

grava es mayor que el de uno terminado con desarrollo natural. Hemos hecho esto por dos razones fundamentales:

A.- El hueco de mayor tamaño requerido para hacer el empaque de grava tiene un mayor costo por metro.

B.- La grava de granulometría especial debe ser comprada y acarreada hasta el lugar del trabajo.

Con equipos de perforación por percusión la primera razón es especialmente válida porque al duplicarse el diámetro de la perforación su costo aumenta en una proporción aún mayor. También con las máquinas rotatorias es por lo general más costoso perforar pozos de mayor tamaño, debido a los mayores volúmenes de circulación y a la necesidad de fluidos de perforar más viscosos y más densos para poder arrastrar hasta la superficie los materiales perforados en huecos de sección transversal muy grande.

Por otra parte, con equipo de perforación de circulación reversible un aumento en el diámetro del pozo tiene poco significado en el costo. Generalmente cuesta apenas un poco más un hueco de 36 pulgadas, con respecto a uno de 24 pulgadas. El costo extra se reduce a conseguir una barrena más grande, una cámara de lodos más grande, y un poco más de grava. Por esta razón resulta algunas veces más económico perforar un pozo para hacerle empaque de grava, pues la economía de tiempo que se logra en el proceso de desarrollo compensa el mayor costo inicial. Esto es especialmente cierto en las

terrazas y depósitos aluviales de Oklahoma y Kansas.

Pasos que deben seguirse en el diseño del empaque de Grava.-

1.- Construya las curvas representativas de los análisis granulométricos de cada uno de los diferentes estratos que constituyen el acuífero. Determine cual es el estrato más fino, porque el empaque de grava se diseñará con base en la granulometría de la capa más fina. La figura 9 presenta la granulometría de dos muestras que representan en su totalidad una formación acuífera. El material más fino está entre los 22.9 y los 27.5 m. de profundidad y por consiguiente, el empaque de grava se diseñará con base en este estrato.

2. - Multiplique por un factor entre 4 y 6 el tamaño que en la curva corresponde al 70% retenido. Use 4 como multiplicador si la formación es fina y uniforme y 6 si es gruesa y no uniforme. Coloque los resultados de esta multiplicación en el gráfico, sobre la línea horizontal correspondiente al 70% retenido. Este punto será uno de los puntos de la curva correspondiente al análisis granulométrico del material deseado para hacer el empaque de grava. En la figura 9 se puede ver que el tamaño correspondiente al 70% de material retenido es de 0.005 pulgadas para la formación Acuífera. Hemos escogido 5 como multiplicador de donde $5 \times 0.005 = 0.025$ pulgadas, valor que dibujado sobre la recta correspondiente al 70% retenido nos localiza el primer punto de la curva que representará la granulometría del material a usar en el empaque de grava (mostrado con una X). Este método

de diseño es recomendado para los depósitos de las áreas húmedas del mundo y es el que más se usa comúnmente. Para depósitos extremadamente variables de las zonas áridas del mundo (tales como los Estados del Oeste en Estados Unidos) debe multiplicarse el tamaño correspondiente al 70% retenido por un factor comprendido entre 6 y 9, y luego proceder de la misma manera.

3. - Dibuje una curva suave que pase por el punto inicial ya dibujado, y que tenga un coeficiente de uniformidad de 2.5 o menos (Coeficiente de uniformidad = tamaño correspondiente al 40% retenido/tamaño correspondiente al 90% retenido). El dibujo de la curva mencionada anteriormente, debe hacerse por tanteos; sin embargo, el trabajo se puede facilitar con el auxilio de un curvígrafo. En nuestro ejemplo, la curva dibujada (línea llena que pasa por el punto X) tiene un coeficiente de uniformidad de aproximadamente 1.75. Podría haberse dibujado ligeramente diferente, tal como la curva de trazos que pasa por el punto X, la cual tiene un coeficiente de uniformidad de 2.47 ($37.5/15 = 2.47$) y también cumple con el criterio anteriormente expuesto; pero se considera que el diseño más conveniente consiste en proponer una curva para el empaque de grava con el coeficiente de uniformidad tan bajo como sea práctico. Por consiguiente, el material indicado por la línea curva llena es más conveniente que el indicado por la línea curva a trazos.

4.- Prepare especificaciones para el material que ha de usarse en el empaque de grava seleccionando cuatro o cinco tamices que cubran la sección abarcada por la curva y especificando los límites permisibles para el porcentaje retenido en cada uno de los

tamices escogidos. Estos límites pueden ser un 8% hacia abajo y hacia arriba del valor mostrado en la curva. Por ejemplo, nuestro tamiz mayor tendría una abertura de 0.065 pulgadas. La curva muestra que nada sería retenido por ese tamiz por lo que si agregamos un 8% a cero vemos que el máximo porcentaje que puede ser retenido por esa malla es un 8%. Como no podemos tener un porcentaje negativo, el mínimo será cero.

El siguiente tamiz más grueso tiene una abertura de 0.046 pulgadas (tamaño de abertura siguiendo en las series de mallas o tamices más usados). La curva tal como está dibujada muestra un 18% retenido, por consiguiente, agregamos y sustraemos un 8% para obtener la variación permisible. Por consiguiente, el intervalo permisible está entre el 10% y el 26%. Este procedimiento se repite hasta escoger los límites permisibles de las otras mallas previamente escogidas. En la figura 9 se muestran 5 tamices que cubren la gradación del material deseado para el empaque de grava. Dando al proveedor de grava una flexibilidad justificable en las especificaciones, se puede llegar a obtener estos materiales para un empaque de grava, el diseñador debe tener en mente a los contratistas que venden arena para los filtros rápidos de las plantas purificadoras de agua de la localidad. Estas firmas frecuentemente tienen almacenadas grandes cantidades de arena y grava uniformemente graduadas que pueden estar listas para utilizarlas como materiales en un empaque de grava. En efecto, algunos diseñadores de pozos mantienen a mano curvas de análisis granulométricos de arenas para filtro, de modo que pueden especificar de antemano cualquier tipo que llene

de diseño es recomendado para los depósitos de las áreas húmedas del mundo y es el que más se usa comúnmente. Para depósitos extremadamente variables de las zonas áridas del mundo (tales como los Estados del Oeste en Estados Unidos) debe multiplicarse el tamaño correspondiente al 10% retenido por un factor comprendido entre 0.9 y 1.1. Este procedimiento de la misma manera.

3. - Dibuje una curva suave que pase por el punto inicial ya dibujado, y que tenga un coeficiente de uniformidad de 2.5 o menor (Coeficiente de uniformidad = tamaño correspondiente al 40% retenido / tamaño correspondiente al 10% retenido). Si el diseño de la curva es razonablemente anterior, debe hacerse por tanteos; sin embargo, el trabajo se puede facilitar con el auxilio de un envoltorio. En nuestro ejemplo, la curva dibujada (línea lisa que pasa por el punto X) tiene un coeficiente de uniformidad de aproximadamente 1.75. Puede hacerse dibujando ligeramente diferentes, tal como la curva trazada que pasa por el punto X, la cual tiene un coeficiente de uniformidad de 2.47 ($37.5/15.2 = 2.47$) y también ejemplo con el otro procedimiento expuesto; pero se considera que el diseño más conveniente consiste en proponer una curva para el empaque de grava con el coeficiente de uniformidad tan bajo como sea práctico. Por consiguiente, el material indicado por la línea curva lisa es más conveniente que el indicado por la línea curva a trazos.

4. - Prepare especificaciones para el material que ha de usarse en el empaque de Grava seleccionando uno o cinco tamices que cubren la necesidad requerida por la curva y especificando los límites permisibles para el porcentaje retenido en cada uno de los

exactamente sus necesidades.

5. - Escoja una rejilla para el pozo que retenga el 90% del material usado en el empaque de grava. Para nuestro ejemplo, la abertura de la ranura correcta sería 0.020 pulgadas.

Un diseñador de pozos que siga fielmente estas instrucciones nunca confrontará el problema de que los pozos por él diseñados bombeen agua con arena, porque todas estas recomendaciones de diseño se basan en la selección de la relación apropiada entre la granulometría de la formación natural y el material para el empaque de grava. Esto significa que una retención mecánica al material que constituye la formación le impediría moverse hacia el empaque de grava, y por consiguiente hacia el pozo.

Características de los Buenos Materiales para el Empaque de Grava.-

Un buen material para un empaque de grava debe ser limpio, bien redondeado, liso y uniforme. Todas estas características tienden a aumentar la permeabilidad y porosidad del empaque, lo que es, bajo todo punto de vista, conveniente. El material uniforme garantiza que habrá poca separación hidráulica de las partículas durante la colocación del material a través de una gran profundidad de agua. También es conveniente especificar que los materiales a usar en un empaque de grava sea principalmente silicosos, en vez de calcáreos, por si llegara a necesitar un tratamiento con ácidos; pues si el material del empaque fuera calcáreo, casi todo el ácido que se agregara en el trata-

miento se gastaría en el material del empaque, en vez de servir para eliminar los precipitados del calcio y hierro. Una especificación bastante frecuente dice que no más del 5% del material para un empaque de grava debe consistir de partículas calcáreas. Tampoco son deseables los materiales que contengan anhídridos, pizarra o yeso.

foreado, lo que dificultaría la limpieza de las paredes de la perforación por cualquier método de desarrollo. Por consiguiente, la

Espesor de la Envoltura de Grava.

Puesto que la teoría que rige el diseño de la granulometría del material que ha de usarse en un empaque de grava se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, bastaría con un espesor igual a dos o tres diámetros de los granos del empaque para retener la formación de arena. Se ha comprobado en el laboratorio que empaques con un espesor de apenas una fracción de pulgada logran retener exitosamente las partículas de arena, independientemente de la velocidad del agua que tiende a trasladar las partículas a través del empaque. Sin embargo, sabemos que en la práctica no es posible constituir un empaque con un espesor de una fracción de pulgada que logre rodear la rejilla completamente. Por consiguiente, para asegurarse de que la capa de grava rodeará totalmente la rejilla, un espesor de tres pulgadas ha sido escogido como el mínimo que debe usarse en la práctica.

Aumentar más de la cuenta el espesor de un empaque de grava es antieconómico, sobre todo tomando en cuenta que no hará aumentar la producción del pozo ni disminuirá la posibilidad de que le