

TÚNEL ATOCHA

Excavación del túnel
by pass Estación de Atocha
–2ª fase–, tratada con
inyecciones de cemento.
Aplicación ensayos de control
de cemento en suelo (c/s), en
las columnas con *jet grouting*,
para la infraestructura FFCC
AVE Madrid-Valencia

LUIS
Tissera

Doctor ingeniero de
Caminos.
Máster en Geotecnia y
Cimentaciones

RUBÉN
Galindo

Doctor ingeniero de
Caminos.
Prof. Titular Ing. del Terreno
UPM

RESUMEN

Se presenta un caso de tratamiento y control con inyecciones de lechada a presión, tipo Jet Grouting, como mejora del terreno, para la construcción del túnel en zona urbanizada de Madrid, proyecto constructivo By Pass soterrado en la antigua Estación FFCC de Atocha (Madrid, 2009/2010), que ha permitido conocer no solo la calidad y características del terreno mejorado con inyección de lechadas a presión, tratamiento del subsuelo de relleno artificial y/o marga alterada, para la futura obra de túnel excavado en mina, sino también verificar mediante auscultación, la incidencia en la estabilidad de la construcción existente, y en vías en servicio de trenes AVE, en la plataforma actual de la Estación de Atocha.

La calidad del material mejorado con inyección tipo Jet “2A”, para columnas de gran diámetro, se refleja en los resultados de control de la prebóveda, del futuro túnel bajo la antigua Estación FFCC, construido con 312 columnas en una malla de puntos, construida con un diámetro de columnas $d=2,5\text{m}$, que se solapan entre columnas de la malla de puntos prefijada. En otras zonas de Estación en donde el proyecto de túnel atraviesa próximo a galerías soterradas en uso, la mejora de inyección fue con el método del tubo manguito, que aplica energías de presión inferiores y sin riesgos al contacto con estructuras de hormigón próximas.

La zona de columnas tratadas bajo la estructura resistente, se subdividieron los 195m de túnel entre Pk 0+570 al 0+765. El control investigó tres tipos de caracteres diferenciados: 1) Control geométrico, longitud y diámetro de columnas; 2) Verificar los parámetros resistentes del terreno para estabilidad de túnel; 3) Análisis del contenido de cemento-suelo (C/S) %, mediante ensayos químicos innovadores. Se aplicaron para investigar C/S en columnas de jet, los ensayos químicos de clasificación del “PH” con resultados entre 10 y 13, rango preestablecido cualitativo como positivo; y con

el análisis cuantitativo con el método de eflorescencia de rayos X, fueron favorables con "C/S", entre 4-40 % y una media >20 %, dentro del rango de medición preestablecido, entre la muestra tipo patrón obtenida del control en obra, y la muestra de suelo "virgen" sin tratar.

El control químico presentado, ha caracterizado cualitativa y cuantitativamente el contenido de cemento en suelo "C/S" %, y es un dato complementario e innovador a los métodos de control convencionales, efectuados con el contraste antes y después de la mejora, mediante prospecciones y ensayos físicos de corte in situ en laboratorio; en las obras lineales, con tratamientos de inyección de lechadas, para proteger recubrimientos de excavaciones en túneles en mina, como es el caso presentado.

PALABRAS CLAVE

Inyección, suelo, cemento, eflorescencia, columnas, auscultación

ABSTRACT

The quality control of treatment with grouting as ground improvement of for the construction of the By Pass tunnel in the first phase of the Atocha Station (2009-2010), has allowed us not only quality control and improved product features artificial filled subsoil to adapt to the future work underground, but also to verify by auscultation, the stability of the existing underground construction of deep foundations, tracks' platform and superstructure shelters, all with tracks on AVE train service.

The product quality of improved material with injection of cement on the soil is the object treatment used for the prevault stabilization, the future underground tunnel under the old station, provided with mine excavation.

The quality of the columns resulting from a treatment for the improvement of the cement soil injection by super jet type 2 'A', is reflected by obtaining the diameter $d=2,5$ m, which overlap in a predetermined grid of points, plan and the specified depth of 3.0 m in prevault and 10.0 in glabe above the platform surface. Fig. 1a/1b shows the template treated with jet.

The combination of the size of jet grouting columns and the quality control of this unit of work for the future mine tunnel, have been drawn from the general state of the treated area, and verified the strength parameters associated with the stability of the prevault.

In each of the different sections in which were subdivided the 225m of the tunnel, in the section between Pk 0 +570 to 0 +765 (September-October/10), were obtained in the classification of chemical tests "PH" and cement content in soil "C / S %", favorable results within a given environment with patron samples, and are a useful experimental and innovative contribution to the conventional control methods through in situ test and physical in situ tests and laboratory. With these additional classification tests, we obtained a comprehensive quality control for the work, in applying treatments for grouting improvements, in linear tunnels works of FFCC and/or roads transport infrastructures.

The AVE section "Remodeling Complex Atocha Station, Phase 1," Work done to ADIF - Ministry of Development, 2009-2010; has received distinctions: Building Quality Award "ACHE" (Art and Structural Concrete Construction) 2010; Award for Best Public Building in 2011, awarded by the Madrid Branch of the College of Engineering in Civil and Ports.

KEYWORDS

Grouting, ground, cement, effluent, columns, auscultation

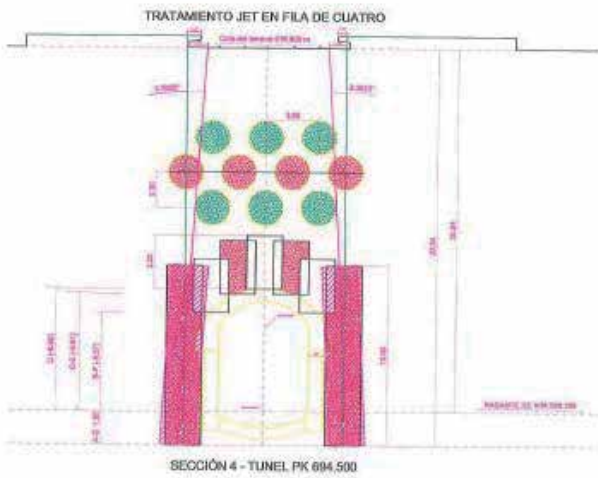
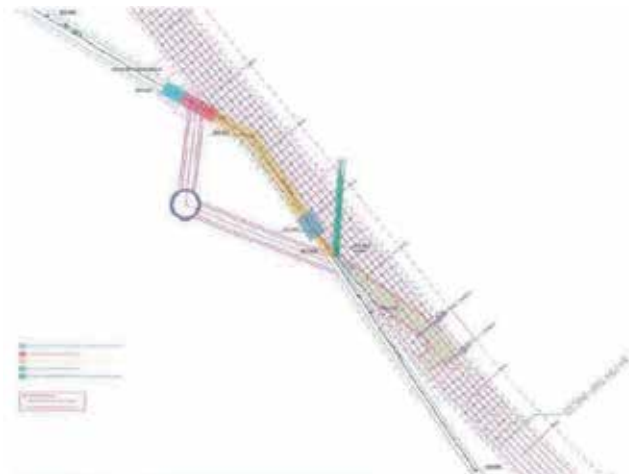


Fig. 1. Columnas de Jet tipo 2A en Prebóveda

Fig. 2. Columnas de Jet tipo 2ª, Plataforma Vías 10-11

Fig. 3. Situación de la obra de túnel tratado con inyección



1 Introducción

Características del proyecto y control de columnas de Jet

En la construcción del túnel By Pass, correspondiente al acceso de AVE Madrid-Valencia, y 2º Fase de la Remodelación Estación de Atocha (2010), Pk 0+570 al Pk 794+50; se aplicó un control integral de la calidad del tratamiento con inyecciones de jet grouting, como mejora del terreno para la prebóveda del futuro túnel. En la figura 2, se muestra la maquinaria de Jet Grouting.

La inyección de jet aplicada en cada perforación de una malla de 312 puntos, fue la de gran diámetro tipo Jet tipo 2 A, en el tramo comprendido entre Pk 0+570 al 0+765 (Septiembre-Octubre/10), con la profundidad necesaria desde plataforma, para la mejora en retroceso de la prebóveda de 3,0m de columna, y de 10,0 m para hastiales sensiblemente inclinados (figura 1). Se diseñó un sistema de mejora del terreno de tipo de columnas solapadas, en donde con la inyección y acción combinada de lechada y de aire, disgregan el terreno en un radio estimado en 1,25 m, obteniendo como resultado una columna de jet con un diámetro $d = 2,50\text{m}$

La auscultación de control geotécnico y de cimentación, se efectuó durante todo el proceso de inyección mediante registros topográficos de precisión, en puntos fijos del área de influencia y entorno, distribuidos en: Pilares de andenes, vías y placas de hormigón,

Para el control del tratamiento de prebóveda y hastiales, mediante súper jet tipo "2 A", y se aplicaron prospecciones de campo: ensayos de penetración dinámica continua DPSH, y sondeos mecánicos para toma de muestras. En las muestras inalteradas de sondeos, se efectuaron los ensayos de laboratorio de tipo químico: PH; y ensayos de contenido de cemento en suelo, con la relación cualitativos-cuantitativos C/S.

2

Prospecciones de campo

Para el control de la franja de subsuelo tratado mediante jet tipo 2 A, en el tramo acotado de traza, se realizaron: trece (13) sondeos mecánicos; y treinta (30) ensayos de penetración dinámica continua D.P.S.H., se distribuyeron intercalados entre las perforaciones de columnas tratadas (figura 3).

Los sondeos mecánicos realizados con la metodología de extracción de testigo continua, trabajando en seco, han permitido reconocer con precisión el tipo de terreno existente en la vertical de cada punto, obtener muestras inalteradas para sus ensayos de clasificación y resistentes. Los sondeos y penetros, se situaron distanciados del eje de columna: 0,50 m; 1,00 m y/o 1,50 m, a los efectos de controlar la dimensión del diámetro de las columnas. Los ensayos de penetración dinámica continua D.P.S.H., registraron en todos los casos con el nº de golpes N20, los cambios de capas. En efecto, con $N20 < 5$ golpes mientras se atraviesa el substrato de relleno superficial o aluvial, a $N20 > 30$ golpes al penetrar en la prebóveda de columna, y hasta encontrar en forma brusca el rechazo a la penetración $N20 > 100$ golpes, en el seno del espesor prefijado de prebóveda con jet de lechada, y/o en el seno del potente substrato natural de arcilla margosa color verdoso/grisáceo (peñuela)

3

Ensayos de Laboratorio. Metodología para los controles químicos

En las muestras tomadas durante la perforación de sondeos, se efectuaron Estado y Clasificación-Químicos. Los ensayos físicos asociados, se describen en cap. 6.1.

3.1. Ensayos de estado y Clasificación-Químicos

a) Ensayos de estado y clasificación:

- Humedad natural, $w = 20-43 \%$
- Densidad aparente, $\gamma = 1,65 - 2,10 \text{ T/m}^3$ ($16,5-21 \text{ KN/m}^3$); Densidad seca, $\gamma_d = 1,0-1,70 \text{ T/m}^3$ ($10-17 \text{ KN/m}^3$)

b) Químicos:

b.1) Contenido de PH: variable entre $\text{PH}=7,00$ a $13,00$

La alcalinidad de una muestra con alto contenido de cemento ($\text{PH} = 13,0$), y una muestra con contenido nulo de cemento de alcalinidad ($\text{PH} = 7,0$).

b.2) Contenido de residuos insoluble (Norma UNE-EN 196-2): variable entre 28 a 84 %

Aunque si bien los resultados cuantitativos de las muestras analizadas, han dado valores altos en %, el concepto de este resultado no está asociado al contenido del cemento existente en la mezcla del jet lechada de cemento-suelo, sino al contenido de suelo no reaccionante con el cemento, en caso de producirse la mezcla componentes de ligante de cemento y de suelo. Por tanto, este ensayo no es vinculante al contenido real in situ del contenido C/S %. Este ensayo es útil para proyectos.

b.3) Ensayos del contenido de cemento

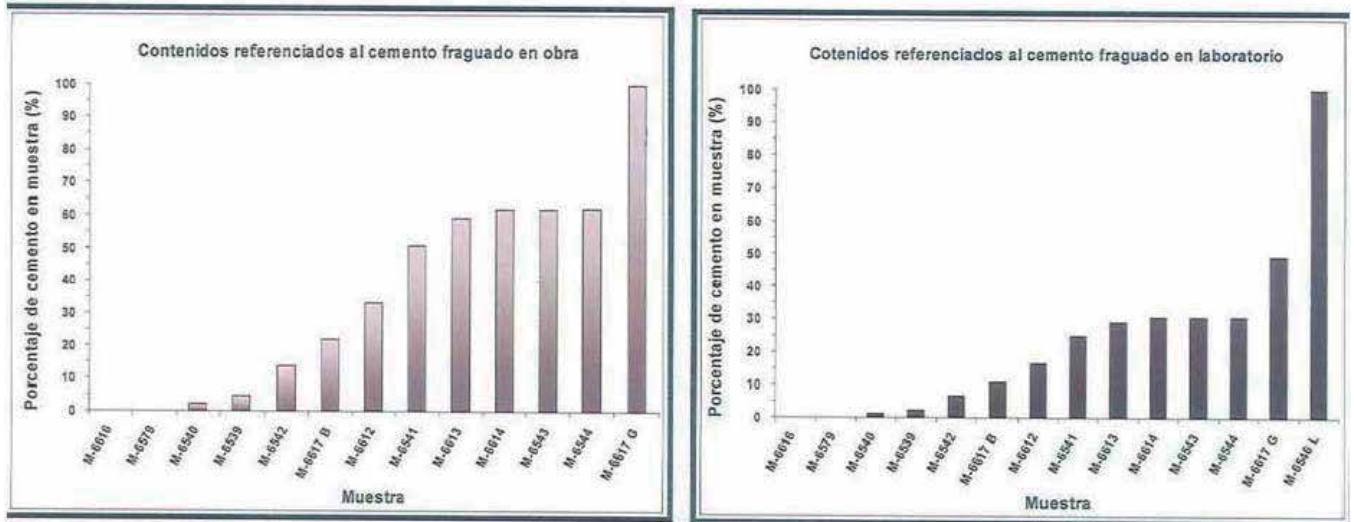
Habida cuenta de la inexistencia de una Norma específica de ensayo de contenido del cemento en suelo, se pudo definir y es lo que se presenta en este documento, un ensayo químico directo para el control de la cantidad del cemento en las columnas de jet. Se contó con la colaboración para estos ensayos específicos, con el Centro de investigaciones y Control de Obras públicas (CEDEX) del Ministerio de Fomento España, y se desarrolló un criterio de control y e interpretación de resultados, para estimar el contenido de cemento en suelo (C/S %).

Los análisis químicos iniciales fueron para las muestras de referencia, con los siguientes tipos "óptimo": unas con cemento fraguado en laboratorio sobre una muestra obtenida de fábrica; y otras con cemento fraguado en obra sobre muestras clara concentración de cemento, obtenida en los sondeos mecánicos en zona de prebóveda tratada con jet grouting. Estas dos (2) referencias, son para determinar el patrón óptimo extremo superior de comparación como muestra ideal cementada; y por otra parte la referencia de muestra de extremo inferior, con suelo completamente inalterado o "virgen de lechada", correspondiente a la muestras de suelo natural, no afectada al propio tratamiento de inyección.

	Suelo natural "virgen" C/S= 0 %	Patrón óptimo C/S= 100 %		Observaciones
		Obra C/S= 78 %	Laboratorio C/S= 100 %	
Contenido medio: Cr +Ni + Sr 3	38,2	206,1	358,9	La muestra ideal de obra, es un trozo impregnado de cemento; y en laboratorio una probeta de lechada
Rango para clasificación	0 %..... 78 % (100 %)			Elementos comunes seleccionados: minoritarios en muestra virgen y mayoritarios en muestra patrón: Cr; Ni ; y Sr
	0 %..... 100 %			

Tabla 1. Resumen de muestras extremas referentes del contenido C/S %

Porcentajes de cemento fraguado en muestras:



Figs.4.a y 4b: Control de Cantidad Cemento en suelo, según referencia patrón de laboratorio (b) u obra(a)

Sobre dieciocho (18) muestras de materiales provenientes de obra, se han efectuado los análisis químicos de los elementos de átomos componentes, con la determinación cuantitativa de los elementos minoritarios y metales pesados, mediante fluorescencia de RX (WE-XRF), y sobre trece (13) muestras seleccionadas en el espesor de columna tratada, se determinaron dentro del rango de extremos el contenido C/S %. Se utiliza la tabla periódica de uso generalizado universalmente.

La metodología de ensayos aplicada en muestras fue la siguiente:

b.3.1) Selección de toma de muestras de prebóveda

Los sondeos de control, fueron emplazados en los entornos de ejes de columnas $d= 2,50\text{m}$ solapadas. La toma de muestras inalteradas fue coincidente con una profundidad intermedia dentro del espesor $e = 3,0\text{ m}$ en prebóveda, o sino en los hastiales de altura $h=10,0\text{ m}$.

b.3.2) Selección de muestras de referencia

Las muestras de referencias extremas, son los referentes extremos determinando el rango del contenido C/S: "0 a 100 %". Se busca del registro de RX fluorescente entre los tantos elementos comunes ~41 (tabla Periódica de metales pesados), los que sean mayoritarios en la muestra extrema u óptima: Niquel (Ni), Estroncio (Sr) y Cromo (Cr); y que estos sean a su vez, minoritarios en la muestra virgen. En la Tabla 1, figuran los ensayos de las muestras extremas, válidos para la clasificación posterior del contenido cementante en suelo (C/S %) en muestras de columnas.

Las muestras de análisis de columnas de jet, serán un "mix", con un valor intermedio C/S % dentro de dicho rango especificado. Los resultado del análisis de muestras en prebóveda

tratada, con referencia de muestra de cemento fraguado en laboratorio C/S %, se muestran en la figura 4.b, y con la muestra de cemento fraguado en obra, según la figura 4.a, adoptando el contenido C/S = 78 %, como umbral superior $\approx 100\%$ a los efectos prácticos. Los resultados en contenido C/S % de las muestras de análisis de columnas, son mas representativas y favorables con la muestra patrón de obra, al disminuir el rango entre muestra virgen-óptimo de obra.

4 Características generales del terreno y control de mejora

La historia reciente de la zona, nos dice que la Estación de Atocha está emplazada sobre el curso de los antiguos Arroyos Carcavón y Carcavoncillo, que discurrían hacia la vaguada de actual M-30, y son un obstáculo para la obra y tratamiento de túnel proyectado.

Ambos Arroyos fueron canalizados, cambiando trayectorias con microtúneles combinado tramos de hinca ciega y/o abierta, para continuar como uso de colectores de alcantarillados (figura 3).

La zona de actuación para el futuro túnel By Pass de AVE, topográficamente se emplaza sobre una explanación de relleno artificial, que sobreeleva la plataforma respecto a las Calles del entorno sur.

4.1. Geología, características y estratigrafía del terreno en la traza del túnel

El perfil del subsuelo, se muestra en la Tabla 2, con las capas y características del terreno para la obre túnel: relleno, aluvial, y peñuela.

Profundidad (m)	Tipo de material	Características	Observaciones
de 0,00 a 12,0/15,0m	Relleno heterogéneo	flojo	Capa inestable
de 12,0/15,0m a 15,0/18,0 m	Limo arenoso (aluvial)	blando	Capa inestable
Desde 15,0/18,0 hasta 50,0m	Arcilla margosa (peñuela)	Firme a muy firme	Capa moderada en transición métrica, y auto estable en adelante.
Nivel de agua: Aparece agua en la interfase de las capas relleno-aluvial y peñuela como fondo impermeable			

Tabla 2: Perfil esquemático del subsuelo y características de excavación

Zona n°	Pk origen al Pk final	Ejes de replanteo N°	Resultados y observaciones
1	0+567 al 0+620	114 al 89	PH= 7,5-9,0 (verifica entre 7-13) Factor estabilidad F= 1-4 (< 6, verifica). El tratamiento de la prebóveda en esta zona de arcilla, en función de de los sondeos y los tantos ensayos de penetración dinámica continua, demuestra un resultado satisfactorio.
2	0+620 al 0+672	89 al 63	C/S % = 22-36 %, entre 10-14m (un caso 4 %) PH= 10 (verifica entre 7-13) F=2 (< 6, verifica). El tratamiento de la prebóveda en esta zona de arcilla, en función de de los sondeos y los tantos ensayos de penetración dinámica continua, demuestra un resultado satisfactorio.
3	0+672 al 0+724	62 al 37	C/S %= 4 -7 % PH= 9,5-12 Factor de estabilidad, F=3,3(<6, verifica). Dudosa calidad la terminación y continuidad de columnas en la zona localizada de proyección de alcantarillado del antiguo Arroyo Carcavón. se requerirá por tanto un trabajo complementario para la mejora del frente de excavación.
4	0+724 al 0+762.5	36 al 17	C/S= 37 % PH= 13 (verifica entre 7-13) Las heterogeneidades de las intrusiones y obstáculos detectados al perforar: carriles, losa de hormigón, etc; nos reflejan una incierta eficacia del tratamiento.
1 al 4	0+570 al PK 0+765	Andenes 5 y 6, y 7; vías 10-11; y entorno 8-9, y 12-13	Auscultación topográfica de precisión en superficie Auscultación topográfica de precisión en superficie fijos en superficie: pilares, vías y andenes, con secuencias de registros de lecturas horarias-diarias y semanales, en toda el área de influencia, y conociendo las tolerancias de las estructuras resistentes de marquesinas construidas, placas de hormigón y vías. La auscultación durante los trabajos, vigila y verifica los parámetros de jet aplicados, marcando y condicionando el ritmo de la metodología de jet grouting. Las deformaciones registradas en puntos fijos de andenes, y pilares del entorno, fueron de +/- 2 a 3mm, valores admisibles. La conclusión principal de la auscultación del control área del jet tipo 2 "A" en el tramo tratado PK 0+570 al PK 0+765, fue la no incidencia en la cimentación, ni en la estructura de cimentación profunda de micropilotes soportes de los pilares de marquesina baja y marquesina alta, ni en la placa de hormigón que recubre las vías 10 y 11. Este tramo de obra, no se ha visto afectada con indicios de patologías por el tratamiento del Jet tipo "2 A" aplicado.

Tabla 3. Zonificación y resultados del control de calidad, y auscultación

4.2. Malla de inyección aplicada, y prospecciones de control, laboratorio y auscultación

Para el control de la calidad de las columnas tipo Jet "2 A", se efectuó una zonificación en 4 zonas subdividida: el tramo comprendido entre PK 0+570 al PK 0+765 Figura.6, bajo las vías 10 y 11, en aproximadamente 200 m situados sobre la proyección del túnel by pass, y bajo cubierta de la estructura metálicas de marquesinas.

En la Tabla 3, se presenta la zonificación del control y auscultación, tratado con jet 2A. Los resultados son condición necesaria pero no suficiente, en caso de existir intrusionas en columnas.

5 Análisis de la estabilidad del túnel. Excavación con método Belga

La inestabilidad en el frente de excavación con método Belga, o rotura que haga que el terreno penetre en el túnel, y llegar el movimiento de corte incluso a la superficie, responde a los esquemas de la figuras adjuntas Figuras .5.a y b, en frentes de excavación con materiales homogéneos, con posibles roturas de tipo de por corte local, o bien por corte generalizado, según que la profundidad "h" desde el eje del túnel, se localice bajo superficie una distancia mayor o igual $h > 4d$, siendo "d" la altura de excavación del eje de túnel. En nuestro caso, un terreno tratado con prebóveda cementada, esta capa artificial esta creada para dar autoportancia, al futuro túnel con excavación "Belga", por fase

de frente abierto e ir ensanchando con sujeciones y entibaciones provisionales. Se considera que la prebóveda tratada con inyección de Jet o tubo manguito en zonas particulares, genera una losa superior resistente, y que con hastiales de columnas también cementados empotradas en "firme", forma un arco cerrado.

De esta forma, el tipo de modelo de rotura en el frente de excavación de túnel, sería a nuestro juicio de "tipo local".

Con los esquemas de rotura de Figuras .5.a y b, se pueden deducir las Ecs (1) y (2), que en el equilibrio límite existirá una "presión activa" en el frente del túnel Figuras .5.a.

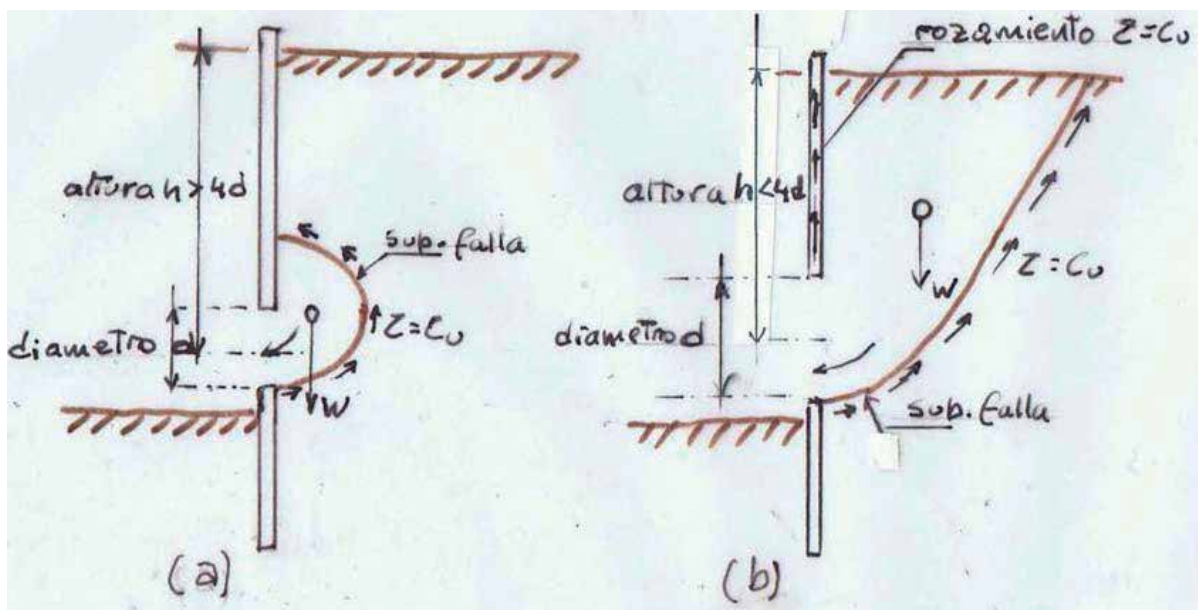
$$\sigma_a = \sigma_z - p_a - 6 C_u \quad (1)$$

$$F = [(\sigma_z - p_a) / C_u] < "6" \quad (2) \text{ (condición de estabilidad)}$$

Siendo:

- C_u resistencia al corte sin drenaje. Este parámetro resistente para la muestra de columna de Jet con cemento, fue determinado mediante un ensayo de corte rápido 60-3.800 KPa (0,6-3,8 Kg/cm²), para un estado de carga normal $\sigma_0 = 200$ KPa (2,0 Kg/cm²), valor equivalente o aproximado a la presión de recubrimiento y montera de tierras.

A partir de la anterior Ec (1), se define un Factor de estabilidad "F" = 0,53-3,8 < 6, verifica condición Ec (2). Si en Ec (2), se obtiene $F > 6$, el frente de excavación es inestable como lo acreditan medidas experimentales, realizadas por Broms y Bennemark (casos de fig.5b), para una profundidad $h < 4$.



Figs. 5a y 5b. Modelos de Rotura Local y General (Broms y Bennemark)

Control	Ensayos	Observaciones
Ensayos in situ	DPSH, N20> y "R"	Se aprecia el inicio de Columna. El rechazo se obtiene en el seno de prebóveda de jet
Testificación de sondeo La inyección de lechada, se visualiza enraizada con el terreno	
Ensayos químicos de clasificación contenido C/S %	PH entre 7 a 13	PH alto, entre 7 a 13; la referencia del máximo valor de alcalinidad PH 13.
	C/S % > 35 %	Respecto al cemento fraguado en obra, condición mas representativa
Ensayos físicos	Corte directo rápido: $\tau = 1,0-3,5$ Kg/cm ² (100-350 KPa),	Resistencia al corte no drenado: para un estado de carga normal $\sigma_0 = 2,0$ kg/cm ² (200 KPa),
	Compresión simple: $q_u = 0,80 - 3,30$ kg/cm ² (80-330 KPa),	Limitaciones de la toma de muestra in situ, tallado en laboratorio, y el proceso de fraguado incompleto de tan solo 2 semanas. El proceso necesario de fraguado de columnas de jet soterradas es de aproximadamente 2 meses o superior

Tabla 4. Resumen de ensayos de control de calidad

6 Conclusiones del control de inyecciones para mejora de excavación de Túnel

6.1 Calidad de las columnas de súper Jet. Ensayos de control

- Columnas de prueba: las columnas de prueba de jet, tienen por objeto afinar los parámetros de ejecución: presión de lechada, presión de aire, revoluciones por minuto, etc. Las columnas de prueba, al realizarse en otro emplazamiento objeto de la mejora, y en otras profundidades a nivel superficial, con otro tipo de terrenos, tuvieron una relativa y poca representatividad.

- Los ensayos de control:

a. Sondeos y Ensayos in situ y de laboratorio: en la Tabla 4, se aportan la información de la mejora de columnas de jet.

6.2 Condición de estabilidad para la futura obra de túnel; Auscultación

En la Tabla 5, se resume la condición de estabilidad, del proyecto constructivo.

Estabilidad	Tipo de estudio-control	Observaciones
Proyecto	Estudio Factor de estabilidad	$F=0,53-3,8; F < 6$
Auscultación jet tipo 2 "A" entre Pk 0+570 al 0+765	Control Topográfico de precisión	$\Delta H \pm 2$ a 3mm
		Estable rotura global $h < 4D$, si fuera homogéneo. Al estar el túnel tratado, inicial rotura local, combinado con rotura general
		Control Pilares andén 5 y 6; Vías 10 y 11; Vía 9; Vías 12, con deformaciones registradas en puntos fijos de valores admisibles. < 3mm requisito de ADIF, Administración de Infraestructura de Ferrocarriles.

Tabla 5. Factor de estabilidad, y auscultación

Se ha verificado la no incidencia desfavorable en la estructura resistente, ni en la cimentación construida de micropilotes soportes de pilares estructuras marquesinas del entorno. La placa de hormigón que recubre la zona de actuación entre las vías 10 y 11, tampoco se ha visto afectada con indicios de patologías por el tratamiento del Jet tipo "2 A" aplicado, y se evito así la sustitución de proyecto. El Jet Grouting tiene un "alto" riesgo en obras urbana, siendo imprescindible el control de auscultación en el entorno construido; la metodología de inyección, y control aplicado, adaptado para dominar incidencias.

La construcción del túnel by pass, se construyo a posterior durante los años 2012/13, y se pudo comprobar la veracidad de las conclusiones y recomendaciones, junto a las limitaciones del terreno tratado y descrito en la zonificación del trabajo específico para la obra estudiada.

En síntesis, el control y resultados obtenidos, en particular del contenido C/S %, y de auscultación estructural-geotécnica, demuestran que tanto la inyección de columnas Jet Grouting de gran diámetro tipo 2A, como la metodología integral aplicada para reflejar la calidad de mejora, fue adecuada, y sin incidencias en el entorno construido. ☺

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de compañeros de la UTE Dragados-Tecsa, Remodelación Estación de Atocha 2º Fase, que apoyaron y estimularon a la Unidad de Auscultación y control geotécnico, responsable del trabajo para la obra.

Al compañero Antonio Santos (CEDEX), por los buenos consejos y estímulo recibido en trabajos de inyección, para hacer innovaciones de control de calidad, una investigación práctica de obras. ☺

REFERENCIAS

[1] Norma UNE-EN 196-2. Parte 2: Análisis químicos de cemento, cap. 9 Determinación del residuo insoluble.

[2] Quality control of jet grouting on the Cairo Metro. J Morey and D.W. Campo (1990).