



INYECCION CEMENTICIA DE LOS TENDONES POST TENSIONADOS DE LOS PUENTES

MANUAL DE ENTRENAMIENTO



Broadway Bridge - Daytona Beach, Florida

SELLAMIENTO DE LOS TENDONES POST TENSIONADOS DE LOS PUENTES

MANUAL DE ENTRENAMIENTO

**Para ser usado como un suplemento al Video del Departamento de
Transportación de la Florida: Sellamiento de los Tendones Post-
Tensionados de los Puentes**



**Producido por el Departamento de Transportación del Estado de la
Florida, Oficina de Construcción – Tallahassee, Florida,
En Cooperación con la Administración Federal de Carreteras**

Desarrollado para el Departamento de Transporte del Estado de la Florida por Parsons
Transportation
Group Inc, Brett Pielstick, P.E., Project Manager
Glenn Peterson, P.E. Project Engineer

Bajo la dirección de Steven Plotkin, P.E., Departamento de Transportación de la Florida
Ingeniero Estructural de Construcción del Estado, en conjunción con Larry Sessions, P.E.
Departamento de Transportación de la Florida y Douglas Edwards, P.E.
De la Administración Federal De Carreteras

Julio 2002

TABLA DE CONTENIDO

	Número de Pág.
CAPÍTULO I – INTRUDUCCIÓN	1
A. Párrafo Explicatorio	1
B. Sellamiento Básico – 3 P’s de Sellamiento	1
C. Importancia del Sellamiento	2
 CAPÍTULO II – REVISIÓN DEL SISTEMA DE PT	 2
A. Pre-tensionado/Post-tensionado	2
B. Tendones	3
1) Material	3
2) Interno vs. Externo	4
C. Conductos	5
1) Materiales para Conductos	5
2) Interno vs. Externo	5
D. Tuberías de Sellamiento	6
1) Entradas y Salidas	6
2) Localizaciones	6
3) Válvulas y Tapones	7
 CAPÍTULO III – FUNDAMENTOS DEL SELLAMIENTO	 7
A. Materiales	7
B. Problemas	8
1) Eliminación de Agua	8
2) Huecos	8
3) Recarga	8
C. Métodos de Colocación	9
1) Bombeo	9
2) Inyección al Vacío	9
D. Inspección	10
 CAPÍTULO IV – PRE-SELLAMIENTO	 10
A. Plan de Operación de Sellamiento	10
1) Personal – Entrenamiento	10
2) Materiales – Relación Agua/Cemento	10
3) Equipo	10
4) Procedimientos	11
5) Volumen de Selladores – Proporción de Fluido	11
B. Reunión de Pre-Sellamiento	11
1) Revisión de Procedimiento	11
2) Procedimiento Correctivo – Plan del Peor Caso	12
3) Requisitos de Inspección y Registros	12
4) Actas o Sumarios de Debates	12

CAPÍTULO V – OPERACIONES DE SELLAMIENTO	12
A. Pruebas de Salideros	12
B. Mezclado	13
C. Pruebas de Fluidéz, Temperatura, y Sangramiento	13
D. Bombeo	14
1) Velocidad del Fluido.....	14
2) Perfil.....	14
3) Presión	15
4) Purga y Exudación.....	15
E. Pruebas de la Boca de Salida	16
CAPÍTULO VI – INSPECCIÓN	16
A. Pre y Post Fundiciones	17
B. Muestras y Pruebas	18
1) Eflujo.....	18
2) Exudado (Sangramiento)	18
3) Densidad	18
4) Temperatura	19
C. Pre-Inyección Cementicia	19
D. Inyección Cementicia	19
E. Post Inyección Cementicia	20
1) Detección de Huecos	20
2) Reparación de Huecos	20
CAPÍTULO VII – POST INYECCIÓN CEMENTICIA	21
CAPÍTULO VIII – SUMARIO	22

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

A. Párrafo Explicatorio

Este manual de entrenamiento y el video correspondiente se han desarrollado por el Departamento de Transportación de la Florida (FDOT) para instruir al personal de campo e inspectores en los procedimientos correctos para el sellamiento de estructuras post-tensionadas en el Estado de la Florida. Este curso está de acuerdo con las últimas especificaciones de construcción relativas a sellamiento del Departamento de Transportación de la Florida, las cuales como referencia son B460 (462 en el futuro), 938 Sellamiento, 926 Epoxy para “Pour Backs”, 930 Hormigón Fosfato Amonio Magnesio y 975 “Elastomeric Coatings”.

B. Básico de Sellamiento – 3P’s de Sellamiento

Es importante entender la comprensión básica de lo que está siendo sellado; por qué el sellamiento es importante y a quién le será permitido hacer sellamiento en el Estado de la Florida. Como una introducción, las tres P’s del sellamiento serán analizadas.

Los sistemas de Post-Tensionados (PT) proveen refuerzos al hormigón en forma de cable de acero y tendones. Los tendones son tensados mediante “gatos” y anclados para producir las fuerzas compresivas en el miembro. El sistema de post-tensionado es un componente estructural primario cuyo fallo puede ocasionar el colapso total del miembro.

La protección del sistema PT es esencial. La protección del sistema de post-tensionado esta directamente relacionada a la durabilidad y longitud de vida de la estructura. El hormigón que forma el miembro estructural, el conducto y el sellado es lo que aísla el sistema PT de la exposición al aire y condiciones atmosféricas. La alta resistencia del acero del sistema PT es altamente susceptible a la corrosión y debe ser protegida de la exposición a la humedad y aires salinos. Adicionalmente, el sellado provee la transferencia de la fuerza pretensada al miembro estructural en un sistema post-tensionado cohesivo. La cohesión del sellado al acero post-tensionado se realiza de una manera similar a la cohesión desarrollada por una cabilla de refuerzo en el hormigón.

El personal que realiza las operaciones de sellamiento (grouting) constituye la tercera “P”. Las especificaciones de construcción de las Florida actualmente requieren que el sellador (grouting) sea hecho por contratistas y suplidores de post-tensionados que hayan sido entrenados y calificados en las técnicas apropiadas de sellamiento (grouting). Este personal será entrenado en los métodos de sellamiento proveídos en este manual de entrenamiento y video correspondiente. Inspectores y capataces del contratista son requeridos de ser calificados por el Programa de Calificación de Entrenamiento de Construcción del FDOT (CTQP) que tiene un “Nivel I” de calificación para inspectores y un “Nivel II” de calificación para capataces. La capacitación para Nivel I-CTQP requiere completar exitosamente un curso de entrenamiento de sellamiento (grouting) para técnicas y el nivel II requiere un curso de entrenamiento más tres años de experiencia en sellamiento (grouting).

C. Importancia del sellamiento (grouting)

FDOT ha tenido en años recientes varios fallos de tendones causados por la corrosión. Estos fallos se debieron a prácticas pobres de sellamiento (grouting), detalles de diseño inferiores, y especificaciones de sellado (grout) inadecuadas.

Sellado (grout) es la protección primaria del sistema PT; por tanto atención especial debe darse al proceso de sellamiento (grouting). El sellado (grout) con cemento provee un medio alcalino que neutraliza la superficie del acero inhibiendo el proceso de corrosión. El sellado (grout) debe rodear y estar unido al acero para ser efectivo. Materiales de sellado (grout) especialmente combinado, correctamente mezclados y efectivamente bombeados dentro del tendón son la clave para una operación de sellamiento (grouting) exitosa. Es esencial que un plan adecuado de sellado (grout) sea desarrollado y ejecutado. El plan de sellado (grout) es un bosquejo de la operación de sellamiento (grouting) del principio al final y será discutido en detalle posteriormente.

CAPÍTULO II – REVISIÓN DEL SISTEMA PT

Lo siguiente es una breve explicación del sistema pre-tensionado que proveerá una comprensión de cómo los sistemas difieren y de porque el sellador (grout) es requerido para el post pensionado y no para el pre-tensionado.

A. Pre-tensionado/Post-tensionado

Pre-tensionado y post-tensionado se refieren a la secuencia en la cual el hormigón es fundido en relación con el tensado de las hebras (strands) de acero. En el sistema pre-tensionado las hebras (strands) de acero son tensadas y ancladas en los extremos de un molde previo a la fundición del hormigón. El pre-tensionado no utiliza ningún tipo de conducto para rodear las hebras de acero; el hormigón es fundido directamente alrededor de las hebras tensadas de acero dentro del encofrado. Después de que el hormigón ha alcanzado la resistencia adecuada las hebras de acero son liberadas de sus anclas. La unión del hormigón a la hebra de acero transfiere la fuerza pre-tensada. El pretensionado tiene lugar en una planta o patio de pre-fundición generalmente localizado en un sitio separado del lugar de erección final, sitio de construcción. Ejemplos de miembros pre-tensionados son los pilotes de hormigón y las vigas Standard AASHTO. El contacto y unión del hormigón con el acero pre-tensado lo protege de la corrosión.

Un sistema post tensionado tiene lugar cuando anclas y conductos son instalados en el encofrado previo a la fundición del hormigón con el objetivo de acomodar la instalación y tensado del acero de post tensionado en el futuro cuando el hormigón haya curado adecuadamente. El post pensionado es a menudo usado para hacer varias vigas continuas, pilastras, losas, y vigas segmentales. Dado que el hormigón no está directamente unido con el acero post tensionado el acero de PT no está unido o protegido de la misma manera que el acero pre-tensado. El sellador (grout) provee la unión e inmediata protección a la corrosión del acero post tensionado.

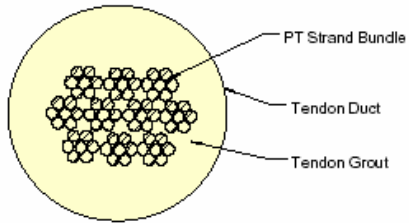


Figure 1, Duct, Grout and PT steel system

B. Tendones

El tendón de post tensionado es una barra de acero de alta resistencia o un grupo de hebras de acero combinado con anclajes, un conducto y sellador (*grout*). Los conductos y sellador (*grout*) serán discutidos separadamente.

1) Material

El acero de alta resistencia usado para pre-tensado está hecho de una aleación de acero especial que es tratada mediante calor de acuerdo con ASTM-A-416 Standard hasta que es suficientemente fuerte. El acero normal de refuerzo tiene una resistencia de 60,000 libras por pulgada cuadrada, las barras de pretensado tienen una resistencia de 150,000 libras por pulgada cuadrada y la hebra de acero para pretensado tiene una resistencia de 270,000 libras por pulgada cuadrada (psi). Debido a la metalurgia del acero y alto nivel de esfuerzo, cualquier pérdida de área seccional de acero tensado en el tendón como resultado de daño o corrosión puede resultar en fallo estructural. Por lo tanto debe tomarse con mucho cuidado para proteger el acero de tensión durante el almacenaje e instalación.

En el sistema post-tensionado el anclaje es el punto donde la fuerza pretensada se aplica. Hay un sistema de anclaje en cada extremo del conducto para el tendón. Estos sistemas de anclaje son diseños propios y únicos de cada suplidor. Ellos típicamente consisten de una cabeza de anclaje (o placa de cuña [*wedge plate*]) y cuñas (*wedge*), placa de soporte (*bearing plate*), transición del conducto (o trompeta [*trumpet*]) y tubo de conexión para sellado (*grout*). (vease Fig. 2)

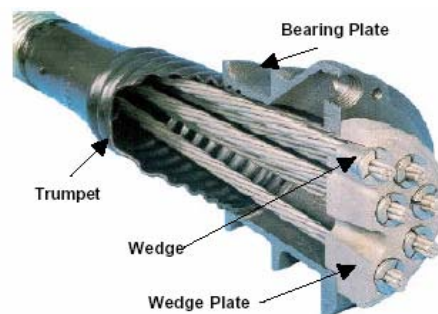


Figure 2, DSI anchor assembly

2) Interno vs. Externo

Un tendón interno, como su nombre lo implica, está totalmente encerrado de anclaje a anclaje en el hormigón estructural. Este tipo de tendones se usan en las pilastras del tipo de cabeza de martillo (vea Fig. 3), vigas, la mayoría de las placas y vigas segmentales tipo caja. Los tendones internos generalmente tienen poca variación en perfil vertical.

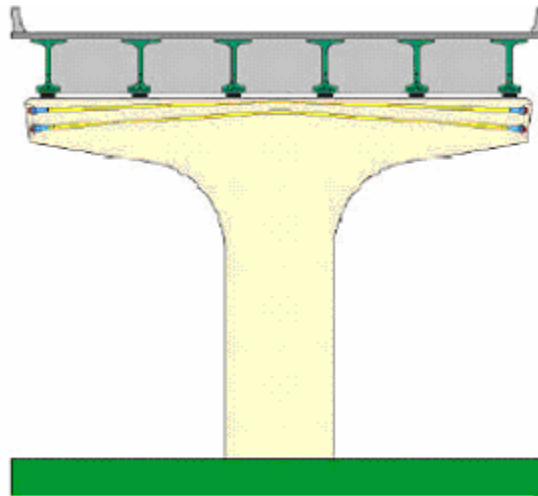


Figure 3, Hammer-Head Pier with internal tendons

Los tendones externos están fuera del hormigón estructural excepto en los anclajes y bloques de desviación. Los tendones externos se usan generalmente en las vigas prefundidas segmentales tipo caja, cables de arriostramiento y post reparaciones (*retrofit*). Los tendones externos están en una de dos configuraciones. O son directos entre anclajes o van a través de bloques de desviación para crear un perfil “de arpa.” El perfil “de arpa” permite al Ingeniero Diseñador poner la fuerza pretensada donde es necesario para optimizar el diseño estructural. Los anclajes y bloques de desviación son encerrados dentro del hormigón estructural. Debido a la gran fuerza que los tendones ejercen sobre los anclajes y bloques de desviación, ellos son altamente reforzados. El perfil de los tendones de desviación pueden tener un cambio dramático en altura para algunos casos; los cables de suspensión de un puente colgante son casos extremos de un cambio de perfil dramático. En las vigas segmentales tipo caja (box-girders), los anclajes del tendón externo están situados en el tope de los diafragmas en las pilastras con bloques de desviación en el fondo de la sección transversal que sujetan hacia abajo los tendones en la medianía de la luz (span) como se muestra en la figura 4.

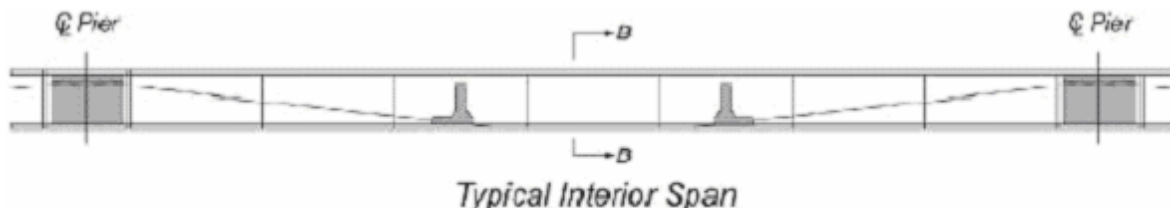


Figure 4, Example of external tendon in a box-girder showing vertical profile

C. Conductos

El conducto es la vaina para la hebra o cabilla del PT. Debido a la geometría del tendón y las restricciones del perfil el conducto debe ser fabricado, instalado y asegurado con precisión. El conducto no es solamente para la instalación del tendón sino que provee una caja protectora (vea Fig. 5) y es un canal de sellador (grout) para el tendón.

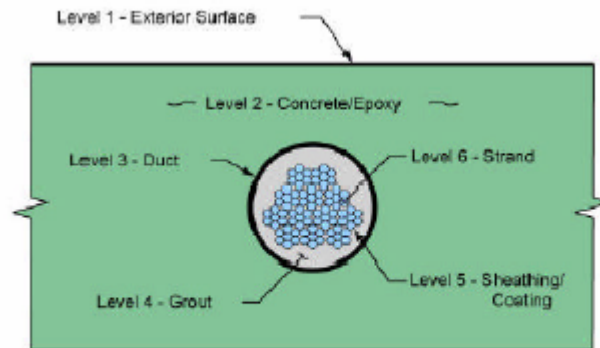


Figure 5, The levels of protection for PT steel

1) Materiales para Conductos

Los materiales para conductos requieren ser de polietileno alto en densidad (HDPE), polipropileno o tubería de acero galvanizado *schedule 40* reuniendo las condiciones mínimas permitidas por las especificaciones de construcción del FDOT.

2) Interno vs. Externo

Los conductos internos están completamente encerrados por el hormigón y deben ser de polipropileno corrugado. El conducto corrugado provee una mejor transferencia de la fuerza entre el sellador (grout) y el hormigón que lo rodea. El conducto es colocado en el encofrado previo a la fundición del hormigón y debe ser firmemente asegurado para mantener su propia posición, alineamiento así como prevenir daño durante la fundición del hormigón.

Los conductos externos son parcialmente contenidos por el hormigón estructural. Los anclajes y bloques de desviación son enclaustrados dentro del hormigón estructural. En los bloques de desviación y áreas de anclaje tuberías de acero galvanizadas *schedule 40* son usadas como conductos por su resistencia y porque pueden ser dobladas con precisión a la posición correcta. La tubería HDPE es usada para las porciones externas entre anclajes y bloques de desviación.

Una dificultad con los tendones externos es mantenerlos centrados dentro del conducto durante el sellamiento (grouting). El conducto a menudo se comba y sin un esfuerzo cuidadoso descansara directamente sobre el tendón previniendo al sellador (grout) de

cubrir la parte superior del tendón. Ello reduce el nivel de protección y si hay agua de sangramiento aumentara la probabilidad de corrosión y la posibilidad de fallo aumentara.

D. Tuberías de sellamiento (grouting)

Las entradas y salidas para el sellador (*grout*) en las tuberías son atadas a los conductos. Es donde el sellador (*grout*) es bombeado dentro del tendón y donde el exceso de aire y agua son expelidos mientras el conducto se llena con el sellador (*grout*). Estas tuberías son atadas a los conductos, previo a la fundición del hormigón en los tendones internos. Ellos son atados a los conductos externos durante su ensamble en el lugar de construcción.

1) Entradas y Salidas

La entrada es donde el sellador (*grout*) es bombeado dentro del tendón. La salida es donde el aire, exceso de agua y sellador (*grout*) son descargados del tendón. Dependiendo de la longitud y perfil del tendón variará el número de entradas y salidas. Para un tendón corto y recto una entrada y salida es adecuada.

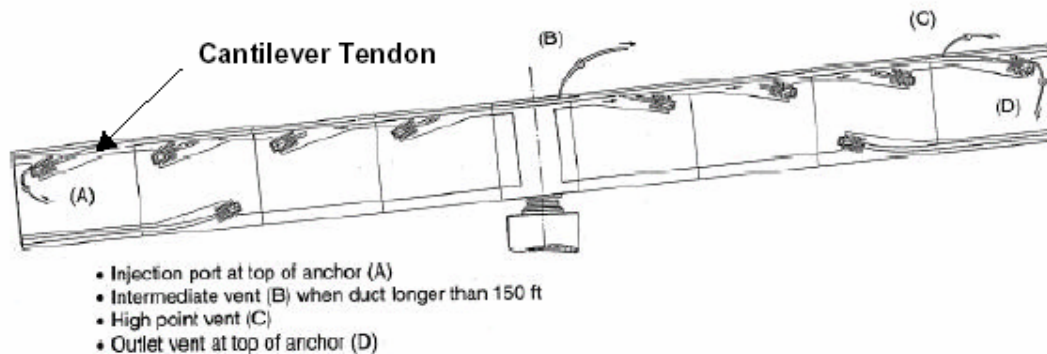


Figure 6, Layout of pipes for grouting of cantilever tendons

Para tendones de geometría compleja las entradas y salidas deben analizarse caso por caso.

2) Localizaciones

La posición de entrada y salidas dependen de la dirección en que el sellador (*grout*) fluya, la inclinación (subidas y bajadas verticales) de los conductos y la presión permisible del sellador (*grout*). Los detalles para su localización pueden ser estipulados en los planos; pero independientemente de eso, las entradas y salidas se instalaran como siguen:

- a) En todos los anclajes – Figura 7, localizaciones A y G
- b) En los lugares altos del conducto, cuando la distancia vertical entre el punto más alto y más bajo es más de 20 pulgadas – localización D

- c) Una entrada se instalará en o cerca del punto más bajo del tendón – localizaciones B y F
- d) En todos los cambios mayores en la sección transversal del conducto tales como acopladores y anclajes - localizaciones marcadas “Conexiones del conducto sellador (*grout*)”
- e) En otras localizaciones recomendadas por el Ingeniero de Diseño o el Ingeniero de Construcción del FDOT tales como en la Figura 7, localizaciones C y E

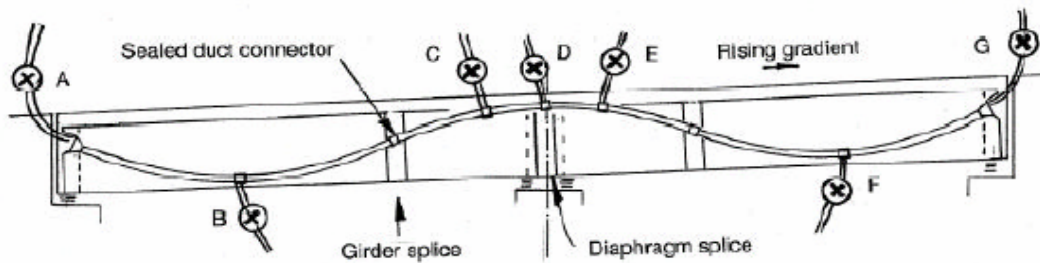


Figure 7, Grouting Details for a 2 span-spliced girder system

3) Válvulas y Tapones

Las tuberías de sellador son conductos usados para introducir el sellador (*grout*) dentro del tendón y expulsar aire, agua etc. Válvulas mecánicas y tapones son usadas para sellar las tuberías de sellador (*grout*). Ellos también evitan la entrada de escombros dentro de los conductos, entradas y salidas previas al sellador (*grouting*). Durante el bombeo del sellador (*grout*) las salidas se van cerrando consecutivamente hasta que el conducto se llene con el sellador (*grout*) y el tendón es presionado.

CAPÍTULO III – FUNDAMENTOS DEL SELLAMIENTO (GROUTING)

A. Materiales

Los materiales básicos del sellador (*grout*) son cemento Pórtland, agua potable y mezclas. La especificación de construcción 938 del FDOT establece los requisitos mínimos Standard para la preaprobación de materiales de sellado (*grout*) preenvasados. Estas mezclas preenvasadas de sellador (*grout*) tienen cemento Pórtland con mezclas minerales y químicas en fórmulas patentadas. Para garantizar la consistencia de las propiedades del sellador (*grout*) este debe ser usado tan pronto como sea posible y dentro de seis meses de su fecha de manufactura. Almacenaje de sellador (*grout*) en sitio esta limitado a un máximo de un mes.

B. Problemas

Los problemas que se han experimentado con el sellamiento son el agua de “sangramiento”, huecos y recargas.

1) Eliminación de Agua

Agua de “sangramiento” es el agua que viene a la superficie del hormigón y selladores (grouts) mientras están todavía plásticos. Es el resultado del asentamiento de los materiales componentes permitiendo al agua separarse y subir a la superficie. La existencia del agua de “sangramiento” es una función de la relación agua/cemento de las mezclas y de un mezclado impropio o incompleto. Mientras más alta sea la relación agua/cemento mayor la probabilidad de que se acumule agua de “sangramiento”. En una fundición típica de hormigón puede evaporarse o ser removida de la superficie. Dado que los sistemas PT son cerrados, el agua de “sangramiento” no puede escapar. Ella tratará de fluir al punto más alto disponible y crear un hueco. En los tendones verticales el agua de “sangramiento” puede también crear bolsones o cavidades intermitentes donde es atrapada y no puede continuar subiendo.

2) Huecos

Durante el proceso de curado del sellador, el agua de “sangramiento” será usualmente re-absorbida dentro del sellador (grout) dejando huecos en las áreas donde fue acumulada. Estos huecos son motivo de preocupación porque están generalmente interconectados por lo que pueden proveer un canal que permita a los contaminantes ser transportados dentro del conducto. Huecos de aire pueden formarse en el sellador (grout) de otras maneras. El conducto puede estar impropriamente ventilado permitiendo a un bolsón de aire ser atrapado sin una salida disponible. La bomba del sellador (grout) puede bombear aire dentro del sistema si se permite al sellador (grout) tener una baja altura en el contenedor. Bombear el sellador (grout) apresuradamente dentro del conducto puede ocasionar turbulencias en el fluido atrapando burbujas de aire en el sellado (grout).

Huecos que no pueden rellenarse no necesariamente representan un problema pero si pueden dejar un área del tendón sin la protección del sellador (grout) lo cual aumenta el riesgo de corrosión del tendón.

3) Recarga

Recarga es el fenómeno que ocurre cuando la humedad y/o contaminación se introducen dentro de los conductos del sistema PT después de sellado (grouted). La recarga solo puede tener lugar si hay una abertura (por ejemplo: huecos) en el sistema de conductos. Opuestamente, si el sistema de conductos esta totalmente sellado entonces la recarga no puede ocurrir.

C) Métodos de colocación

Las maneras mas eficientes de colocar selladores (grouts) son el bombeo de presión positiva y la inyección de sellador (grout) al vacío.

1) Bombeo

El método estándar de colocar sellador (grout) en el conducto de un tendón es el bombeo. Las bombas usadas para el sellamiento (grouting) son típicamente del tipo helicoidal o de barreno. El sellador (grout) mezclado es descargado dentro de un contenedor que alimenta la bomba directamente. La bomba esta conectada a la tubería de entrada al conducto mediante una manguera y válvula. El aire y el agua son empujados fuera del conducto desplazados por el sellador (grout) la presión de bombeo a la entrada no excederá de 145 lb/pulgadas cuadradas. No obstante para las operaciones normales de sellamiento (grouting) la presión en la entrada debe ser de 10 a 50 lb/pulgadas cuadradas.



Figure 8, ChemGrout 600 Colloidal grout mixer and pump

2) Inyección al vacío

La inyección al vacío es una técnica específica para llenar huecos después del sellamiento (grouting) inicial. Puede también ser usado para el sellamiento (grouting) inicial pero el sellamiento (grouting) total de un tendón es más problemático que el sellamiento de un pequeño hueco. El método de inyección al vacío requiere que el sistema de conducto esté sellado. El aire es sacado del hueco por una bomba de vacío. Un metro calibrado mide el volumen de aire sacado del hueco mientras el vacío es liberado.



Figure 9, Vacuum volumetric meter

D. Inspección

Sellamiento (grouting) es una operación de instalación sensitiva requiriendo destreza y cuidado de parte de todos los involucrados. Los inspectores son una herramienta útil para propietarios y contratistas ya que proveen otro chequeo de la garantía de calidad y otro par de ojos para revisar los procedimientos de sellamiento (grouting). Los inspectores chequean la operación total de sellamiento (grouting) para asegurar que cumplen con los planos y especificaciones.

CAPÍTULO IV – PRESELLAMIENTO (GROUTING)

A. Plan de Operación de Sellamiento (grouting)

La especificación de construcción B460 del FDOT requiere que el contratista someta un plan de operación de sellamiento (grouting) seis semanas antes del comienzo de cualquiera operación de sellamiento (grout). Tiene que incluir la información a continuación.

1) Personal - Entrenamiento

Las nuevas especificaciones requieren que el personal del contratista a cargo de las operaciones de sellamiento (grouting) tales como el capataz de la cuadrilla, sea calificado por el FDOT. El requerimiento de calificaciones también aplica al inspector principal de construcción responsable de las inspecciones de la operación de sellamiento (grouting). Para ser calificado un capataz tiene que tener tres años de experiencia de sellamiento (grouting) y asistir a un curso de entrenamiento de sellamiento (grouting) acreditado por el FDOT y aprobar el examen del curso. Prueba de dicha calificación debe ser sometida con el plan de sellamiento (grouting). A todos los demás trabajadores e inspectores de construcción involucrados con el sellamiento les será requerido ver un video de entrenamiento de sellamiento (grouting) de una hora de duración, para el cual este manual es una referencia. El FDOT proveerá el entrenamiento de sellamiento (grouting) en lugar y hora conveniente para el contratista siete días antes del comienzo de las operaciones de tensado y sellamiento (grouting) del proyecto.

2) Materiales – Relación Agua/Cemento

Un sellador (grout material) de la lista de productos cualificados del FDOT (QPL), que es una lista de materiales probados y aprobados por el Departamento de Transportación de la Florida para usarse en Proyectos Estatales, tiene que ser usado. Adicionalmente las recomendaciones de manufactura mostradas en el envase y en las páginas de datos técnicos tienen que ser incluidas en el plan de sellado (grout).

3) Equipo

El equipo a utilizarse para el sellamiento (grouting) incluyendo pero no limitado a la mezcladora de sellador (grout), bomba, fuente de energía, longitud y tipo de mangueras,

situación del manómetro de presión y metro de agua, sistema de recirculación y equipo auxiliares, serán detallados en este plan.

4) Procedimiento

Procedimientos generales de sellamiento (grouting) serán provistos por escrito, describiendo la operación total de sellamiento (grouting) de principio a fin. Esta narración describirá la operación de sellado (grout) incluyendo la preparación del tendón, mezclado del sellado (grout), dirección de fluido, remiendo de las salidas y entradas de sellador (grout), remoción de encofrado, y capas impermeabilizantes. El procedimiento de sellamiento indicará la localización o estación de cada cuadrilla y definirá las tareas y procedimientos a seguir por ellos. Este procedimiento escrito indicará los métodos de comunicación entre los miembros de la cuadrilla que no están cercanos así como el número de trabajadores en cada lugar de la operación de sellamiento.

Los métodos y equipo usados para la prueba de presión del sistema tendón/conducto previo al sellamiento (grouting) serán estipulados en el plan. Todos los conductos de post-tensionado serán probados para salidero previo al sellamiento (grouting). Ello requerirá una prueba de presión con aire para garantizar la continuidad y constreñimiento de la presión en el sistema de conductos. La prueba de presión previa al sellamiento (grouting) puede identificar salideros o cruces en el sistema permitiendo reparaciones o modificaciones al procedimiento de sellamiento (grouting) para mejorar sus resultados. Un cruce ocurre cuando el sellador (grout) físicamente cruza a un conducto adyacente de post-tensionado cuyo sellamiento (grouting) no se intencionaba en ese momento. Todas las entradas y salidas serán localizadas e identificadas en los “planos de trabajo” (shop drawings).

5) Volumen de Selladores – Proporción de Fluido

Teóricamente los volúmenes de sellador (grout) serán sometidos en el Plan de Operación de Sellado y se usarán para verificar la proporción de fluido del sellador (grout) en cada uno de los tendones. Si el sellador (grout) es bombeado demasiado rápido, aire y agua pueden quedar atrapados debido a un fluido turbulento en los conductos y ocasionar huecos en el sellado (grout). Si se bombea demasiado lento puede ocasionar bloqueos y otros problemas.

B. Reunión de Pre-Sellamiento

Previo a las operaciones de sellamiento (grouting) de un proyecto se celebrará una reunión de pre-sellamiento (grouting). El propósito de esta reunión de pre-sellamiento (grouting) es familiarizar a la cuadrilla de sellamiento (grouting) y al personal de inspección con los procedimientos planeados para la operación de sellamiento y la especificación aplicables.

1) Revisión del Procedimiento

Se discutirá una revisión del plan de sellamiento (grouting) y la operación del equipo. Es importante que cada cual en la cuadrilla de sellamiento (grouting) comprenda la

importancia de lograr que los tendones sean completamente llenados con sellador (grout) de alta calidad. El equipo será verificado para asegurarse de que este en optimas condiciones de trabajo.

2) Procedimientos Correctivos – Plan del Peor Caso

Se avisará a la cuadrilla de los procedimientos correctivos a ejecutarse si ocurre algún problema. Se enfatizará la seguridad de todo el personal asociado con la operación de sellamiento (grouting). La reunión será específica para cada trabajo y proveerá instrucciones e información significativa a los trabajadores e inspectores. El inspector de construcción del Ingeniero (CEI) y el contratista discutirán posibles escenarios enfocados en las acciones efectivas a ser tomadas si sucede algo no planeado.

3) Requisitos de Inspección y Registros (Records)

El contratista e inspector tienen que mantener registros precisos de las operaciones de sellamiento (grouting). La información a la que debe prestar atención en los registros incluirá pero no estará limitada a la siguiente:

- a) Fecha de sellado (grouted)
- b) Hora de comienzo y terminación
- c) Temperatura del aire y sellador (grout)
- d) Número de días entre tensado y sellamiento (grouting)
- e) Tipo de mezcla selladora (grout)
- f) Designación del tendón
- g) Terminación del bombeo y presión aplicada
- h) Sumario de cualesquiera problemas que surjan y acción correctiva tomada

Los registros pueden referenciarse para facilitar futuro mantenimiento de la estructura y determinar cualquiera causa de hueco o defectos en el sellado (grout)

4) Actas o Sumario de Debates

El personal de inspección del ingeniero de construcción CEI producirá un registro escrito de los incisos cubiertos en la reunión y enfatizará puntos de discusión importantes planteados en la reunión. Copias se distribuirán al personal del Contratista e Inspectores del Ingeniero de Construcción (CEI).

CAPÍTULO V – OPERACIONES DE SELLAMIENTO

A. Prueba de Salideros

Después que el acero de pre-tensado ha sido instalado y pre-tensado el sistema de conductos tiene que ser chequeado para posibles salideros. Esta prueba se hará con aire libre de aceite para asegurar la continuidad así como que no haya pérdida de presión en el sistema de conductos. Todos los salideros serán reparados en una manera aprobada antes

de bombar el sellador (grout). Si hay agua en el sistema de conducto se utilizará aire libre de aceite para removerla del conducto.

B. Mezclado

El sellador (grout) debe mezclarse y bombearse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La remesa de agua será medida para medir con precisión el agua añadida y el agua nunca será añadida en exceso de las recomendaciones del fabricante. El mezclado excesivo o insuficiente del sellador (grout) puede comprometer la consistencia y densidad del sellador (grout) de la misma manera que sucedería por añadir demasiada o poca agua. El sellador (grout) se mezclará para producir un sellador (grout) homogéneo sin excesivo aumento de temperatura y pérdida de propiedades. El sellador (grout) se agitará continuamente hasta que se bombea. Nunca se añadirá agua para aumentar la fluidez del sellador (grout) El sellador se usará dentro de 30 minutos de la primera adición de agua.

C. Pruebas de Fluidez, Temperatura, y Sangramiento

La fluidez es el indicador clave de la calidad y de la capacidad para trabajarse del sellador (grout). La fluidez se mide por el tiempo de eflujo basado en las pruebas Standard y modificada ASTM C939. La prueba de eflujo esencialmente mide la longitud de tiempo requerido para vaciar un volumen dado de sellador (grout) a través del orificio de un cono Standard de fluido. Los selladores con una baja relación agua/cemento típicamente tendrán mayor tiempo de eflujo que aquellos con una alta relación agua/cemento para un sellador (grout) dado bajo condiciones Standard. Tiempos aceptables de eflujo se encuentran en la especificación de construcción 938.



Figure 10, Efflux testing

Las pruebas de eflujo realizadas consistentemente y con precisión son una parte importante del control de realidad del proceso de hacer la templa, mezclar y colocar el sellador (grout).

La temperatura del sellador (grout) es crítica y el sellamiento (grouting) no debe proceder si la temperatura ambiente es demasiado baja o demasiado alta. La temperatura del sellador (grout) se chequeará donde la manguera del sellador (grout) conecta a la tubería de entrada y si altas temperaturas se convierten en un problema se tomarán provisiones para bajar la temperatura. Algunas de las maneras en que esto puede lograrse incluyen el

uso de agua helada, enfriar los envases de material previo al mezclado y mantener a la sombra los materiales de sellado (grout), mezcladora, bomba y mangueras.

Pruebas de sangramiento (exudado) indican si el sellador (grout) esta realizando su función antisangramiento (exudante) como esta diseñado. En la prueba de sangramiento (exudado) el sellador (grout) se coloca en un cilindro alto y transparente, la altura inicial es anotada y cualquier cambio de altura en el sellador (grout) y agua sobre le sellador (grout) es anotada por varias horas. La prueba esta basada en ASTM C940, con solo una longitud de un racimo de 7 hebras de acero añadidas verticalmente al centro del cilindro para simular la acción capilar del racimo de hebras en el tendón.

D. Bombeo

El sellamiento (grouting) tiene que continuar sin interrupción de manera que el sellador (grout) fluya continuamente de las entradas a las salidas. El fluido del sellador (grout) en el tendón será en una sola dirección comenzando en la entrada mas baja y progresando a lo largo del tendón.

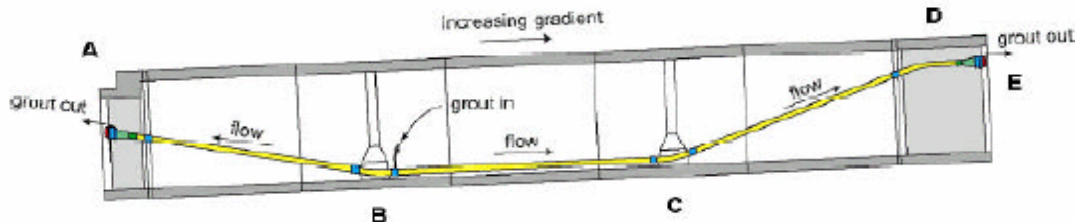


Figure 11, Inject grout at the lowest point of the tendon

Ello requiere que las secuencias para el uso de entradas y salidas estén bien definidas. Se desarrollaran planes de contingencia respecto a los tendones bloqueados y cruces. Con acciones correctivas preparadas con anticipación y aprobadas en el plan se puede proceder sin demora a una reparación o modificación del procedimiento de sellado (grout).

1) Velocidad del Fluido

La velocidad óptima o razón del sellador (grout) dependerá de la temperatura del aire ambiental, la temperatura del sellador (grout), tipo de sellador, tamaño del conducto, cantidad de acero pretensado en el conducto, el perfil de la superficie del conducto (liso vs. corrugado) y tamaño del equipo.

2) Perfil

Mientras el cemento circula como una columna sólida en pendientes ascendentes del conducto, puede exceder la proporción de bombeo en las secciones descendentes del conducto. Por tanto se llenarán las secciones descendentes del conducto desde el punto bajo más cercano moviéndose otra vez en dirección ascendente. Esto probablemente

atrapará aire en o cerca del punto alto que tendrá que ser expelido por el respiradero o llave de purga localizada en el punto alto.

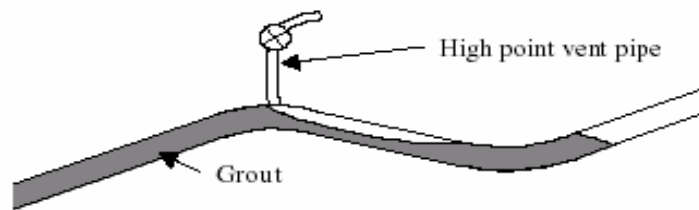


Figure 12, Vent at high point to expel trapped air

3) Presión

La presión de la inyección cementicia necesaria para adecuadamente bombear el cemento depende del diámetro y longitud de la manguera para el cemento, la carga o altura vertical del conducto y la longitud del tendón cementado. Experiencia y juicio de construcción son necesarios para balancear la presión adecuada para bombear el cemento a una velocidad aceptable y al mismo tiempo limitar la presión de manera que no se segregue el cemento, rompa el conducto, reviente la manguera o boca de admisión o raje los tabiques de hormigón.

La presión del bombeo no excederá de 145 lb/pulg² en la boca de admisión para el cemento. No obstante, para operaciones normales la presión deberá fluctuar entre 10 y 50 lb/pulg². Si la presión actual de la inyección cementicias excede el máximo permisible, la boca de admisión será cerrada y el cemento bombeado en la siguiente boca de salida la cual ya tiene un buen fluido de cemento y ha sido o esta lista para ser cerrada en tanto se mantenga fluyendo en una dirección. El cemento no será bombeado en la siguiente boca de salida a menos que una cantidad aceptable de cemento este fluyendo de ella



Figure 13, Discharging good grout from vent pipe

4) Purga y Exudación

Todas las bocas de salida estarán abiertas cuando la inyección cementicia comienza. El cemento será bombeado desde el punto más bajo del conducto en dirección ascendente.

Es buena práctica descargar aproximadamente un galón en cada boca de salida intermedia y dos galones en la última boca de salida. Esto generalmente permitirá que la mayoría del aire atrapado y el agua exudada salgan del sistema. Si es necesario se descargará cemento adicional hasta que se obtengan un flujo consistente con el cemento en la boca de admisión. Requisitos específicos para el cierre y exudado de las bocas de salida, evaluación del cemento descargado y presionamiento del tendón están detallados en la especificación de construcción B460 del Departamento de Transportación. Las válvulas de las bocas de salida no se cerrarán hasta que el cemento fluyendo de ellas sea de consistencia similar al inyectado.

El exudado de las bocas de salida, algunas veces referido como “eructado” es esencialmente el cierre de las bocas de salida mientras se mantiene una presión baja (a nivel de 5 lb/pulg²) por un mínimo de 10 minutos para acumular el aire y agua exudada. El “eructado” se logra aumentando la presión; abriendo la boca de salida del primer punto alto y permitiendo que el aire y el agua acumulados durante el periodo de baja presión sean descargados o “eructados” y entonces re-cerrando la boca de salida. Este proceso es repetido, una boca de salida a la vez, para todas las bocas de salida restantes en los puntos altos hasta que todas hayan “eructado” y re-cerrado. Los detalles de este procedimiento están incluidos en la especificación de construcción B460 del Departamento de Transportación.

E. Pruebas de la Boca de Salida

Cuando se chequean las bocas de salida después del bombeo, purga y exudación, es muy importante asegurarse que suficiente tiempo ha transcurrido para que la presión fuerce el cemento entre las trenzas de acero y permitir que el agua exudada se acumule pero antes de que el cemento se seque. Una espera mínima de 10 minutos es especificada en las especificaciones de construcción B460 del Departamento de Transporte. De lo contrario se seguirán las recomendaciones del fabricante del cemento.

El tiempo de flujo o balance de la lechada cementicia del cemento descargado en la boca de salida debe probarse y cumplir los requisitos de la especificación de construcción 938 del Departamento de Transportación antes de que la inyección cementicia del tendón sea aceptada.

CAPÍTULO VI –INSPECCION

La inspección de los conductos post tensionados, bocas de admisión y tuberías de salida y el sistema total relacionado a la cementación será una operación continua sin interrupción. La inspección puede tener lugar en localizaciones múltiples, primordialmente en el patio de prefundido y el sitio del proyecto. En el patio de prefundido el inspector vigilará la instalación y situación de los herrajes relacionados con la inyección cementicia (por ejemplo; bocas de admisión y salida, conductos etc.) previo a la fundición del hormigón y lo verificará antes de fundir el hormigón. En el sitio del proyecto, el inspector observará y verificará la alineación de los conductos en las juntas

segmentales, el sellado correcto de los conductos y la correcta inyección cementicia de los tendones.

A. Pre y Post Fundiciones

La inspección previa a la fundición es para asegurarse de que el producto en proceso cumple con los planos y especificaciones. Los inspectores verificarán que se usen materiales aprobados y que sean propiamente colocados y soportados previamente a la colocación del hormigón. Con esto en mente se usará el siguiente espaciamiento de soporte para los conductos:

- a) Tuberías de acero: $\leq 2' 6''$
- b) Conducto plástico redondo (sin tendones): $\leq 2'$
- c) Conducto plano (tendón instalado): $\leq 2'$
- d) Conducto plano (sin tendones): $\leq 1'$

Los conductos deberán doblarse con los radios correctos teniendo cuidado de prevenir dobleces o daños. Cualquier doblez o conducto para tendón impropio colocado puede resultar en la invasión de cemento durante la colocación del hormigón y/o daño al acero de pretensado. Cualquier reparación de los conductos debe hacerse con acoplamientos mecánicos o métodos de revestimiento con cinta aisladora.

Al completar la colocación del hormigón la alineación de los herrajes relacionados a la inyección de cemento se chequearán para verificar que no hay bloqueos y que los conductos y bocas de admisión y salida están propiamente sellados. Debe también comprobarse que los conductos de post tensionado están libres de obstrucciones o daño y en condiciones de aceptar los tendones de post tensionado. Esto se hace pasando un torpedo con la misma forma seccional del conducto, $\frac{1}{4}''$ más pequeño en toda su sección que la dimensión interior nominal del conducto. Probar los conductos mediante el uso de insertar un torpedo es primariamente propuesto para los elementos segmentales prefundidos tales como vigas segmentales de caja, segmentos de muelles y vigas longitudinales (AASHTO, Bulbo-T etc.). Para fundición en el lugar de construcción puede proponerse un método alternativo, aceptable al Ingeniero.

Para evitar cualquier contaminación, agua o escombros se introduzcan en los conductos del sistema de post tensionado después de que el hormigón es colocado, se instalen tapones que se mantendrán permanentes excepto durante la instalación y tensado del post tensionado. Si los conductos y tuberías de admisión y salida no se sellan apropiadamente contaminantes o agua pueden entrar en los conductos previos a la inyección cementicia. Los conductos deben taponarse previamente y durante el transporte y mantenimiento después de la erección de las unidades segmentales prefundidas. Después que un tendón es instalado y tensado, las elongaciones, deben aprobarse y los extremos de las trenzas deben cortarse en los extremos vivo y muerto dentro de 4 horas.

B. Muestras y Pruebas

1) Eflujo

Para el control de calidad en el sitio la fluidez del cemento debe chequearse conforme a ASTM C939. El tiempo de eflujo de la muestra de cemento inmediatamente después de mezclado será de 20 a 30 segundos para la Standard ASTM C939 y de 9 a 20 segundos para la modificada ASTM C939. No se procederá con la inyección cementicia hasta que esta prueba haya pasado. Las pruebas ASTM C939 fueron concebidas para garantizar la propia consistencia del cemento. Pruebas en muestras de cemento utilizadas por el Departamento de Transportación han demostrado que la fluidez y por tanto la bombeabilidad, pueden mantenerse con un tiempo de eflujo dentro de los parámetros establecidos arriba.

2) Exudado (Sangramiento)

La prueba de exudado inducido denominada “wick” es también para el control de calidad en sitio. Consiste en una modificación de ASTM C940 descrita en la especificación de construcción 938 del Departamento de Transporte. El exudado máximo permisible es 0.0%. Esta prueba debe hacerse diariamente en conjunción con la prueba de eflujo inicial.



Figure 14, Wick induced bleed tests

3) Densidad

Otra medida viable a usarse en conjunto con la prueba de eflujo es la escala de la mezcla o balanza de la mezcla. Esta mide las variaciones de densidad en el cemento. De nuevo se trata de obtener una mezcla homogénea y consistente. La balanza de la mezcla indicara la gravedad especifica de la mezcla cementicia. Variaciones en la densidad de la mezcla pueden indicar un cambio en los constituyentes de la mezcla, relación

agua/cemento o contenido de aire. Cambios significantes de densidad deben investigarse para determinar que ha cambiado, antes de utilizar la templa de cemento.



Figure 15, Mud-balance density test equipment

4) Temperatura

La temperatura de la mezcla cementicia es crítica y la inyección cementicia no debe realizarse si la temperatura ambiente está por debajo de 40° F (4° C) o si la temperatura de la mezcla está por encima de 90° F (32° C). En un ciclo de horas la temperatura de la mezcla debe chequearse en el punto de conexión de la manguera de la tubería de admisión y si alta temperatura constituye un problema deben tomarse medidas para bajarla.

C. Pre-Inyección Cementicia

Antes de cada operación de inyección el inspector chequeara cada uno de los tendones a ser cementados. El inspector usara una guía de chequeo para asegurarse de que nada ha quedado sin chequear previo a la mezcla de la lechada cementicia. Los *ítems* en la lista de chequeo incluirán la fecha de manufactura del cemento; fecha y resultado de las pruebas de presión de los tendones; disponibilidad del suministro de agua; primariamente, chequeo del equipo de pruebas en el sitio, localización de bocas de admisión y salida; verificación de todas las válvulas y otros herrajes y otros artículos según sean determinados por el Ingeniero.

D. Inyección Cementicia

Durante las operaciones de la inyección cementicia el personal de la inspección chequeara las templas, pruebas, bombeo, descarga de la mezcla, secuencia del cierre de las bocas de salida, presionamiento del tendón y documentación de lo mencionado según las especificaciones de construcción B460 del Departamento de Transportación. El objetivo del inspector es asegurarse de que el tendón sea completamente llenado con la mezcla cumpliendo con los planos y especificaciones.

E. Post Inyección Cementicia

Después del “eructado” no se abrirán o removerán las válvulas, tapones, y tuberías en las bocas de admisión y salida hasta que la mezcla se haya asentado. Los conductos llenados no se someterán a vibración hasta después de 24 horas de la inyección cementicia.



Figure 16, Borescope photo showing ungrouted stands

1) Detección de huecos

Cuando la mezcla se haya asentado las bocas de salida se reabrirán e inspeccionarán conforme a la especificación de construcción B460 del Departamento de Transportación.

2) Reparación de huecos

El método de inyección al vacío se requiere para el llenado de cualquier hueco preexistente. No obstante, un hueco creado por barrenar una boca de admisión o salida con la intención de chequear huecos puede llenarse vertiendo mezcla de epoxy directamente dentro del barreno siempre que no se detecte un hueco preexistente. Uno de los parámetros mas importantes que influyen el relleno exitoso al vacío de los conductos es el volumen y disposición de los huecos a llenarse. Hay varios métodos por los cuales puede medirse el volumen y cada uno de ellos involucra presión de aire. Estos métodos requieren barrenar un hueco que intercepte el conducto o la apertura de una boca de salida o admisión. Entonces se requiere una conexión al hueco perforado lo suficientemente ajustada para resistir presión. El conducto es vaciado a la presión de vacío más baja que pueda lograrse y el volumen medido. Si el vacío no puede lograrse debido a salideros entonces el salidero debe sellarse antes de proseguir. Se determina el volumen para asegurarse que la cantidad apropiada de mezcla es colocada en el conducto. Este método ha sido exitosamente usado en varios proyectos de la Florida.



Figure 17. Vacuum grouting for Mid Bay Bridge repair

CAPÍTULO VII – POST INYECCIÓN CEMENTICIA

Esto involucra las operaciones finales de sellado después que la inyección cementicia se ha completado, ha sido inspeccionada y las reparaciones hechas satisfactoriamente. Densas post fundiciones se instalarán usando materiales que cumplan con la especificación de construcción 926 del Departamento de Transportación para el sellado de los anclajes de los tendones. Las post fundiciones son revestidas con material elastomérico detallada en la especificación de construcción 975 del Departamento de Transporte. Cualquier reparación o parcheo que pueda haber sido requerido para sellar los tendones y tuberías de inyección será hecho de acuerdo con la buena práctica, planos y especificaciones. Las tuberías para la mezcla se cerrarán con un tapón permanente y se cubrirán con epoxy de parcheo. Los tendones externos pueden requerir cinta adhesiva si existen rajaduras en los conductos.



Figure 18. Anchorhead pourbacks for external tendons that exit the opposite side of the diaphragm

CAPÍTULO VIII – SUMARIO

Las tres Ps a considerar en la inyección cementicia son: sistemas Post tensionados, Protección del sistema post tensionado y Personal haciendo la inyección. La inyección cementicia propia y completa de tendones post tensionados es vital para el término de durabilidad y servicio de la estructura post tensionada. Las propiedades alcalinas de las muestras producen una capa pasiva en el acero post tensionado que inhibe el desarrollo de la corrosión.

Pre-tensionado y post tensionado son los métodos usados para pretensar miembros estructurales para aumentar su resistencia y capacidad. La diferencia entre ambos sistemas esta relacionada con el momento en que el acero es tensado en relación con la colocación del hormigón. El acero pre tensado no requiere mezcla cementicia mientras que el post tensionado si lo requiere. Los sistemas post tensionados tienen múltiples componentes incluyendo conductos, mezcla y anclaje.

Los materiales básicos de la mezcla son cemento Portland, agua potable y aditivos. La especificación 938 del Departamento de Transportación establece los estándares mínimos para la pre-aprobación de materiales de mezclado pre-ensados. Estas mezclas pre-ensadas tienen cemento Portland con aditivos minerales y químicos en fórmula patentadas.

Los problemas que se han experimentado con la inyección cementicia están relacionados al agua de exudado. La ocurrencia del agua exudada es relativa a la relación agua/cemento, presión de la inyección cementicia y características de funcionamiento del cemento usado. Buenos materiales y práctica pueden limitar estos problemas.

La sumisión y aprobación de un plan para la inyección cementicia y la realización de una reunión pre-cementicia se requiere actualmente por la especificación de construcción B460 del Departamento de Transportación. El Plan de Operación de Cementado requiere una narración de toda la operación de cementado y cubrirá el personal, entrenamiento, materiales, equipo y procedimientos a utilizarse en las operaciones de cementado. Una reunión de pre-cementado se celebrará para proveer instrucción primordial a la cuadrilla de cementado y, al personal de la inspección para familiarizarlos con los datos específicos del plan de instalación del cemento.

La operación de cementado conlleva las pruebas de salidero de los tendones, mezclado, chequeo y bombas de sellador. Las pruebas de salidero revelan si la salida de los tendones están abiertas así como salideros y cruces de manera que puedan repararse antes del cementado. Un plan de contingencia debe establecerse previo al comienzo del cementado que cubra los métodos efectivos para lidiar con los problemas que puedan ocurrir durante la operación de cementado. El mezclado del cemento se hará conforme a las recomendaciones del fabricante y el contenido de agua no excederá del máximo especificado. La mezcla cementicia se probará conforme a la especificación de construcción 938 del Departamento de Transportación.

La inspección del cementado deberá ser una operación continua y sin interrupciones. La inspección puede tener lugar en localidades múltiples principalmente el patio de

profundido y el sitio final de construcción. En el patio de profundido, el inspector chequeará la colocación y localización de los herrajes previo a la fundición del hormigón y verificará posteriormente su localización. En el sitio del proyecto el inspector observará y verificará el alineamiento de las juntas segmentales, el sellado de los conductos y el cementado de los tendones.

Las operaciones de post cementado incluyen la inspección y verificación de todo el cementado, detección y llenado de huecos y el sellado final del sistema de tendones.

El objetivo del cementado es llenar completamente el conducto post tensionado con una mezcla de alta calidad no contráctil, no exudante para proteger el acero pretensado de daño o fallo debido a la corrosión proveyendo una estructura con servicio durante su vida de diseño.