

CAPITULO III

3. INYECCIONES EN ESTRUCTURAS DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LA YESCA.

- 3.1 TRATAMIENTO MEDIANTE INYECCIÓN.
- 3.2 PERFORACIÓN.
- 3.3 LAVADO DE BARRENOS.
- 3.4 SATURACIÓN PREVIA.
- 3.5 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD (LUGEON).
- 3.6 METODO GIN.
- 3.7 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA PARA INYECCIÓN
- 3.8 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA
- 3.9 TIPOS DE PRUEBAS REALIZADAS A LA MEZCLA (LECHADA)
- 3.10 NYECCIONES EN LA ROCA POR CONSOLIDACIÓN
- 3.11 INYECCIÓN PARA PANTALLAS DE IMPERMEABILIZACIÓN.
- 3.12 RETAQUE DEL BARRENO.

3.1 TRATAMIENTO MEDIANTE INYECCIÓN.

3.1.1. Comportamiento de las inyecciones

El proceso de inyección de cada tramo o progresión puede interceptar la envolvente GIN, en cualquiera de sus tres fronteras: presión máxima, intersección de la curva PxV y por volumen máximo acumulado. Para cada comportamiento, la forma de proceder, para decidir si el tramo ha sido sellado o requiere de reinyecciones subsecuentes, es la que se describe a continuación:

Al alcanzar la Presión máxima:

- a) Cuando se llegue a la presión máxima especificada, ésta se deberá mantener constante durante 3 a 5 minutos y se deberá medir el gasto.
- b) Si este gasto es menor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), la inyección se da por concluida y el tramo se considera sellado.
- c) Pero, si dicho gasto es mayor a 5 litros /minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), se debe realizar un decremento de la presión de 0,49 MPa (5,0 Kg/cm²) y mantenerse durante 3 a 5 minutos, para medir nuevamente el gasto.
- d) Si este nuevo gasto resulta menor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), la inyección se da por terminada y el tramo por sellado.
- e) Pero, si el nuevo gasto sigue siendo mayor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), se debe aplicar ahora un incremento de la presión de 0,49 MPa (5,0 Kg/cm²) y mantenerla durante 3 a 5 minutos, y medir el gasto nuevamente.
- f) Si ahora el gasto medido es menor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), la inyección se da por terminada y el tramo por sellado.
- g) Pero si este último gasto continúa siendo mayor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), se repiten los pasos c, d, e y f, hasta dos veces como máximo para dar por terminada la inyección del tramo.

Intersección con la curva P x V:

a) Cuando el proceso de inyección registre un incremento rápido de la presión (múltiplo de 0,49 MPa ó 5,0 Kg./cm²) y en su trayectoria intercepta la curva PV, se continuará la inyección durante 3 a 5 minutos a la presión a la que llegó después de haber intersecado dicha curva y se medirá el gasto.

b) Si el gasto medido es mayor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), se disminuirá la presión hasta intersecar la curva, manteniéndola durante 3 a 5 minutos y se medirá el gasto.

c) Si el gasto resulta todavía mayor a 5 litros/minuto/tramo, se disminuye la presión hasta intersecar nuevamente la curva, y así sucesivamente hasta cumplir con el gasto menor a 5 litros/minuto/tramo (1 litro/minuto/metro), o hasta llegar al gasto mínimo requerido para darlo por sellado o hasta llegar al volumen máximo acumulado especificado, en litros/metro.

d) Al llegar al volumen máximo acumulado se deberá suspender la inyección, se aplicarán los 200 litros de agua para lavar el tramo y el carril del barreno, y se dejará en reposo durante seis horas, para que después de este lapso se prosiga con la inyección como un tramo nuevo. Se deberán considerar solo 3 inyecciones por tramo como máximo.

Al llegar al Volumen máximo:

a) Al llegar al volumen máximo en una primera inyección, sin haberse alcanzado la presión máxima especificada, se suspende la inyección y se bombean 200 litros de agua para lavar el tramo y el carril del barreno y dejarlo en reposo durante 6 horas.

b) Pasadas las seis horas de haberse suspendido la inyección, se reinicia como un tramo nuevo.

c) Si con las dos inyecciones anteriores no se logra el sellado del tramo se debe aplicar una tercera inyección, siguiendo las operaciones indicadas en los puntos a) y b).

d) Si después de la tercera inyección continúa el alto consumo sin llegar a la presión máxima especificada, se ejecutarán barrenos adicionales, como se describe más adelante.

En cualquiera de las tres condiciones anteriores, a juicio de Comisión, si el gasto es cercano al mínimo indicado para dar por sellado un tramo (5 litros/minuto/tramo), se podrá continuar la

inyección manteniendo la presión que se esté aplicando por un lapso de 6 a 10 minutos, con el propósito de comprobar si el tramo está a punto de alcanzar el sellado.

Para casos excepcionales, en donde no se registre presión y se alcance rápidamente el volumen máximo, podría obedecer a oquedades grandes con o sin agua en circulación o a fallas geológicas abiertas, para lo cual será necesario usar mezclas de fraguado rápido, compuestas principalmente de agua, cemento, aditivos fluidificantes, silicato de sodio, y/o morteros, las cuales deben ser diseñadas por el Contratista y verificadas por Comisión.

3.1.2. Volúmenes máximos de mezcla en tramos de alto consumo que justifican barrenos adicionales

- Como se mencionó en los casos donde se alcanza el volumen máximo acumulado en una primera inyección de un barreno, sin tener evidencia de hidrofracturamiento o des taponamiento del terreno, se aplicará un volumen máximo de mezcla de 700, 625 o 500 litros, según la curva GIN que se esté utilizando, y se suspenderá la inyección por un lapso de 6 horas, lavando el tramo inyectado y el carril del barreno al suspender la inyección; y después del tiempo señalado, se debe volver a inyectar como un nuevo tramo o progresión. De ocurrir lo mismo en la 2ª reinyección del tramo, se reanuda la inyección bajo el mismo criterio; solo permitiéndose una última 3ª reinyección; en esta última es indispensable la adición de acelerante para el fraguado de la mezcla, pudiendo ser silicato de sodio cuya densidad debe ser de 40° Brumé descrito en el inciso ó aplicar morteros con resistencia a la compresión simple compatible con la mezcla; es decir, solo se aplicará un volumen máximo por tramo o progresión de 2100, 1875 o 1500 litros, según la curva GIN utilizada.
- En la inyección del tramo inmediato superior, al descrito en el párrafo anterior, si se tiene un comportamiento similar (con altos consumos), se podrá iniciar la 2ª reinyección con la aplicación de mezclas con acelerante de fraguado o con morteros.
- En barrenos de tercera etapa (con espaciamiento @ 3 m), en el caso específico de que ocurra hidrofracturamiento o des taponamiento sistemático del terreno en tres inyecciones sucesivas de uno o varios tramos será necesario ejecutar dos barrenos adicionales de cierre, uno a cada lado del barreno en cuestión, quedando éstos a 1,50 m de separación (barrenos de 4ª etapa). La profundidad de los barrenos adicionales será 5 m mayor respecto al tramo más profundo donde se haya registrado el alto consumo.

3.1.3. Actividades de control durante los tratamientos de inyección (procesos de producción)

El Contratista debe mantener una estrecha vigilancia de los procesos de producción y/o construcción establecidos en el proyecto y las especificaciones; para tal efecto debe verificar la orientación e inclinación de los barrenos, tal como lo indique el proyecto, haciendo los ajustes por condiciones geológicas, y supervisando los consumos, gastos, presión, tiempo de aplicación de las mezclas que consume el terreno, con apego al método GIN especificado. Deberá también asegurar un adecuado retaque final del carril de los barrenos.

El Contratista está obligado a tener actualizados los planos de avance y de consumo de mezcla durante todo el proceso de inyección. Estos planos deben contener las secciones longitudinales del tramo inyectado y la información geológica que permita interpretar y correlacionar el comportamiento y los consumos registrados, para la toma de decisiones de manera oportuna.

El Contratista deberá implementar un sistema automatizado para el control y el registro de las mediciones de los parámetros establecidos en el criterio GIN, con la finalidad de tener la información del comportamiento de las inyecciones en tiempo real. El software deberá estar diseñado para reproducir las gráficas indicadas en la especificación

3.1.4. Criterio para evaluar la liberación de zonas inyectadas

Al término de los trabajos de inyección de la pantalla de impermeabilización, del tapete de consolidación y del contacto concreto-roca; que incluye invariablemente a todos los barrenos de las distintas etapas, inclusive la etapa adicional de inyección (si fuese requerida) por consumos excesivos; se deben verificar y liberar tramos inyectados, juzgando los consumos de mezcla de cemento obtenidos en las diferentes etapas. Solo en casos específicos podría requerirse la verificación por medio de pruebas de permeabilidad.

La revisión y liberación mencionada, se debe realizar por tramos que abarquen por lo menos 4 (cuatro) barrenos de primera etapa con sus respectivas etapas intermedias y adicionales. Para fines de oferta, el Contratista debe considerar que cada tramo de tratamiento por liberar será de una longitud de 36 m lineales.

En los sitios o tramos donde se presenten dudas por consumos decrecientes de mezclas, taponamientos repentinos o la presencia de zonas de alto consumo, será necesario un reforzamiento del tratamiento de inyecciones con mayor cantidad de barrenos inyectados, orientados a zonas de altos consumos de mezcla, buscando siempre la optimización de la barrenación hacia los sistemas de discontinuidades.

Comisión únicamente aceptará barrenos debidamente inyectados y con adecuado retaque final, a plena satisfacción; solo bajo estas condiciones liberará los tramos.

En casos específicos, podrá requerirse la ejecución de barrenos de verificación para evaluar directamente la efectividad del tratamiento aplicado en una zona determinada del plano de estanqueidad.

Los consumos máximos aceptables, para dar por concluida la inyección de una zona, son los que se indican en la Tabla

Elevacion.	Consumo de mezcla.	
	Kg/m	litros/m
580 a 495	<31	<40
495 a 410	<27	<35
410 a 325	<23	<30

Los valores de consumo en kg/m de la tabla fueron calculados considerando una mezcla con relación agua/cemento (A/C) igual a: 0,95/1,0 + 0,5 a 1,0% de aditivo fluidizante. De considerar otra dosificación, los valores en kg/m deben modificarse en consecuencia.

3.1.5. Sistema de control de inyecciones

Este sistema debe recabar la información que genere el “sistema de diseño” y controlar de forma automática el proceso y equipos de inyección, para lo cual el sistema debe tener la capacidad de controlar y/o ejecutar desde una computadora principal lo siguiente:

- Controlar automáticamente el arranque y paro de la bomba al cumplir con los criterios de inyección del proyecto, indicándole al operador de forma instantánea que el tramo inyectado ha sido terminado.
- Las bombas de inyección deben estar equipadas con sensores de presión, caudal electrónicos que envíen la información de forma instantánea a la computadora de control de inyecciones.
- Mostrar gráficamente y de forma instantánea los parámetros de diseño (del sistema de diseño) y previamente programados como: presión, caudal y volumen teóricos.
- Mostrar gráficamente y de forma instantánea los parámetros reales de ejecución como son: presión, caudal y volumen real inyectado.
- Tener un sistema automático de almacenamiento de la información de las inyecciones realizadas y por realizar.
- Reportar de forma instantánea los posibles problemas que se generen durante un proceso de inyección (comunicación con otra perforación, resurgencias, problemas con la bomba de inyección, taponamientos, etc.) indicándolo en el reporte que debe ser generado de forma automática.
- Generar reportes impresos, con toda la información de las inyecciones terminadas y en curso, en cualquier momento que sea solicitado y de forma instantánea desde el sitio de obra.
- Controlar de 2 a 12 bombas de inyección desde un solo punto de trabajo.
- Transferir la información de forma diaria de los trabajos terminados a una memoria para utilizar dicha información y realizar los análisis requeridos.

3.1.6. Sistema de representación gráfica de inyecciones

Este sistema debe tomar la información proveniente de los sistemas de diseño y control; y debe tener la capacidad de poder representar de forma gráfica y en 3 dimensiones los parámetros registrados por el sistema de control.

La información proveniente del sistema de control debe ser transferida de forma diaria a la computadora con el sistema de representación gráfica.

El sistema de representación gráfica y en 3 dimensiones debe mostrar los valores siguientes:

- Presiones teóricas
- Presiones reales de inyección (media y final)
- Volumen teórico
- Volumen final
- Tiempo de inyección
- Fecha y horas de los tramos inyectados
- Profundidades inyectadas por tramo

El sistema debe permitir la representación de los valores en colores según los rangos deseados de tal forma que el análisis de zonas de bajo, medio y alto consumo se puedan visualizar de forma rápida y exacta.

3.2. PERFORACIÓN.

Debe seleccionarse el diámetro óptimo del barreno, de tal forma que se obtenga un eficiente proceso de inyección. Hasta su longitud de proyecto, respetando el orden o proceso de perforación que se ejecutará por etapas y fases, según como se indica en el proyecto. Las longitudes de cada barreno se indican en los planos de proyecto.

3.2.1. PERFORACION DE CONSOLIDACIÓN:

La perforación para la consolidación, se realiza con equipos de roto percusión con el martillo integrado en la parte superior y/o con martillo de fondo, con dispositivo alimentador de agua para disipar el polvo que genera la propia perforación las perforadoras serán alimentadas por un compresor de aire comprimido. La profundidad, rumbo e inclinación de los barrenos será la que se indique en los planos del proyecto. (Ver Fig.3.2.1.)

La perforación, se realiza en una sola operación desde que se inicia hasta la profundidad que indique el proyecto. El diámetro de los barrenos de consolidación es 2 ½", esto debido a que no se fallan los barrenos. Los tratamientos de consolidación se realizan en cortes (entre 8 y 20 m).



Fig. 3.2.1. Perforación de consolidación

3.2.2. PERFORACION PARA PANTALLA PROFUNDA:

La perforación para la pantalla profunda de inyección, se realiza con un equipo track drill o similar, con unidad de rotación y martillo de fondo puede usarse también equipo con solo sistema de rotación(La profundidad de estos barrenos, es del orden de 50 m, y de los barrenos de exploración pueden alcanzar longitudes de 80 m. de acuerdo a como se presenten las condiciones geológicas. (Fig. 3.2.2.)

Para el caso de la pantalla de inyecciones se tienen considerados barrenos del orden de 50 m de longitud, y otros, llamados de exploración, que pueden alcanzar longitudes hasta de 80 m (profundidad definida por necesidades de índole geológico).

Estos barrenos están ubicados sobre una línea a todo lo largo del plinto y separados 2.0 metros uno de otro, para mayor facilidad, se identifican de la siguiente manera.

Barrenos de exploración	a cada 24 mt.
Barrenos de 1 fase	a cada 8 mt
Barrenos de 2 fases	a cada 4 mt
Barrenos de 3 fases	a cada 2 mt

El diámetro de la perforación para unos barrenos de pantalla es de 3”.

Consultar anexos para ver el arreglo de los barrenos en pantalla de impermeabilización galería GD3.

Criterio para definir la prolongación de la pantalla de impermeabilización

En la tabla, se proporcionan los valores de consumo de mezcla que justifican la profundización de la pantalla de impermeabilización, desde las galerías inferiores de ambas márgenes.

Valores de consumos de mezclas que definirán la necesidad de prolongar la Pantalla de impermeabilización.

ELEVACIÓN.		CONSUMO DE MEZCLA.		COMENTARIOS
DE	A	Kg/m	l/m	
580	495	>39	>50	Se debe prolongar la pantalla hasta 5m por debajo del tramo mas profundo que tuvo el consumo mayor a los limites establecidos.
495	410	>31	>40	
410	325	>23	>30	

Los valores de consumo en Kg./m de la tabla fueron calculados considerando una mezcla con relación agua/cemento (A/C) igual a: 0,95/1,0 + 0,5 a 1,0% de aditivo fluidizante. De considerar otra dosificación, los valores en Kg./m deben modificarse en consecuencia.

Fig. 3.2.2. Perforación para pantalla profunda



3.3. LAVADO DEL BARRENO.

Esta actividad se debe realizar previa al equipamiento del barreno, para la inyección de la mezcla, o para la instalación de pernos de anclaje o cuando se requiera la reinyección de un tramo por alto consumo de mezcla.

Consiste en la limpieza del barreno utilizando un chiflón de agua y aire que consiste en un tubo con orificios deben estar orientados hacia las paredes y con la presión necesaria para poder desalojar el detritus de la perforación, así como las partículas que se encuentren sueltas en las grietas, esta limpieza se considera concluida cuando el agua retorna limpia del fondo del barreno, esta actividad es independiente de la que se realiza durante la barrenación.

3.4 SATURACIÓN PREVIA.

En la zona que se encuentra por arriba del NAF y antes de iniciar la inyección, se debe saturar la roca. El NAF se podrá medir mediante la utilización de una sonda piezométrica. (Ver Fig. 3.4.1.)

Se debe realizar en tramos de 20 m colocando el obturador en la parte superior de la progresión por saturar, inyectando agua a una presión de 1MPa. La saturación se inicia por el tramo mas profundo del barreno y se continúa en forma ascendente hasta los tramos superiores.

Para los tramos donde se alcance la presión de 1MPa (10kg/cm²), se debe seguir un criterio basado en el gasto constante, que consiste en aplicar la presión de 1MPa (10kg/cm²), medir el gasto cada 3 minutos. Cuando el gasto se establezca se continuara la inyección de agua por espacio de 5 minutos mas, en este punto se da por terminada la saturación del tramo.

Fig. 3.4.1. Saturación previa: Ayudante general bombeando agua al barreno.



3.5 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD (LUGEON).

Esta prueba tipo lugeon consiste en a inyección de agua a presión ascendente y descendente dentro de una perforación en roca, para la cual mediante un obturador se aísla el tramo que se desea probar y se registra la absorción durante intervalos regulares de tiempo.

La absorción (la absorción es la cantidad de agua, que toma la roca por inyección, en litros por minuto por metro) de 1.0(L/min)/m) de agua, inyectada a una presión efectiva de 0.981Mpa. Así se encuentra la conductividad hidráulica que es la facilidad de los materiales para permitir el paso del agua y un coeficiente de correlación entre presión y absorción que puede ir desde 1 hasta -1 y cuyo valor absoluto define la relación de correspondencia entre las presiones y absorciones. (Fig.3.5.1.)

Clasificación.

Para calificar la conductividad hidráulica (permeabilidad) de cada tramo probado se adoptan los siguientes parámetros:

ABSORCION	UNID. LUGEON	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA.
0.0 a 3.0	UL	Tramo n conductivo (impermeable)
>3.0 a 11.0	UL	Tramo poco conductivo (poco permeable)
>11.0 a 25.0	UL	tramo conductivo (permeable)
>25.0 a 40.0	UL	Tramo muy conductivo (muy permeable)
>40.0	UL	Tramo altamente conductivo (altamente permeable)

Descripción del método.

La perforación donde se efectúa la prueba preferentemente debe ser echa con brocas con insertos de diamante o impregnada de 3" de diámetro y se debe usar agua limpia, el agua del río Santiago cumple con las cualidades requeridas bajo algunas características que se deben de mejorar.

Antes de la primera prueba el barreno debe ser lavado cuidadosamente e intensamente. Con agua, el tramo de prueba a realizar no debe ser mayor de 5 metros. En los tramos muy fracturados es preferible una menor longitud, siempre y cuando el tiempo y los recursos disponibles lo permitan.

Previo a la prueba es necesario conocer la litología, recuperación, RQD, si existe o no el NAF y la evolución del nivel de agua de la perforación, ya que dichos elementos son la base para la base para determinar la longitud del tramo de prueba, la presión inicial, los requerimientos de la misma y en general para prevenir y tomar decisiones durante la ejecución de la prueba.

El tiempo óptimo para cada observación es de 10 minutos y se recomienda que no sea menor de 5 minutos tanto, para las presiones ascendentes como para las presiones descendentes. Siempre que sea posible se recomienda efectuar cuando menos 5 observaciones a cada gama.

Las pruebas deben hacerse conforme avanza la perforación, dejando para condiciones especiales probar una vez que el barreno ha concluido.

El resultado se da en unidades lugeon.

De acuerdo con la definición de la prueba, cuando no se conoce suficientemente las características geotécnicas del tramo a probar, se puede iniciar la prueba con una presión efectiva de 0.196 Mpa. Con incrementos similares hasta llegar a 0.981 Mpa.

En caso de detectar que el terreno se deteriora de manera inconveniente con los incrementos de presión, se puede reducir estos a 0.1Mpa En caso de que la obra por concluir se proyecta a mas de 100 metros de altura, si el terreno se presenta, se puede incrementar la presión hasta simular en lo posible la presión a la que se estima estará el terreno incrementando todavía 0.1 o 0.2 Mpa por arriba de dicha presión. El calculo de las UL, para una evaluación representativa, tiene como base la obtención del lugar geométrico determinado por las condiciones iniciales $p=0$ $A=0$ y los puntos de observación, con un ajuste basado en el metodo de los mínimos cuadrados.

Resultados.

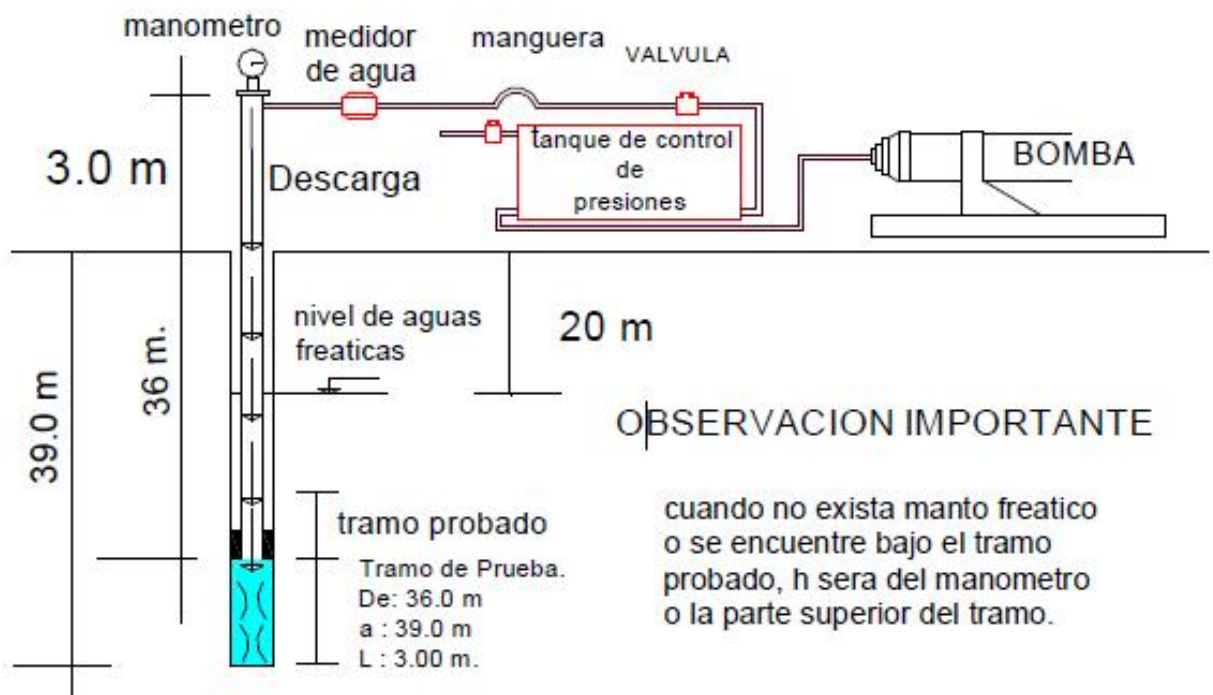
Se debe llevar a cabo un registro de campo con los datos de la prueba, para el cual se anexa formato que es necesario llenar

El reporte de calculo contiene los datos generales de la prueba, las presiones manométricas aplicadas, perdidas por fricción y presiones efectivas en (litros/minutos)/metro. Debe contener una grafica en donde en el eje de las abscisa se indiquen las presiones efectivas y las absorciones en as ordenadas, esto es con el fin de facilitar la comparación entre graficas de diferentes pruebas, en el eje de las presiones se representan hasta 1.5 Mpa y en las ordenadas 40 (litros/minutos)/metro. Para casos con presiones mayores, se duplican la escala y se representa 3.0 Mpa y 80 (litros / minutos)/metro, en el eje de las presiones y las absorciones respectivamente. También, contiene la ecuación del lugar geométrico que den los puntos de as observaciones, las UL calculadas, litología, fracturamiento, recuperación, RQD, así como la información que se considere fundamental para el análisis e interpretación de la prueba.

La conductividad hidráulica (permeabilidad) de cada barreno indicado en la “anatomía” final, es la base para relaciones en secciones geológicas o en bloques geológicos diafragmáticos, la conductividad hidráulica entre los diferentes barrenos.

Se han empleado frecuentemente pruebas de presión de agua (pruebas lugeon) en cada intervalo de inyectado para ayudar a seleccionar la mezcla de inyectado. Sin embargo, la experiencia y la teoría han indicado una correlación muy pobre de los valores lugeon con las absorciones de lechada. Sin embargo todavía se podrán emplear las pruebas lugeon en las perforaciones exploratorias primarias para tener una imagen general de la permeabilidad a través del empotramiento y el área de cimentación de la cortina principal. Luego se podrán efectuar comparaciones con pruebas lugeon llevadas acabo como comprobación o barrenos de control después del inyectado, para ver si se ha logrado una reducción suficiente en la permeabilidad.

Fig. 3.5.1. PRUEBA DE PERMEABILIDAD (LUGEON)



3.6 MÉTODO GIN

La metodología que se propone para la ejecución de los trabajos de inyección, está basada en el Método de Inyección de Presión y Volumen Constante, denominado GIN (por sus siglas en inglés Grouting Intensity)

Este método permite reducir y evitar casi totalmente el problema de hidrofracturamiento si se establece adecuadamente los parámetros de control. Las pruebas de inyectabilidad permiten conocer aproximadamente estos parámetros. Junto con la información geológica y de mecánica de rocas del sitio. Para que los límites de presión y volumen de la curva GIN sean apropiadas a las características del terreno y también para evaluar la necesidad de diferentes curvas GIN en diferentes partes de la obra. (Ver Fig. 3.6.1.)

3.6.1. Características.

- Una sola mezcla de inyección estable para todo el proceso de inyección con una relación de agua/cemento por peso (0.65 a 0.90) con un aditivo super fluidizante para reducir la cohesión y la viscosidad y para aumentar la permeabilidad.
- Una velocidad constante de baja a mediana de bombeo de la lechada, que con el tiempo se incrementa gradualmente conforme la lechada penetra más dentro de las fracturas de la roca como se muestra en la figura 3.6.2.
- El monitoreo de la presión. La velocidad del flujo inyectado y la penetrabilidad contra el tiempo, en tiempo real. Por medio gráficos en una computadora PC.
- La terminación del inyectado cuando la trayectoria de la lechada registrada sobre el diagrama de presiones contra volumen total (por metro de intervalo inyectado) intercepta a una de las curvas de volumen limitante, presión límite o intensidad de inyectado limitante como queda dado por la curva de volumen limitante.

Fig. 3.6.1. Inyección de una Fractura.

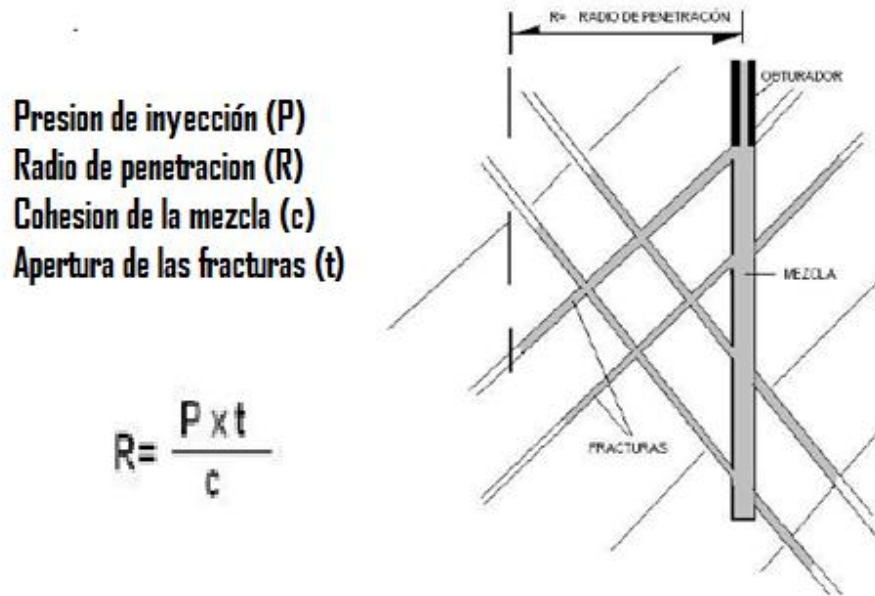
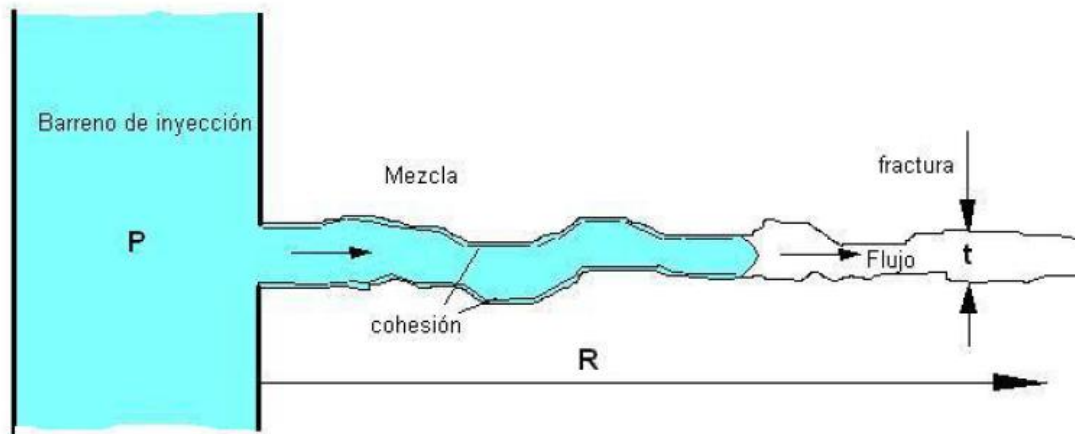


Fig. 3.6.2. Penetración de la lechada.



3.6.2. Metodología.

La inyección debe hacerse en tramos de 5 m y en progresiones ascendentes. Durante el proceso se debe monitorear la evolución de la presión, dando incrementos de 0,49 MPa (5 Kg./cm²) y el volumen de mezcla por metro (l/m) hasta interceptar la curva o trayectoria GIN seleccionada. La intersección de la curva PV puede darse por las siguientes condiciones: por presión máxima especificada, por intersección de la propia curva GIN, o por volumen máximo establecido.

Para evaluar el comportamiento del terreno, desde el inicio y hasta el final de cada una de las progresiones o tramos inyectados de cada barreno, el Contratista debe llevar un registro continuo de la evolución de la inyección, utilizando los siguientes parámetros: Presión de inyección medida en el brocal del barreno en MPa; volumen total inyectado de lechada (consumo) en litros y el tiempo en minutos. Con estos parámetros deben elaborarse las gráficas de control de inyección siguientes:

- Presión efectiva (MPa) vs. Volumen acumulado (l/m)
- Presión efectiva (MPa) vs. Tiempo (min.)
- Gasto (l/min.) vs. Tiempo (min.)
- Volumen acumulado (l/m) vs. Tiempo (min.)
- Gasto/Presión (l/m / MPa) vs. Tiempo (min.) (Penetrabilidad)
- Gasto/Presión (l/m / MPa) vs. Volumen acumulado (l/m) (Penetrabilidad)

Los valores b y c deben registrarse en una misma gráfica para visualizar simultáneamente la evolución de la presión y del gasto respecto al tiempo; asimismo, los valores e y f registrados en un mismo gráfico, nos proporcionarán la penetrabilidad o inyectabilidad del terreno.

Todas las gráficas deben estar identificadas claramente y conservarse en la memoria de tratamientos del proyecto.

3.6.3. Curvas GIN propuestas

En función de las cargas hidráulicas que impondrá el embalse y con base en los resultados de las pruebas de inyección realizadas in situ, se propone de manera tentativa emplear los valores GIN indicados en la tabla.

Estos parámetros son aplicables para los tratamientos de consolidación y pantalla de impermeabilización:

Zona	Elevación (msnm)	CURVA GIN (PxV)		PRESIÓN MAX.		VOLUMEN MAXIMO DE MEZCLA L/m
		Mpa l/m	Kg/cm2 l/m	Mpa	Kg/cm2	
Alta.	Elevación 580 a 495	58,8	600	1,47	15,0	100
Media.	Elevación 495 a 410	98,1	1000	2,45	25,0	125
Baja.	Cauce Elevación 410 a 325	137,3	1400	3,43	35,0	140

En caso de encontrarse condiciones geológicas distintas a las evaluadas en la etapa de estudios, se podrán redefinir los parámetros arriba asignados; por tanto, conforme se avance en las inyecciones de primera etapa, se evaluarán los resultados obtenidos a fin de hacer los ajustes necesarios, los cuales deben ser aceptados por la Comisión.

Para el caso del tratamiento de fallas geológicas o diques, en principio, podrán aplicarse estos valores, pero podrán modificarse en función del comportamiento particular que se observe.

3.7. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA PARA INYECCIÓN.

El proceso para la preparación de la mezcla de inyección debe llevarse a cabo en instalaciones apropiadas que cumplan con los requisitos indicados para que la calidad de la mezcla se conserve desde la planta de preparación hasta la boca del barreno por inyectar.

Para que la mezcla sea la adecuada, requerida en el proyecto para la inyección es necesario que se ponga bastante atención con todos los componentes de la misma así como su dosificación. Es necesario que se le de el tiempo suficiente de mezclado, a cada uno de los componentes de la misma, ya que de ello depende para que la mezcla este lo mejor homogénea

La fabricación de la mezcla debe efectuarse con turbo mezcladores de altas revoluciones (mayores a 1250 rpm) colocando los materiales componentes, con base en la dosificación de proyecto, en el orden siguiente: agua, aditivo estabilizador de volumen, cemento, arena (en el caso del mortero) y por último el aditivo fluidificante. Una vez que haya sido adicionado el último componente de la mezcla, ésta debe mantenerse en agitación dentro del turbo mezclador de 1 a 3 minutos, dependiendo de los resultados de pruebas preliminares; después de esto, se envía a los agitadores de bajas revoluciones (60 rpm, como mínimo) de las estaciones de inyección, en las cuales debe mantenerse en agitación durante el proceso de inyectado o durante la vida útil de la mezcla.

Las mezclas que permanezcan en los agitadores durante un tiempo superior a 60 minutos y tengan una temperatura entre 36 y 38 °C deben desecharse, ó 45 minutos cuando la temperatura de la mezcla sea mayor; sin embargo, el tiempo de permanencia en los agitadores y la temperatura máxima permisible de las mezclas pueden ser modificados en el sitio de acuerdo a las disposiciones de laboratorio de mezclas de inyección del Contratista, bajo su responsabilidad, siempre y cuando cumpla con las propiedades especificadas.

3.7.1. Mezcla de inyección:

Se utilizara una mezcla única para todos los tratamientos de consolidación e impermeabilización del macizo rocoso. Dicha mezcla, esta constituida con una relación de agua/cemento (A/C) variable de 0.8/1 a 1/1, en peso de cemento, aditivos súper fluidizantes y estabilizador es de volumen, ambos dosificados al peso del cemento.

Para casos excepcionales, en donde no se registra presión y se alcance rápidamente el volumen máximo, se usan mezclas de fraguado rápido, compuestas principalmente de agua, cemento, aditivos fluidificantes, silicato de sodio, y/0 morteros.

3.8. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA.

3.8.1. Productos empleados en la inyección (mezclas fabricadas con cemento):

LECHADA: Formada por agua cemento y bentonita o puede tener algún aditivo químico para fluidizarla y mejorar su resistencia.

MORTERO: Formado por agua, cemento, arena y puede o no tener algún aditivo químico para fluidizarlo y mejorar su resistencia.

CONCRETO: Formado por agua, arena, grava y puede o no tener algún aditivo químico para fluidizarlo y mejorar su resistencia.

3.8.2. Mezcla única de inyección P.H. YESCA

En lo que respecta a la mezcla única de inyección de la presa hidroeléctrica la yesca se componía por 47 litros de agua, 0.4 kilogramos de bentonita, un bulto de 50 kilogramos de cemento y 0.4 litros de aditivo (RHEOBUILD 716)

3.8.3. Cemento

Existen diversos tipos de cemento Pórtland para propósitos específicos. La norma C-150 “Especificación estándar para cemento Pórtland” de la American Society for Testing and Materials (ASTM) estipula ocho tipos de cementos Pórtland:

Tipo I Normal

Tipo IA Normal inclusor de aire

Tipo II De resistencia moderada a los sulfatos

Tipo IIA De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire

Tipo III De alta resistencia a edad temprana

Tipo IIIA De alta resistencia a edad temprana, inclusor de aire

Tipo IV De bajo calor de hidratación

Tipo V De resistencia elevada a los sulfatos

Para la presa su utilizo como mezcla única de inyección se utilizo una lechada compuesta de:

Cemex cpp 30r Pórtland (Ver Fig. 3.8.3.)

Desarrollo de mayor resistencia a los 3 días. Este cemento esta elaborado principalmente con clinker gris, yeso natural, y puzolanas naturales. Este cemento corresponde a la clasificación de CPP (Cemento Pórtland Puzolánico) de la actual norma mexicana para cementos en México, NMX-C-414-ONNCCE. El nivel de resistencias a la compresión de nuestro CPP 30R, sobrepasa los límites mínimos de la clase resistente 30 de la norma mencionada.

Resistencia a...		
3 días	28 días	
Mín	Mín	Max
204 kg / cm ²	306 kg / cm ²	510 kg / cm ²
20 N / mm ²	30 N / mm ²	50 N / mm ²

Por su tamaño de partículas resulta conveniente para dar acabados finos o tersos a tus obras y su tiempo de fraguado te permitirá realizar con comodidad las operaciones de transporte, colocación y acabado. La incorporación de puzolanas naturales en su formulación mejora la

Cp: centipoise

Vp: viscosidad plástica

3.8.6. Aditivo (RHEOBUILD 716):

Para las mezclas de inyección a base de lechadas debe utilizarse un aditivo súper fluidizante, reductor de agua de alto rango y retardante de fraguado, que al agregarse a la mezcla fresca le provea de una consistencia superfluidad y de alta trabajabilidad, o un aditivo adicionado de estabilizadores especiales, que además de lo anterior, sea acelerante de resistencia. En caso de requerirse, puede emplearse Silicato de sodio (concentración a 40° Baumé) para acelerar el fraguado de la mezcla.

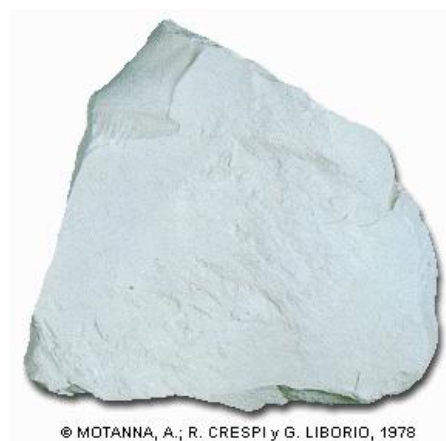
RHEOBUILD 716 asegura que el concreto rheoplástico se pueda seguir trabajando por aproximadamente 1 a 2 horas a 20°. La duración precisa para poder trabajar la mezcla no solo depende de la temperatura, sino también del tipo de cemento, la proporción agua/ cemento, el contenido de aire, la naturaleza de los agregados y del método de transporte. Es altamente recomendable que el concreto se cure adecuadamente especialmente en climas calientes y secos.

MATERIALES

Fig.3.8.3. Cemento



Fig.3.8.4. Estabilizante (bentonita)



[Fig. 3] Agua (rio santiago y bolaños)



3.9. TIPOS DE PRUEBAS REALIZADAS A LA MEZCLA (LECHADA).

El Contratista debe establecer un muestreo aleatorio y selectivo de los componentes empleados en los procesos de producción y/o construcción con pruebas de laboratorio, bajo el siguiente esquema:

- Obtener muestras de lechada por cada 5 barrenos inyectados. Estas muestras deben tomarse preferentemente en la válvula de purga ubicada en el brocal del barreno, y se les debe practicar pruebas índice y de resistencia mecánica bajo los métodos indicados en el inciso 6.4.14, para verificar el cumplimiento de los requisitos especificados. Comisión se reserva el derecho de efectuar verificaciones intermedias de estas propiedades, y en caso de existir diferencias importantes o incumplimiento de los requisitos, podrá rechazar las mezclas durante el proceso de inyectado y exigir su corrección y/o ajuste. as mezclas que se empleen para todas los tratamientos de inyección de impermeabilización y consolidación de la roca, deben cumplir con las características que se describen a continuación.

La relación agua/cemento (A/C) con relación al peso del cemento será variable de 0,8/1 a 1,0/1, dependiendo de los ensayos de laboratorio, adicionando el porcentaje de aditivo súper fluidificante y estabilizador de volumen con relación al peso del cemento. Con estas dosificaciones se deben cumplir las propiedades siguientes:

- Viscosidad al cono Marsh entre 29 y 33 segundos, constante durante una hora.
- Densidad o peso volumétrico entre 1,47 a 1,55 g/cm³
- Decantación (sedimentación) menor o igual a 4 % en dos horas
- Cohesión (con placa) menor o igual a 0,03 g/cm² ó 0,2 Mm.
- Coeficiente de filtrado menor o igual a 0,6.
- Cake obtenido de la prueba de filtrado menor o igual a 15 Mm.
- Resistencia a la compresión simple a la edad de 28 días mayor o igual a 9,8 MPa (100 kg/cm²).

Durante los procesos de inyección, las propiedades físicas antes especificadas, deben ser verificadas por el Contratista, para asegurar su cumplimiento. De obtenerse parámetros fuera de los aquí establecidos, el Contratista debe realizar los ajustes necesarios y presentar los resultados a la Comisión. Los métodos de prueba que debe emplear para tal fin son los siguientes:

Viscosidad con cono Marsh.

Se define como el tiempo en segundos que tarda en escurrir 946 ml de mezcla, de un embudo de dimensiones estándar (denominado cono Marsh), de un total de 1500 ml de mezcla depositada en el embudo. (Fig. 3.9.1.)

Densidad aparente.

Se obtiene mediante la balanza de lodos y consiste en llenar con mezcla la copa de la balanza cuyo volumen es de 200 ml golpeándola ligeramente para eliminar burbujas de aire, se tapa dándole un ligero movimiento de rotación. Se coloca la balanza sobre su base y se equilibra, obteniéndose directamente el valor en la escala correspondiente. (Fig. 3.9.2.)

Decantación o sedimentación.

Consiste en vaciar 200 ml de mezcla en una probeta de vidrio de 250 ml, colocándola en una superficie lisa y nivelada, anotando las lecturas del nivel de sólidos a cada 15 minutos durante la primera hora y media, y después a cada 30 minutos, hasta obtener por lo menos dos lecturas iguales, con lo que se obtiene el % de Decantación y el tiempo de estabilización de la mezcla. (Fig. 3.9.3.)

Cohesión.

Se obtiene por medio de una placa de acero inoxidable de 100 x 100 mm y un espesor del orden de 1,5 mm, debe ser lo suficientemente rugosa, por lo cual deberá estar rayada en ambas caras y sentidos @ 5 mm. El ensaye consiste en pesar primero la placa en una balanza de precisión, sumergir la placa en la mezcla dejándola escurrir libremente y pesar nuevamente, la diferencia obtenida se divide entre el área de ambas caras de la placa, y se obtiene la cohesión en g/cm²; y dividiendo este valor entre la Densidad de la mezcla, se obtiene la Cohesión en Mm., que sería el espesor de la película de mezcla adherida en la placa. (Fig. 3.9.4.)

Coeficiente de filtrado.

Se obtiene mediante el aparato denominado filtro-prensa y consiste en determinar la cantidad de líquido que se extrae de un volumen determinado de mezcla (200 ml), a presiones de 0,2; 0,4 y 0,7 MPa, durante 30 minutos o en el momento que empieza a salir aire exclusivamente, obteniéndose el volumen de agua filtrada, espesor del "cake" (sólidos retenidos), así como dureza, textura y flexibilidad de los sólidos. (Fig. 3.9.5.)

Resistencia a la compresión simple.

Es el esfuerzo máximo que se aplica a una muestra cilíndrica con relación de esbeltez (H/D) de 2,5 a 3,0 ó cúbica, aplicando incrementos de carga constante de 200 kg/min, hasta llegar a la ruptura o falla. Las probetas deben ensayarse a edades de 7; 14 y 28 días. Previo al ensaye se debe verificar que las caras estén completamente paralelas, en caso de existir alguna desviación pulir las superficies en un vidrio, utilizando polvos abrasivos. (Fig. 3.9.6.)

FIG.

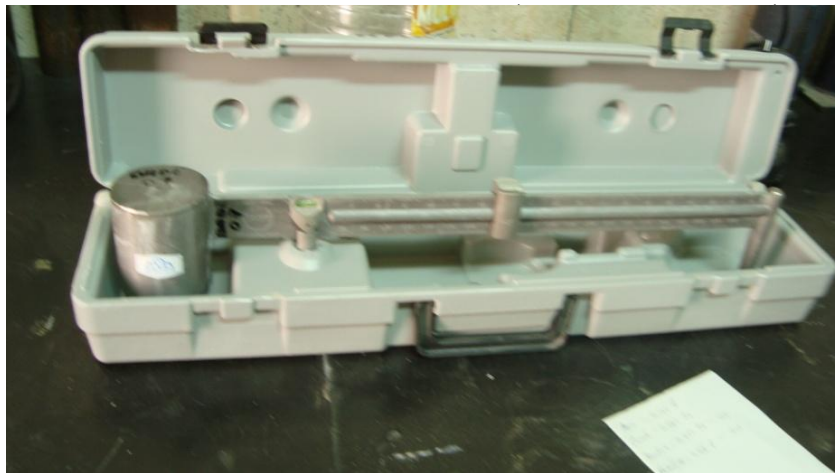


FIG. 3.9.3. Decantación (probeta graduada)

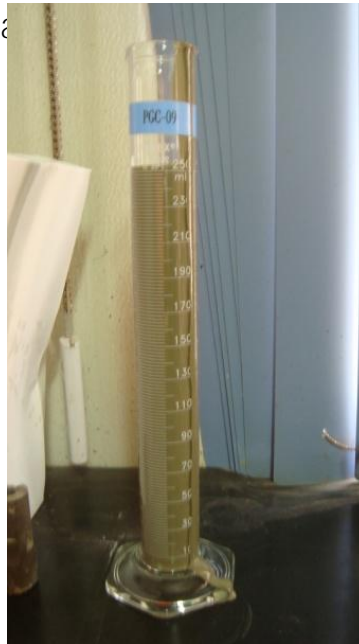


FIG. 3.9.4. (oxidable)



FIG. 3.9.5. (Mesa Baroid)



Fl... on



3.10 INYECCIONES EN LA ROCA POR CONSOLIDACIÓN.

El análisis y la interpretación de los estudios geológicos y geotécnicos realizados por Comisión en el sitio de la boquilla del P. H. La Yesca, enfocados a la caracterización del macizo rocoso (mediante barrenos de exploración, pruebas de permeabilidad, pruebas de inyección, etc.) permiten concluir que en el sitio se tienen diversas unidades litológicas (tales como intrusivos de composición granítica, andesitas, ignimbritas de composición dacítica, riódacítica), las cuales se encuentran afectada por diversos sistemas de fracturamiento, fallas, diques y contactos geológicos; por lo cual, se juzga necesario realizar tratamientos por medio de inyecciones que garanticen la estanqueidad del terreno para evitar o reducir en lo posible las filtraciones de agua hacia las zonas de estructuras.

En este inciso se describen los criterios y metodología que se proponen para efectuar los tratamientos de la roca por medio de inyecciones, que servirán para conformar el plano de estanqueidad del proyecto, así como para los tratamientos de consolidación de la roca.

De forma genérica, el alcance de esta especificación comprende los tratamientos siguientes:

- Tratamientos desde el plinto (tapete de consolidación y pantalla de impermeabilización).
- Tratamientos en superficie en ambas márgenes para dar continuidad al plano de estanqueidad (pantalla de impermeabilización).
- Tratamientos desde galerías (pantalla de impermeabilización, consolidación y conexión).
- Tratamientos en tuberías a presión (consolidación de la roca y liga con pantalla de impermeabilización).
- Tratamientos en los tapones de concreto de túneles de desvío (consolidación de la roca y liga con pantalla de impermeabilización).
- Tratamiento de estructuras geológicas en las diferentes obras del proyecto (costureo de fallas).

Los tratamientos antes mencionados, están indicados de forma esquemática en los planos de proyecto que proporciona Comisión a los licitantes, para efectos de evaluación y cuantificación de volúmenes que debe considerar en su oferta. El desarrollo de la ingeniería de detalle, bajo los

lineamientos establecidos en el proyecto, será responsabilidad del Contratista, pero que deberá someter a la revisión y aceptación de la Comisión.

En el plinto, los barrenos de primera etapa que se localicen a 24m de separación deberán profundizarse hasta 70 m en la zona del cauce y hasta 60 m en la porción media a alta de ambas laderas, como se muestra en el plano de proyecto, a fin de explorar las condiciones de la roca a profundidad para confirmar el límite de la pantalla bajo el plinto. Con este mismo propósito, para el caso de las galerías inferiores de ambos márgenes se debe considerar de manera selectiva la profundización de barrenos de primera etapa que se ubiquen a 48 m.

3.10.1 Procedimiento de ejecución.

La inyección debe hacerse en tramos de 5 m y en progresiones ascendentes, iniciando a partir del tramo más profundo del barreno, por tanto, el barreno deberá perforarse hasta su profundidad de proyecto, y posteriormente inyectarse.

En casos donde se crucen zonas de fallas o de cuerpos intrusivos (rocas de mala calidad) que induzcan inestabilidad en el barreno y que impidan el avance de la perforación, podrá optarse por la inyección anticipada del tramo anómalo (de acuerdo con la metodología establecida) y posteriormente re perforarse para continuar con la perforación del barreno hasta la profundidad especificada.

- Es importante mencionar que los tramos inyectados anticipadamente, no deberán inyectarse de nuevo cuando se realice la inyección del barreno en tramos ascendentes. De tenerse problemas de obturación, por condiciones de la roca, se puede optar por inyectar tramos menores a 5 m, o un poco mayores (hasta de 7 m); esto será aceptable, siempre que esté debidamente justificado por el Contratista y avalado por la Comisión.
- Una vez iniciada la inyección, no debe detenerse por ninguna causa, siendo un proceso continuo de principio a fin; sin embargo, si esto llega a ocurrir, se debe lavar el carril del barreno empleando un volumen del orden de 200 litros de agua, utilizando el procedimiento del lavado del barreno. Posterior a esto, se deberá iniciar nuevamente la inyección del tramo.
- Durante el proceso se debe monitorear la evolución de la presión registrada en el manómetro instalado en el brocal del barreno, dando incrementos de 0,49 MPa (5 kg/cm²), así como registrar el volumen de mezcla acumulado que ha consumido el tramo del barreno en litros por metro (l/m), hasta interceptar la curva o trayectoria GIN seleccionada.

- El gasto mínimo para considerarse sellado un tramo debe ser menor de 5 litros/minuto/tramo, es decir, 1litro /minuto/metro, para tramos de 5 metros de longitud.
- El tiempo entre lecturas podrá ser de 3 a 5 minutos de acuerdo al comportamiento de la inyección; pero podrá reducirse a 2 minutos cuando el gasto ya sea cercano a 5 litros/minuto/tramo inyectado (1litro /minuto/metro).
- El criterio de reducir el tiempo de inyección cuando se esté llegando al gasto mínimo con una presión alta, es con la finalidad de evitar el exprimido prematuro de la mezcla, lo cual provoca taponamientos en la tubería de inyección, principalmente en el extremo inferior del obturador.
- Para evitar estos taponamientos durante el proceso de inyección de un tramo, los incrementos de presión se deben aplicar en forma lenta y no bruscamente, para evitar el exprimido de la mezcla, y en consecuencia generar un falso sellado del tramo.

3.11. INYECCIÓN PARA PANTALLAS DE IMPERMEABILIZACIÓN.

En general las inyecciones deben ejecutarse por progresiones ascendentes, iniciando a partir del tramo mas profundo y continuar ascendiendo en subtramos cuya longitud lo indica el proyecto, nunca mayores de 5mt, salvo los casos en que las condiciones de la roca obliguen a ejecutarlas de otra forma, tal es el caso de presencia de fallas o fracturas francamente abiertas, en este caso se debe tratar de la siguiente. Forma se debe inyectar con el obturador colocando a un metro, por arriba del punto donde se presenta la falla o facturas hasta alcanzar la presión máxima especificada, terminando la inyección, se debe remover el obturador y lavar todo el barreno.

El proceso de inyección se realiza con el criterio GIN, adoptando una constante (PV) de 1500y parámetros máximos de presión y volumen indicados en la siguiente tabla.

ZONA	LOCALIZACION ELEV.MANM.	GIN MPA (l/m)	PRESION MAX (MPA)	PRESION MAX (kg/cm2)	VOLUMEN MAX (LT)
ALTA	330 A 390	1500	2	20	200
MEDIA	275 A 330	1500	2.5	25	200
BAJA	180 A 275	1500	3	30	200

Una vez iniciada la inyección no debe detenerse por ninguna causa, siendo un proceso continuo de principio a fin, sin embargo si esto llega a ocurrir se suspende la inyección y se lava el barreno con agua a presión, posterior mente se reinicia con la inyección del tramo completo véase figura 3.11.1.

La inyección de pantalla lleva el siguiente orden:

- Se limita la zona de inyección en tramos de 24 metros tomando como extremos dos barrenos de exploración.
- Una vez perforados, realizadas las pruebas lugeon e inyectados, se continua con el barreno de 1^{ra} etapa a 12 metros, siguiendo con los intermedios de 2^{da} etapa, a cada 6 metros y cerrando con los de 3^{ra} etapa, a cada 2 metros: en caso de ser necesario, se realiza una 4^{ta} etapa a cada 1.0 metros
- Para la pantalla profunda, desde el inicio hasta el final de cada barreno inyectado, se lleva un registro detallado del comportamiento de cada progresión y de los siguientes parámetros: presión de inyección medida en el brocal del barreno en MPA, volumen total inyectado de lechada (consumo) en litros y el tiempo en minutos, el numero de GIN utilizada es 150MPA con las presiones máximas indicadas anteriormente y en las específicamente, esta información es recabada por el registro electrónico de parámetros con los cuales deben elaborarse las siguientes tres graficas de control de inyección:
 - A. Presión MPA VS Volumen (l/m).
 - B. Presión MPA VS Tiempo (min.)
 - C. Gasto l/min. VS tiempo (min.)

Las gráficas b y c deben constituirse de tal forma que puedan cobrarse de esta manera podrá visualizarse simultáneamente la evolución de la presión y el gasto respecto al tiempo.

Todas las graficas deben estar identificadas claramente y conservarse en la memoria de tratamientos.

La presión de inyección medida en el brocal el barreno debe aplicarse en incrementos de 0.5 MPA cada 3 a 5 minutos hasta alcanzar la presión máxima. Si durante estos incrementos se presenta un aumento notable en el consumo de mezcla, que indique el hidrofracturamiento de la roca, se debe disminuir gradualmente la presión hasta sellar el tramo, es cuando el gasto de mezcla sea prácticamente nulo.

Para casos excepcionales, de cavidades muy grandes con o sin agua la circulación, es necesario usar mezclas de fraguado rápido, compuestas principalmente e agua, cemento, aditivos fluidificante y silicato de sodio, las cuales deben ser diseñadas y aplicadas por el contratista.

Fig 3.11.1 inyectando lechada en barreno.



3.12. RETAQUE DEL BARRENO

Después de 24 horas de haberse terminado la inyección de un barreno, ya que la lechada se ah decantado se debe proceder a sopletear el tramo con aire a presión; posteriormente, se debe rellenar con mortero de cemento como el especificado. Finalmente, lo que llegara a decantarse en barrenos hacia abajo se debe rellenar con un mortero de cemento seco, utilizando la misma relación cemento/arena pero agregando el agua hasta hacerlo trabajable, introduciéndolo con un fainero.

En los barrenos hacia arriba en donde es difícil el retaque, se debe rellenar con un mortero de cemento seco, utilizando la misma relación cemento/arena pero agregando el agua hasta hacerlo trabajable de manera que pueda introducirse con un fainero sin que llegue a escurrirse.