

¿QUÉ SIGNIFICA UNA LECHADA ESTABLE Y UNA LECHADA INESTABLE DURANTE LA INYECCIÓN DE CEMENTO EN ROCA?

Raúl Bracamontes Jiménez: Director de comités técnicos de AMITOS (Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles) y especialista en inyección en roca y suelos.

Resumen

Las lechadas son aquellos fluidos utilizados en las inyecciones en roca y se clasifican en suspensiones y disoluciones. El comportamiento de estas, al momento de fluir, puede ser Newtoniano o Binghamiano, cada uno de estos poseen características definidas.

Las lechadas para inyección deben de cumplir ciertos parámetros establecidos como bajo sangrado, buena relación a/c, determinado tiempo de fraguado, entre otros.

Finalmente se describen las diferencias entre lechadas estables e inestables.

Se define como lechada a aquel material que se inyecta en el terreno y modifica sus características físicas. Es bombeable y se clasifican como suspensiones y disoluciones.

Suspensiones

Se denominan suspensiones a las lechadas que contienen agua y productos sólidos no disueltos como cemento, arcilla, entre otros. Cuando fluyen, adoptan el comportamiento de un fluido de Bingham.

Se debe de tener en cuenta que los sólidos en suspensión tienden a sedimentar por efecto de la gravedad y a perder agua bajo presión. Esto debe ser considerado en relación a la naturaleza y propiedades de los materiales existentes.

Disoluciones

Este tipo de lechadas no presentan partículas sólidas después de que los componentes químicos se disuelvan en el agua. Presentan un comportamiento de fluido Newtoniano.

Un fluido newtoniano es aquel cuya viscosidad puede considerarse constante, es uno de los tipos de fluidos más sencillos de describir. La curva que muestra la relación entre el esfuerzo o cizalla contra su velocidad de deformación es lineal. El mejor ejemplo de este tipo de fluidos es el agua.

Por ejemplo, si se aumenta la presión en un extremo de una tubería, se produce una tensión en el fluido que tiende a hacer que se mueva (denominada tensión de corte) y el caudal volumétrico aumenta proporcionalmente.

Fluido de Bingham

Un fluido de Bingham es un material viscoplástico que se comporta como un cuerpo rígido al estar sometido a tensiones reducidas; sin embargo, fluye como un fluido viscoso al ejercer sobre él mismo tensiones mayores. Por ejemplo: la miel, el concreto, la pasta de dientes, etc. En otras palabras, se puede aplicar tensión a un fluido de Bingham, pero no fluirá hasta que se alcance el valor de la tensión de fluencia. A partir de aquel punto, la tasa de flujo aumenta de manera constante al aumentar el esfuerzo cortante.

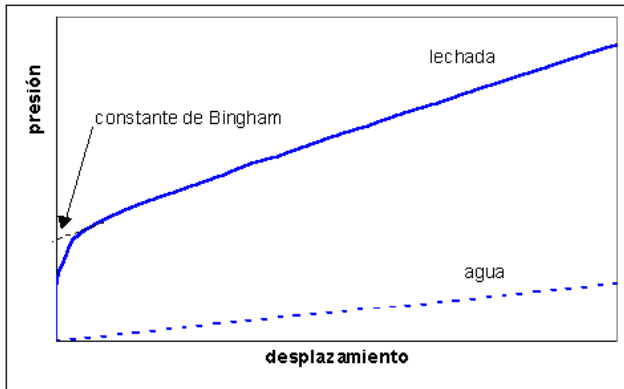


Figura 1. Gráfico desplazamiento vs. presión

Para una lechada de inyección, se puede usar cualquier tipo de cemento; sin embargo, los cementos gruesos con relativamente gran tamaño de grano solo se pueden usar para llenar aberturas más grandes.

Dos parámetros importantes que rigen la inyectabilidad del cemento son el tamaño del grano y la distribución del tamaño del grano (valor Blaine [m^2/kg]).

El tamaño máximo del grano adecuado para la inyección es algunas veces expresado como $d_{95} > 20 \mu\text{m}$, lo que significa que el 95% del cemento debe de pasar $20 \mu\text{m}$

Un cemento con un Blaine alto de 400 – 450 con un tamaño de grano pequeño usará más agua que un cemento grueso. El riesgo de sangrado en una suspensión elaborada a partir de un cemento fino es, por lo tanto, menor.

Los cementos más finos tienen una hidratación más rápida y una mayor resistencia final. Esto normalmente es una ventaja; sin embargo, genera un corto tiempo de colocación. Las altas temperaturas aumentarán los posibles problemas de obstrucción de líneas y válvulas. El mezclado intenso requerido para cementos finos debe controlarse estrechamente para evitar el desarrollo de calor causado por la fricción en el mezclador.

En una suspensión pura de cemento y agua existe una tendencia a la floculación del grano después del mezclado, especialmente con cementos más finos. Esto es contraproducente.

Se dice comúnmente que el tamaño inyectable de grieta

es aproximadamente 3 veces el tamaño máximo de grano (incluido el tamaño de los floculados). Para los cementos estándar, esto significa aberturas de hasta aproximadamente 0,30 mm, mientras que los micro cementos más finos pueden entrar en aberturas de 0,06 mm.

Propiedades de la lechada

- Relación A /C: demasiada agua destruye la lechada y muy poca destruye la penetración. La manera más importante y más usual de describir una lechada de cemento es por la relación agua/cemento (a/c); es decir, cuántas partes de agua por cada parte de cemento, y la forma más usual de darla es con las relaciones: 2/1; 1.5/1; 1/1; 0.8/1; 0.6/1, etc.
- El sangrado: debe mantenerse lo más bajo posible (canales de sangrado, lechada estable).
- Tiempo de cono de March: suficientemente líquido para penetrar, pero no bloquear los canales de agua.
- Balance de lodo: prueba la densidad de la lechada.
- Tiempo de apertura: el tiempo suficiente para ser bombeado y rellenar a las fisuras.
- Tiempo de fraguado: si el tiempo de fraguado es demasiado largo, esto tendrá un efecto de tiempo negativo en todo el ciclo.
- Blaine: finura del cemento.
- D95: tamaño de la partícula más grande.
- Resistencia: normalmente no es importante, siempre y cuando la lechada obtenga algo de resistencia.

Una mezcla es adecuada para inyectar cuando cumple los siguientes parámetros:

- Inicio de fraguado: 60-120 min (medido con aguja de Vicat)
- Fin de fraguado: 120-150 min (penetración de la aguja de Vicat de 1 mm)
- Relación a/c: 1.0 con 1.5% (s.p.c)
- Densidad aparente (Mud balance) 1.48 - 1.50 kg/l
- Cono de fluidez ASTM C939: 32 – 34 s
- Exudación máxima 2 %

Lechadas de suspensión inestables

El término "lechada de suspensión inestable" es ampliamente aceptado para referirse a una lechada con +5% de sangrado o sedimentación cuando se coloca en un recipiente graduado.

Hasta hace poco, la mayoría de las lechadas utilizadas para la lechada de permeación han sido suspensiones inestables que, en ausencia de agitación continua, se separan en dos fases distintas (agua y una suspensión muy espesa). En todas las ubicaciones, excepto dentro del agitador, las propiedades de las lechadas de suspensión inestables están en proceso de cambio a lo largo del proceso de inyección.

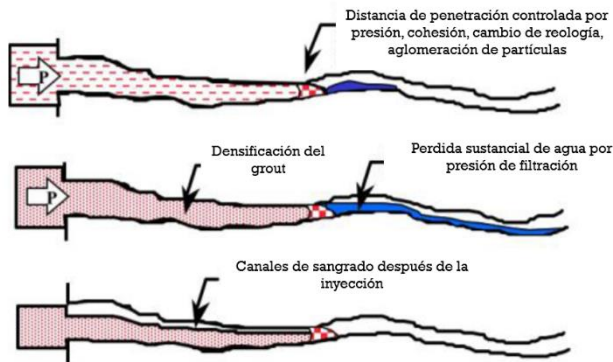


Figura 2. Lechada inestable

Lechada de suspensión estable

Las lechadas estables, que comenzaron a usarse en la década de 1990, no se separan en fases distintas en ausencia de agitación y no experimentan cambios significativos en las propiedades hasta que comienzan a tomar un conjunto. Numerosos aditivos están disponibles para modificar el flujo y establecer características (reología) de lechadas cementosas.

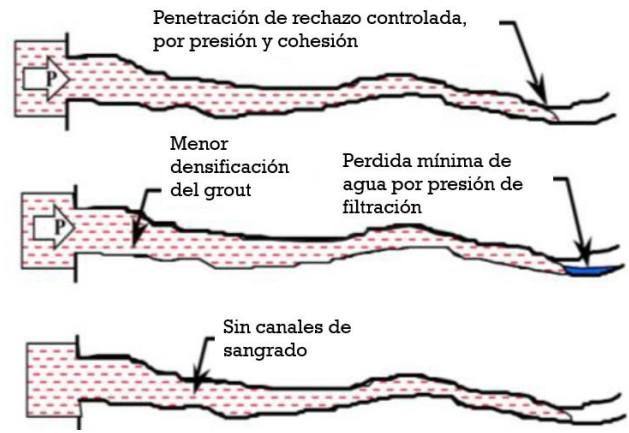


Figura 3. Lechada estable

La idea es tener un fluido de inyección estable (que no decante) con un comportamiento “predecible” durante la inyección menos peligroso frente a la hidrofracturación y tener un material endurecido de alta durabilidad y baja contracción.

La importancia de esta relación proviene del hecho de que, para una mayor calidad (eficacia) de la inyección, nuestras lechadas tienen que ser ESTABLES; es decir, que bajo condiciones normales no se separe el agua del cemento, comportándose como un cuerpo Binghamiano. Estas lechadas estables son las únicas que garantizan un completo llenado de las fisuras y grietas después del fraguado. Si la lechada es INESTABLE, se separará el agua del cemento y se crearán huecos y canales que debilitarán la inyección.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “An investigation of the laws of plastic flow”- Eugene C. Bingham, 1916
- [2] “Engineering and Design GROUTING TECHNOLOGY” (Manual), U.S. Army Corps of Engineers
- [3] “Geología aplicada a inyección en roca y suelos” (Curso) - Raúl Bracamontes, ISCYC, 2021