus clientes. Como el verdadero filtro en torno de la rejilla lo constituirá el material grueso del acuífero desarrollado o la grava que se vuelque al pozo para formar ese filtro, es a todas luces imprescindible saber cuáles son los tamaños constituyentes de la formación acuífera para decidir si se hará desarrollo directo (natural) sin agregado de grava o bien si se hará desarrollo con empaque de grava, además de determinar cuál será la medida de la abertura de la rejilla.

Cuando se haya de efectuar desarrollo directo se elegirá la abertura que retenga entre el 30% y el 50% del material del acuífero. Habiendo dos o más capas superpuestas de diferente granulometría y el material fino esté sobre el más grueso, se tendrán dos precauciones:

1° - Que la rejilla de abertura más pequeña penetre 0.60 m - 0.70 m dentro del material grueso inferior, pues cuando se desarrolla el pozo, el movimiento de oleaje que se produce desaloja material grueso de la parte superior de la rejilla con abertura grande y puede, en su reemplazo, acomodarse material fino en forma estable enfrentando a una rejilla con abertura mayor que la conveniente para esos tamaños de granos.

2° - Que la abertura gruesa no tenga más del doble de tamaño que la fina.

Para el caso de desarrollo con empaque de grava la abertura se elegirá para retener el 90% de la grava.

La terminación de un pozo con grava se puede considerar en los siguientes casos:

a) Cuando el acuífero sea de grano fino y uniforme y si se hiciera desarrollo directo (natural) exigiera aberturas de la rejilla del orden de 0,25 mm (0,010") o menores.

b) Cuando el acuífero artesiano sea de gran espesor.

c) Cuando la formación acuífera sea una arenisca poco cementada (friable).

d) Cuando el acuífero esté constituido por formaciones laminadas (alternancia de arenas y lentes de limos o arcillas).

El historial de los pozos que bombean arena y se destroran bombas, sistemas de refrigeración, sistemas de riego, procesos industriales y el propio pozo justifica que se advierta a quien diseña un pozo de agua que se preste la mayor atención a la selección de la abertura de la rejilla. Es inmensamente larga la lista de pozos con esos defectos en el mundo -y si algunos no son atribuibles a la selección de la abertura de la rejilla, sino a vicios de construcción- vale la pena insistir sobre el tema.

- Longitud

La longitud de la rejilla se determina en relación con el espesor del acuífero, la depresión disponible y la heterogeneidad vertical del acuífero. En todos los casos posibles se cuidará de que el nivel dinámico del agua, cuando el pozo entre en régimen de bombeo, no descubra ningún tramo de la rejilla; es decir: que no descienda por debajo del nivel del tope superior de la rejilla. También se tendrá presente que la bomba no debe instalarse dentro de la rejilla del pozo. Si alguna razón de fuerza mayor exigiera una instalación de ese tipo se deberá prever que frente a la admisión de la bomba sea colocado un tubo ciego en reemplazo de la rejilla normal, porque al aspirar, la bomba producirá un ingreso preferencial de un gran volumen de agua por unas pocas aberturas. Eso conducirá a una mayor pérdida de carga en el sistema y, además y grave, podrá provocar un fenómeno de corrosión por velocidad, que afectará indefectiblemente a la rejilla, produciéndole agujeros por donde entrará arena o grava al pozo.

Se pueden considerar cuatro situaciones típicas de acuíferos:

a) Artesiano Homogéneo. Conviene colocar rejilla enfrentando el 70%-80% del espesor del acuífero.

b) Artesiano No-Homogéneo. Colocar la rejilla enfrentando la capa más permeable. Para estimar la permeabilidad caben tres procedimientos: 1°) mediante el uso de permeámetros, en el laboratorio. 2°) mediante la comparación de las curvas granulométricas de los sedimentos. 3°) mediante la inspección y observación de las muestras obtenidas en la perforación.

Esos tres métodos han sido enumerados en orden decreciente de costos, aunque muchas veces se combinan los tres, para mejor estimación, vinculando los

valores obtenidos en el laboratorio con la experiencia del técnico responsable de la obra. Pero, de todos modos, se pone una vez más en evidencia la importancia que tiene la buena toma de las muestras de terreno, no sólo para esta determinación sino también para muchos otros aspectos del buen diseño del pozo como son la selección de la abertura de la rejilla y la posición de la aislación del pozo.

c) Freático Homogéneo. En términos generales, colocar rejilla en el tercio inferior del espesor saturado.

b) Freático No-Homogéneo. Caben aquí iguales consideraciones que para los acuíferos artesianos no-homogéneos, salvo que se recomienda instalar rejilla en el nivel más bajo de la capa más permeable.

Recomendamos estudiar las curvas que se acompañan en anexo para considerar las longitudes de las rejillas de captación en base a las penetraciones parciales, que es cuando la rejilla se diseña de un largo menor que el espesor del acuífero. Se acompaña un juego de curvas para acuíferos artesianos y otro para acuíferos freáticos. Cada uno de ellos merece una explicación, que se halla acompañando a cada gráfica.

-Diámetro

La elección del diámetro de la rejilla debe satisfacer un principio básico: dispondrá de la suficiente área abierta para que el agua no supere la velocidad estándar de diseño de 3 cm/seg. Ese diámetro que hayamos elegido como primera medida podrá luego ser ajustado al largo de la rejilla y a la abertura que hayamos determinado.

Mientras la longitud de la rejilla tiene mucha importancia para el caudal que se extrae del pozo, el diámetro poco lo afecta, contrariamente a lo que suele pensarse en un primer momento. En efecto, si se

considera la fórmula del caudal (gasto) para las condiciones de equilibrio de un pozo que capta en un acuífero artesiano, se podrá apreciar que la variación teórica del caudal es muy limitada.

La ecuación citada es la siguiente:

$$Q = 2.73 K b (H - h) \% \log (R/r)$$

donde

Q = gasto, en m³/día

K = conductividad hidráulica (permeabilidad) de la formación, en m/día.

H = carga estática medida desde el fondo del acuífero, en metros,

h = carga que se ejerce sobre el fondo cuando el pozo está en bombeo, en metros.

R = radio del cono de depresión, en metros.

r = radio del pozo, en metros.

b = espesor del acuífero, en metros.

En ella puede observarse que si en un bombeo mantuviéramos todos los valores iguales, salvo el diámetro del pozo (es decir: el diámetro de la captación o rejilla), la variable que incidiría en el caudal (gasto) es decididamente el logaritmo del cociente R/r, en el que, a su vez, sólo variará "r" (radio del pozo). Como consecuencia muy poco se incrementaría ese gasto por la modificación de "r". A fuer de ejemplo podemos fijar un valor muy común a un R en acuífero artesiano, 1500 metros, y un radio de pozo también común de 0.15 m. (rejilla diámetro 12"). El logaritmo es 4, ahora bien, si duplicáramos el diámetro de la captación llevando su radio a 0.30 m (rejilla 24" diam.) el logaritmo R/r sería 3.7. Se muestra así que el denominador del cociente en la fórmula del caudal ha variado muy poco, por lo que tampoco variará sustancialmente el gasto. En términos reales se puede decir que si se duplica el diámetro de la rejilla de captación el pozo incrementará su caudal: en freáticos un 10% y en artesianos un 7-8% solamente.

Queda de esa manera asentada la mínima importancia hidráulica que tiene el diámetro de la rejilla en un pozo de agua.

Se reitera que el principal factor que gobierna la elección de la rejilla es su área abierta. Siempre usando la fórmula del gasto $Q = A \times V$, vemos que al despejar A tendremos $A = Q/V$. El área necesaria será, entonces, el caudal dividido por la velocidad de admisión en la rejilla. Supongamos que nuestro caudal será de 25 litros por segundo. La velocidad recomendable es de 3 centímetros por segundo.

Tendremos, entonces:

$$A = Q/V = 25000 \text{ cm}^3/\text{seg} \% 3 \text{ cm}/\text{seg} = 8333 \text{ cm}^2.$$

Necesitaremos, en consecuencia 8333 cm² de área abierta en 1a captación.

Las áreas abiertas y las capacidades de transmisión de las rejillas, en función de su diámetro y de su abertura, son suministradas por los fabricantes, tablas a las que se puede recurrir para obtener los valores que nos conduzcan al diseño del pozo. Las distribuidas por Johnson han sido enteramente calculadas con la metodología expuesta en esta Guía para Diseño de Pozos de Agua.

Un valor muy útil a tener en cuenta, por añadidura, es respetar que la velocidad del agua ascendente dentro de la rejilla o del tubo de extensión sea de $V = 150 \text{ cm}/\text{seg}$. Esa velocidad mencionada es el valor común que se acepta cuando se diseñan tuberías de conducción o distribución de agua en los proyectos de redes.



Reunión GESAS Marco A. Sosa. Córdoba.



Deseo saludar y felicitar a la empresa Marco A. Sosa, que a través de Roberto Barbieri y sus colaboradores, Alicia y Ricardo, organizaron la reunión que tuvimos el viernes 26 de junio pasado en el establecimiento de la empresa Sosa, con asistencia del 100%, lo que indica una muy buena predisposición por parte de sus clientes, además de mi interés en poder conocer a quienes utilizan nuestros productos, comercializados claro está, que a través de nuestro distribuidor.



No puedo dejar de mencionar, la hospitalidad y buena onda de todos los participantes que nos hicieron sentir como en casa y digo nos hicieron por que sé que también este sentimiento es el que tiene Leopoldo Cumini de Gravafilt, quien también participó de este encuentro.

Algo para destacar también fueron unas ricas empanadas salteñas y unas humitas o tamales servidos en platos de barro, que estaban muy buenos, todo esto acompañado de muy buenos vinos y algo de gaseosa.

Es una alegría por un lado ver el interés que provoca cuando se menciona a CAPAS, (Cámara Argentina de Empresas Perforadoras para Aguas Subterráneas) en la que GESAS actúa como socio patrocinador ya que es una muy buena oportunidad para los colegas de Córdoba conjuntamente con M. A. Sosa y la Cámara intentar armar alguna sede de camaradería entre colegas perforistas y empresas consultoras relacionadas con el agua subterránea, con el solo objetivo de preservar el recurso hídrico subterráneo y dignificar la profesión de los perforistas que está muy lejos de ser reconocida como tal, por eso la importancia de unirse por un fin común

Reciban mis saludos todas las personas que nos reunimos en el evento y espero que puedan contar con mi ayuda técnica en lo que consideren.

Cordialmente

Patricio Rodríguez
NAHUELCO/JOHNSON SCREENS



Estimado lector,



Esperamos sus opiniones, comentarios o notas que pudieran surgir a partir de estas lecturas y temáticas aquí publicadas.



Direcciones de contacto:
patricior@nahuelco.com
rbarbieri@marcoareliososa.com.ar



GRAVAFILT S.A.

Líder en Arenas y Gravas Tratadas

Plantas Potabilizadoras

Filtros de Piscinas

Perforaciones

Arenados Especiales

Pegamentos

Tratamientos Efluentes

Fundición

www.gravafilt.com.ar

Casa Central: Camino de Santiago esq. Gordillo - Paraná - E.R.
Tel: 0343-431 0190 - Fax: 0343-423 0162

Oficina Bs.As.: Paseo Colón 713, Piso 9º - Tel/Fax: 011-4343 4848
ventas@gravafilt.com.ar / info@gravafilt.com.ar

Filtros Nahuelco

Los filtros de ranura continua Nahuelco se fabrican soldando eléctricamente (sin aporte) un perfil continuo de sección triangular alrededor de una estructura de vanillas longitudinales, formando una abertura de ranura continua.

Filtros Nahuelco

Materiales

ACP (acero crudo pintado)

Acero Galvanizado

Acero Inoxidable AISI 304

Acero Inoxidable AISI 316L

Otros materiales

- Diámetros de 2" a 26"
- Aberturas de ranura a elección desde 0,10 mm
- Largos hasta 6 metros
- Terminaciones en Anillos para Soldar o Extremos Roscados
- Diseños estándar para profundidades de instalación a 100, 200, 350 y 600 metros
- Se diseñan y fabrican para otras profundidades



NAHUELCO

NAHUELCO S.A.

Perdriel 3810 (B1646GMB) San Fernando
Buenos Aires - Argentina
Tel.: (54-11) 4714-6699 Fax: (54-11) 4714-2175