

Pernos de Anclaje Inyectados: La Calidad del Suelo Reforzado

Autores: Geólogo Caibar Azzi Pitta, Director de la Solotrat Engenharia Geotécnica
Ingeniero Alberto Casati Zirlis, Director de la Solotrat Engenharia Geotécnica

1. Sinopsis

La inyección de pernos de anclaje es fundamental para la eficiente estabilidad del macizo en suelo por la Técnica de Suelo Reforzado. No debe ser considerado como perno de anclaje, aquel, cuya inyección no fue adecuadamente realizada.

2. Histórico

La estabilización de suelos por la Técnica de Suelo Reforzado tuvo su inicio en el Brasil en la década de los años 1970. Las primeras contenciones fueron ejecutadas con la simple excavación de barras de acero, o con la perforación en diámetro muy próximo al de la barra y la inyección ejecutada sin la preocupación de control de calidad. En la superficie del talud se aplicaba malla sumergida o no en concreto proyectado.

Ese proceso fue evolucionando con el estudio de las dimensiones, diámetros del hueco y barra, protección contra corrosión, centralizadores e inyección. La práctica actual brasileña es la de ejecutar pernos de anclaje moldeados en el suelo y no clavados.

En lo que se refiere a la inyección, varias preocupaciones se sucedieron a lo largo de este período, tales como el uso de la adecuada relación agua, cemento, aditivos expansores, inyección de vaina en fases por tubo auxiliar, centralizadores y protección anti corrosiva.

Hasta hoy, en la mayoría de los casos de obra, la inyección no es considerada de vital importancia. Permítase sólo la fijación de la barra al suelo y nunca tratamiento de consolidación por inyección. Se observa mayor énfasis a las de la barra de acero y diámetro de la perforación. No hay normas para ensayos de acompañamiento y raramente hay alguna solicitud en el proyecto.

3. Aplicación

Las características de los suelos sedimentarios y saprolíticos en el Brasil, viabilizan la amplia aplicación del proceso de estabilización por clavamento, usualmente a costos menores que otros sistemas tales como: pantallas con anclaje postensada, gavilanes, estructuras de concreto etc. Comprende una perforación, barra de acero, inyección de lechada de cemento y concreto proyectado. Estos son los elementos necesarios para una contención de alta productividad, económica y aplicable en la gran mayoría de nuestros encastes a ser excavados, en taludes ya excavados o hasta rotos.

4. El Perno de Anclaje Inyectado

4.1 Montaje – La barra de acero normalmente tiene diámetro de 10 a 25 mm con protección anticorrosiva, doblada en la extremidad (para diámetros hasta 20 mm), con cerca de 20 cm, y con centralizadores a cada 2 m. La aplicación de placa y tuerca ocurre para diámetros de la barra iguales o superiores a 22 mm cuando no es posible doblarla.

Adyacente a la barra se instala uno o más tubos de inyección perdidos, con diámetros de 10 a 15 mm, provistos de válvulas a cada 0,5 m debajo de la boca del hueco.

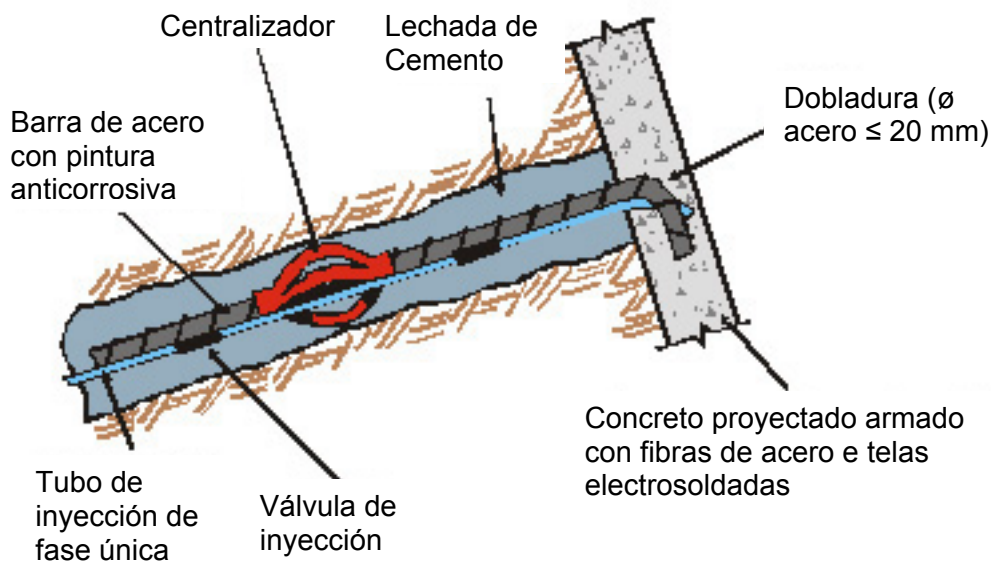


Figura 1: Detalle del Perno de Anclaje.

4.2 Perforación – Se perfora el suelo con diámetro próximo a 75 mm. Se instala entonces, la estructura metálica dotada de tubo de inyección.

4.3 Inyección – Se inyecta la vaina por el tubo auxiliar removible, de forma ascendente, con lechada de cemento factor agua/cemento aproximadamente 0,5 (en peso), proveniente del mezclador de alta turbulencia hasta su desborde en la boca del hueco. Como una buena alternativa, se puede llenar el hueco con lechada y entonces introducir el refuerzo metálico.

Después de un mínimo de 12 horas, reinyectar el perno de anclaje por el tubo de inyección perdido, anotándose la presión máxima de inyección y el volumen de lechada absorbida. No se ejecuta la reinyección, a no ser que hayan dos o más tubos de inyección perdidos. En el caso que esto ocurra, la reinyección debe ser ejecutada posterior a un mínimo de 12 horas. La presión máxima de inyección, via de regla, no ultrapasa a 1,5 Pa. Terminada la inyección, se debe retirar el labio extremo inyector (bico), doblando el tubo de inyección, de forma tal que confine la presión de inyección.

4.4 Boletín - Conforme el boletín abajo diseñado, se anotan todos los datos de ejecución.

OBRA -		N.º									
BOLETIM DE CONTROLE DE EXECUÇÃO DE CHUMBADOR											
■	PERFURAÇÃO	\emptyset (mm)	comprimento (m)		ang. c/ horiz.						
	PARTE METÁLICA	Aço	\emptyset (mm)	comprimento (m)							
	PROTEÇÃO ANTICORROSIVA										
	TIPO	Espaçador \emptyset		a cada (m)							
■	INJEÇÃO	Traço da	Fator A/C =								
		Bainha	1sc cimento +	litros água +	litros solo =	litros calda					
■	INJEÇÃO	Traço da	Fator A/C =								
		Fase	1sc cimento +	litros água +	litros solo =	litros calda					
Vol - Volume Injetado em sacos			Pa - Pressão de Abertura (Kg/cm2)				Pi - Pressão de Injeção (Kg/cm2)				
DATA	N.º CHUMBADOR	INJEÇÃO				DATA	N.º CHUMBADOR	INJEÇÃO			
		Bainha	FASE ÚNICA					Bainha	FASE ÚNICA		
		Vol	Pa	Pi	Vol			Vol	Pa	Pi	Vol
OBS.:											

TAB. 1 Boletín de Inyección

5. Interpretación de la perforación e inyección

Durante la perforación para implantación de un perno de anclaje inyectado se debe reconocer tres informaciones de gran importancia:

- pérdida del fluido de perforación;
- ocurrencias de vacíos;
- reconocimiento de litologías.

Al término de la perforación se conocerá el real estado del macizo.

Después de las inyecciones, es posible mapear las áreas de mayor peligro, con base en el volumen e presiones de inyección y, en el ato contínuo, se aplicar la densidad exacta de anclajes, para se obtener la estabilidad del proyecto.

6. Pesquisa en Verdadera Grandeza

Para evaluar el efecto de la inyección, fueron ejecutados ensayos de extracción de pernos de anclaje, con o sin inyección. Los taludes de suelo arcilloso y arcilla arenosa tenían inclinación de 85 y 50 grados respectivamente.

Fue utilizado acero CA-50 con diámetro de 20 mm, con protección anticorrosiva y espaciadores plásticos: cuatro en el de 6 m y dos en el de 4 m. La inclinación era de cinco grados con la horizontal descendente, en hueco de 75 mm de diámetro. Posterior a la instalación de la barra, se inyectó la vaina de forma ascendente via tubo auxiliar, con lechada factor a/c = 0,50, hasta la misma desbordarse por la boca del hueco. En el suelo arcilloso el largo de la barra fue de 4,0 m y en la arcilla arenosa, de 6,0 m.

Las inyecciones de presión también con factor a/c = 0,50 en peso, fueron realizadas en una única fase, después de dos días de la ejecución de la vaina. Se obtuvo como presión máxima de inyección 1,5 Mpa. El tubo era de plástico de 9 mm de diámetro con válvulas a cada 0,5 m hasta 1 m de la superficie, según datos abajo relacionados:

Silto Argiloso l = 4 m						
Chumbador	Bainha (litros)	Fase Única		Carga Rutura (KN)	Carga Rutura por Metro Linear do Chumbador (KN/m)	
		Volume (litros)	Pressão (MPa)			
Só Bainha	1	35		7,7	19	
	2	60		7,7	19	
	3	40		8,4	21	
	4	85		7,7	19	
	5	50		7,0	18	
	6	90		9,7	24	
Bainha + Fase Única	7	45	65	1,5	11,9	30
	8	50	50	1,5	11,2	28
	9	70	80	1,2	11,9	30
	10	60	70	1,5	11,2	28

TAB. II Características dos Chumbadores para o ensaio em solo Silto Argiloso

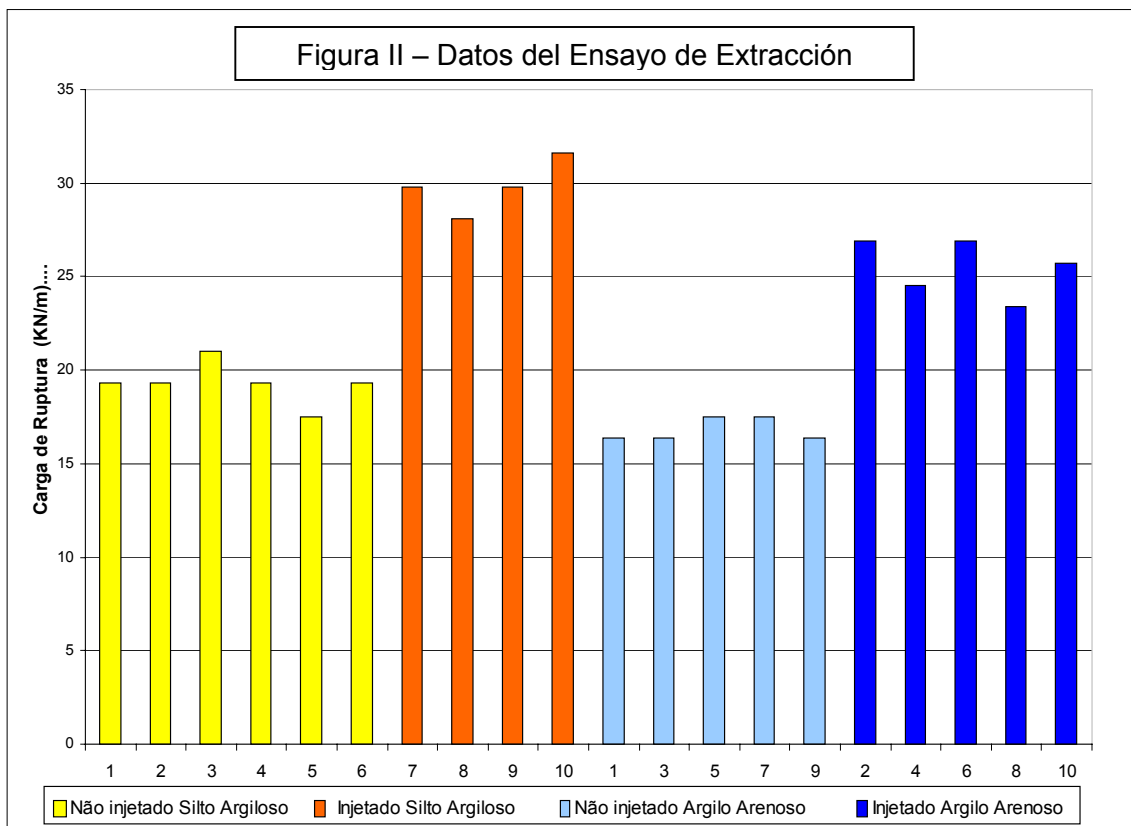
TAB. II Características de los Pernos de Anclaje para el ensayo en suelo Silto Arcilloso

Argilo Arenoso l = 6m						
Chumbador	Bainha (litros)	Fase Única		Carga Rutura (KN)	Carga Rutura por Metro Linear do Chumbador (KN/m)	
		Volumе (litros)	Pressão (Mpa)			
Só Bainha	1	40		9,8	16	
	3	50		9,8	16	
	5	35		10,5	18	
	7	40		10,5	18	
	9	40		9,8	16	
Bainha + Fase Única	2	45	70	1,2	16,1	27
	4	50	50	1,5	14,7	25
	6	60	90	1,0	16,1	27
	8	35	40	1,5	14,0	23
	10	40	50	1,5	15,4	26

TAB. III. Características dos Chumbadores para ensaios em solo Argilo Arenoso

TAB III. Características de los Pernos de Anclaje para ensayos en suelo de Arcilla Arenosa.

Los resultados de los ensayos de extracción de los pernos de anclaje. Ver siguiente gráfico:



El análisis de los ensayos comparativos de los pernos de anclaje, inyectados y no inyectados, muestra una ganancia media alrededor de 50% en la capacidad de carga de adherencia de la barra al suelo.

Después de los ensayos, fue realizada la excavación del talud donde se constató la ocurrencia de planos de inyección, que llena fisuras y vacíos del suelo, y promueve su densidad. Las fotos abajo muestran el comportamiento laminar de esas inyecciones.



Foto 1 – Camadas de inyección de lechada de cemento en sedimento terciario de São Paulo (Apud. Guimarães, J.D.)



Foto 2 - Camadas de inyección de lechada de cemento en suelo aluvionar de São Paulo consolidado por inyección (Apud. Guimarães, J.D.)



Foto 3 - Muestra excavada de Perno de Anclaje inyectado con lechada de cemento.

7. Conclusiones

Se obtuvo innegable mejoría en la capacidad de anclaje del perno de anclaje inyectado, que justifica el costo operacional de este servicio. No obstante, más significativo que esa ganancia de adherencia, es el conocimiento, via presión y volúmen de inyección, del estado del suelo envolvente al anclaje.

Normalmente las características geo mecánicas adoptadas para los análisis de estabilidad provienen de sondajes SPT, ejecutados perpendicularmente a las estructuras de anclaje, que necesitan, por tanto, de extrapolación para representar la masa del suelo. Esos sondajes, por ser puntiformes, poco pueden evidenciar determinadas características del macizo, principalmente en cuanto a las fases de sedimentación y “cripto-fisuras”, que cuando en planos concordantes con la fase del talud, mucho perjudican su estabilidad.

En la medida en que se tiene el comportamiento geomecánico del macizo, via inyección y con las mejoras propiciadas por la misma, como densidad del suelo, cierre de las fisuras y la mayor adherencia de la barra al suelo, es de esperarse que los resultados encontrados en los ensayos comparativos, muestren mejor capacidad de adherencia, por tanto, que exigen mayor energía para la extracción de los pernos de anclaje inyectados.

Se concluye que el acto de inyectar un perno de anclaje no se resume solamente a la mejora del anclaje o fijación del mismo.

Cuando se aplica la inyección de fluidos cementantes, se puede “sentir” el comportamiento de esas discontinuidades tectónicas o litológicas y de vacíos. Mucho más que eso, es la confirmación del estado en que el encoste se encontraba en sus formas estructurales y la “certeza” de que el suelo, después del tratamiento, estará estable. Se puede, tal vez, olvidar los planos de ruptura imaginados en los análisis y la necesidad de las barras de acero. En este caso, los pernos de anclaje dispensables, sirven apenas para aumentar el factor de seguridad de la contención.

La aplicación de los valores obtenidos en los ensayos de extracción, como parámetros de análisis de estabilidad en las fórmulas matemáticas, debe ser extremadamente rigurosa, pues en el suelo reforzado la estabilidad del talud está mucho más relacionada con el comportamiento del macizo como un todo de lo que la actuación de un elemento aisladamente. Si no fuera la inyección, no se conseguiría redistribuir y equilibrar los esfuerzos en la masa del suelo.

La tendencia en esa evolución de la Técnica del Suelo Reforzado es la sustitución de la lechada de cemento por suelo\cemento, cuya resistencia y plasticidad se adecúa perfectamente al concepto de suelo tratado y presenta características geomecánicas más próximas del macizo, y ofrece significativa reducción de costos.

Bibliografía:

Guimarães, J.D., Consolidação dos solos por injeções: discussão sobre uma prática bem sucedida que não está de acordo com as teorias clássicas existentes, pp.99 a 107, 1984.

Oliveira, M. E. Ferreira, A.A., Consolidação de solo aluvionar mole: relato de um tratamento por injeção de cimento para escavação de túnel urbano na cidade de São Paulo. Anais do Simpósio sobre Escavações, vol. 1, pp. 335-353, 1982.

Zirlis, A.C., Fundações, Teoria e Prática, cap. 18 – Reforço do terreno – solo grampeado, Editora Pini, 2ª edição 1998, pp 641e 642, 656 a 668.

Zirlis, A.C.; Pitta, C.A.; Souza, G.J.T., e Oliveira, M., Soil Nailing: ancoragem de solos, experiência de uma equipe na aplicação do método. Conferência Brasileira de Encostas, vol. 1 – Rio de Janeiro, pp. 81 a 99, 1992.