SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERIA GEOTECNICA

ASOCIACIÓN DE EMPRESAS DE LA TECNOLOGÍA DEL SUELO Y SUBSUELO

Jornadas sobre:

OBRAS DE INTERÉS GEOTÉCNICO EJECUTADAS POR CONSTRUCTORES ESPAÑOLES

ESTACIÓN VALPARADÍS EN PROLONGACIÓN DE LÍNEA DE FGC A TERRASSA (BARCELONA)

ESTABILIZACIÓN DE PANTALLAS CON ANCLAJES PERMANENTES DE CABLES PROTEGIDOS CON RESINA EPOXI

Juan Carlos Novarece Puente
Ingeniero de Minas

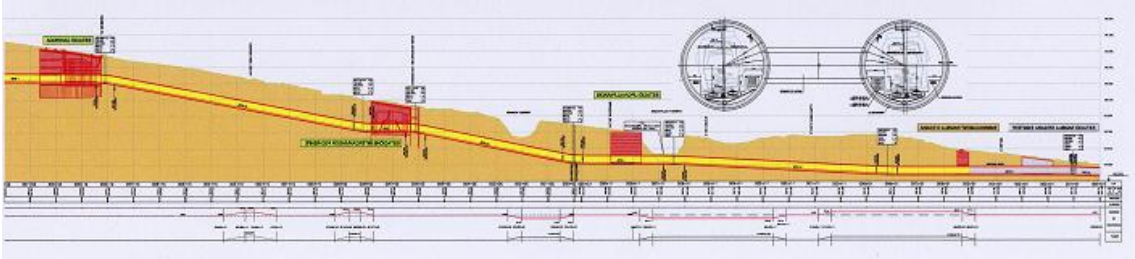
5 de Junio de 2012

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OBRAS
3. GEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS
4. DISEÑO DE LOS ANCLAJES
5. DESCRIPCIÓN DE LOS CABLES
6. PROCESO CONSTRUCTIVO
7. SEGUIMIENTO Y CONTROL
8. RESUMEN Y CONCLUSIONES
9. FICHA TÉCNICA

INTRODUCCIÓN

Dentro del Gran Proyecto de Ampliación de la red de trenes de cercanías del área metropolitana de Barcelona y su zona de influencia, los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya (FGC) ejecutan la prolongación de la línea de trenes a Terrassa y dotan a la ciudad con tres nuevas estaciones urbanas subterráneas, constituyendo una verdadera línea de metro propia que une y comunica la ciudad con los nuevos tramos Rambla de Egara –Valparadis - Can Roca.

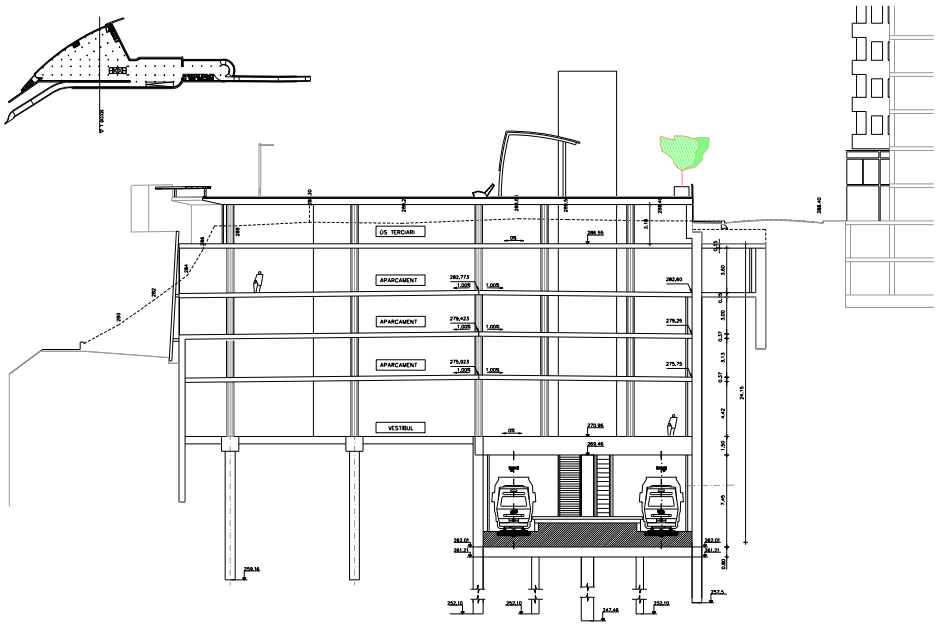


Perfil longitudinal tren Terrassa

Para ello se ejecutaron dos nuevos túneles paralelos de unos 5 km de extensión con sendas tuneladoras TBM tipo EPB de 6,82 metros de diámetro.

Lo que nos ocupa en esta presentación es la estabilización de las pantallas de excavación para la construcción de la nueva Estación de UPC-Valparadís, donde los dos nuevos túneles llegan a un vestíbulo enterrado de grandes dimensiones en una 5ta planta por debajo de la Avenida Jacquard y la Plaza de los Derechos Humanos de la ciudad de Terrassa. Originalmente el vestíbulo se encontraba en una 6ta planta subterránea. Para hacer coincidir los forjados con los sucesivos y aprovechar varias plantas como aparcamientos subterráneos, demandó eliminar el forjado correspondiente al vestíbulo, ganando éste mayor altura, y replantear los anclajes provisionales en anclajes permanentes, ya que estos estarán sometidos durante su larga vida útil al ataque de corrientes eléctricas parásitas presentes en el terreno producidas por el paso de los trenes, así como de mayores cargas. En el nuevo diseño y proyecto modificado, se incorporaron nuevos materiales, que no habían sido utilizados hasta el momento en este tipo de trabajos, haciendo factible, más seguro y práctico este tipo de refuerzos.

De lo que se trata, es de la utilización de “cables de acero en los anclajes donde los hilos y el cordón se encuentran revestidos y protegidos con resina Epoxi”, que los hacen inoxidables de forma segura, fáciles de manipular, y por el menor volumen que ocupan permiten utilizar un mayor número de cordones para soportar cargas más elevadas.



Sección Transversal Estación UPC-Valparadís

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS OBRAS

Trazado de Prolongación de la línea de FGC a Terrassa

Problemas presentes

La línea de los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya (FGC) con destino a Terrassa y origen en la Plaza Catalunya de Barcelona, discurre en un tronco común que finaliza en la ciudad de Sant Cugat, donde se bifurca en dos ramales, uno en dirección a la ciudad de Sabadell y el otro en dirección a la ciudad de Terrassa.

La línea de FGC en Terrassa no cubría toda la ciudad, motivo por el cual se proyecta esta prolongación a las nuevas zonas de crecimiento del norte de la ciudad, finalizando en la estación de *Can Roca.*

La prolongación se inicia en la estación de *Terrassa-Rambla Egara* (última estación de la línea de FGC existente hasta el momento) y continúa con dos estaciones intermedias antes de llegar al final de la línea, en la mencionada estación de *Can Roca*. Estas dos estaciones intermedias son las de *UPC-Vallparadís*, que dará servicio a una zona con gran demanda debido a la proximidad de la zona universitaria, y la estación *del Norte*, que incorpora un intercambiador con la línea existente de cercanías de RENFE.

La empresa Gestión de Infraestructuras S.A. (GISA) encargó la redacción del "Proyecto Constructivo de la Prolongación de la línea de Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya (FGC) a Terrassa", que se redactó en mayo de 2003. Posteriormente se hacen modificaciones en agosto de 2005 (Proyecto Modificado M1) y en Julio de 2006 (Proyecto Modificado M2), que motiva el presente trabajo informativo y divulgativo.

Las obras de construcción se adjudicaron a la unión temporal de empresas Guinovart & OSH,SA y COPISA (UTE FGC TERRASSA).

Descripción de las modificaciones introducidas

El conjunto de modificaciones del Proyecto M2 respecto del Proyecto original y posteriores, se detalla a continuación:

Se acuerda entre la Generalitat y el Ayuntamiento de Terrassa de ocupar la primera planta de la estación de UPC-Vallparadís con un futuro Museo, y dedicar la segunda, tercera y cuarta plantas para aparcamientos, mientras que la quinta planta es mantenida como vestíbulo de la estación en la zona de la Avenida Jacquard y la Plaza de los Derechos Humanos. De este modo la estructura de 4 plantas subterráneas prevista en el proyecto, a construir bajo la calle Salmerón, no resulta necesaria.

Vista de la estructura de la estación UPC-Valparadís durante la construcción

De la estructura de 4 plantas prevista en la calle Salmerón es mantenido un primer tramo de unos 45 metros de longitud desde el límite con la Avenida Jacquard, para

permitir los acceso de vehículos y viandantes, ventilaciones y completar el número de plazas de aparcamiento hasta 304 unidades.

Dado que en el tramo de la avenida Jacquard estaban previstas 6 plantas de subterráneo por sobre la planta de andenes, y en la zona de la plaza de los Derechos Humanos 5 plantas, la rasante de los diferentes forjados no tenia siempre continuidad.

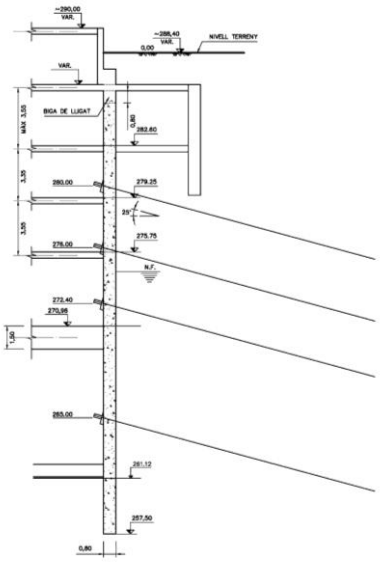
Para aprovechar el conjunto con los aparcamientos se redistribuyeron los forjados de manera que coincidieran en las tres zona (Derechos Humanos, Jacquard y Salmerón), lo cual implicaba numerosos cambios respecte del proyecto inicial.

Soluciones adoptadas

Los cambios y soluciones para los problemas planteados son los siguientes:

- Redistribución de los forjados para unificar los niveles en las 5 plantas y andenes de la estación en Avenida Jacquard y Plaza de los Derechos Humanos, manteniendo 4 plantas en la calle Salmerón.
- Modificación de la cota de máxima excavación en el tramo de la calle Salmerón.
- Recalculo de los muros pantalla y redistribución de los anclajes con las nuevas hipótesis de situación de los forjados y de máxima excavación. En el recalculo de las pantallas de la avenida Jacquard con un forjado menos se vio la necesidad de dejar en servicio los anclajes de la fila inferior situados en la planta de andenes, para evitar esfuerzos en la pantalla, incompatibles con las armaduras construidas. **Por lo tanto la última fila de anclajes en los muros pantalla de la avenida Jacquard y en los muros tipo IV se cambiaron a anclajes permanentes.**
- Nueva rampa de accesos al aparcamiento y rediseño de accesos de viandantes y ventilaciones.
- Redistribución de las plazas de aparcamiento y circulación de vehículos en la nueva zona de la plaza de los Derechos Humanos, para previsión de usos terciarios.
- Nuevos accesos a la planta superior del Museo, quedando dividida en dos sectores por la presencia de la red de servicios de la primera planta subterránea.
- Urbanización de la calle Salmerón sin el condicionante de la losa de cobertura del aparcamiento y la reconsideración del Museo.

Protección suplementaria de los anclajes permanentes



Distribución de las filas de anclajes en las pantallas de la estación de UPC-Valparadís

Los anclajes permanentes de la tercera y cuarta fila de muros tipo IV, la última fila del muro tipo V y los nuevos anclajes permanentes de los muros de la zona de la Avenida Jacquard, los cuales se sitúan bajo el nivel freático, se diseñaron con una **protección adicional de los cordones de acero de 0,6" a base de resina epoxi. También se ha previsto nuevos elementos de aislamiento de las cabezas de los anclajes para evitar que se vean afectados por las corrientes eléctricas parásitas presentes en el terreno y generada por el paso de los trenes.**

Modificación del sistema constructivo

A fin de mejorar las condiciones de equilibrio de las pantallas en la zona de la estación de Vallparadís, en el Proyecto M1 se introdujo una modificación en la contención sucesiva de las pantallas en la fase de excavación descendente, previsto en principio con cinco filas de anclajes, sustituyendo una de las filas por una losa maciza de hormigón de 1,50 metros de canto que corresponde al techo de la estación, de manera que se dota a la pantalla de un punto de soporte de rigidéz, la cual contribuye a limitar los movimentos, y por otra parte, aporta una reacción de gran magnitud difícil de materializar con los anclajes.

Distribución anclajes ejecutados descendentes y última fila de resina Epoxi

Seguimiento

Instalación de una célula de carga en un anclaje permanente de resina Epoxi

Se implanta de un sistema de auscultación de las pantallas y edificios próximos para llevar a cabo un seguimiento continuo de posibles movimientos durante los trabajos, así como de control de la carga de los anclajes permanentes con células de carga.

Plan de trabajos

El total de las obras del proyecto modificado y que se describen en el presente artículo se realizaron durante los años 2007 y 2008.

GEOLOGÍA Y CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

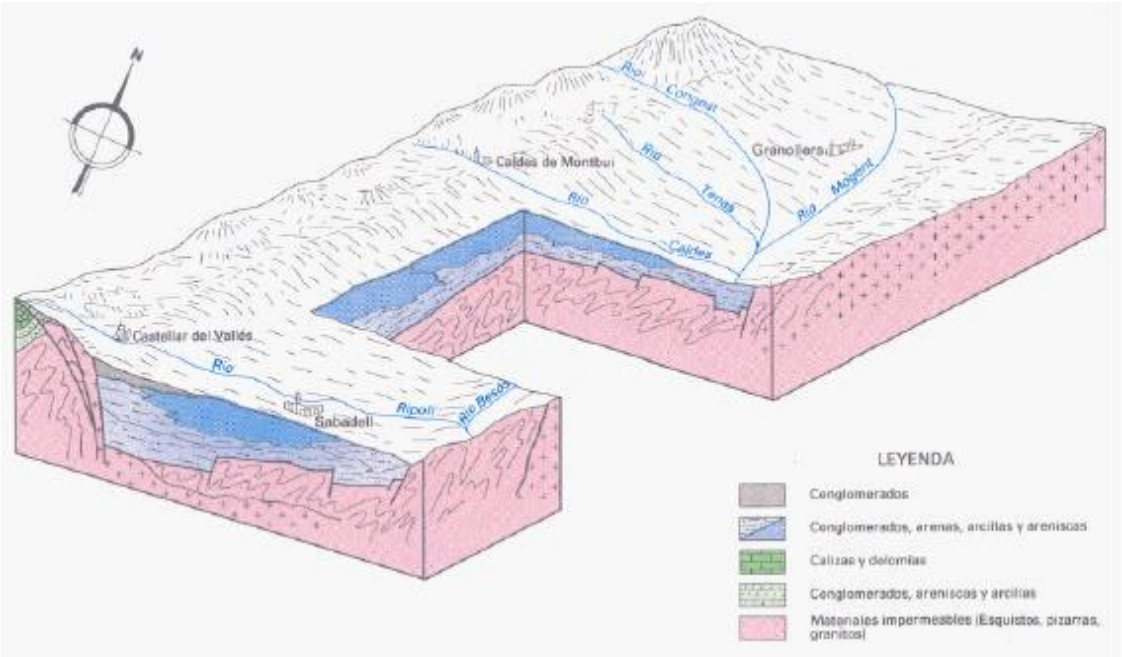
La zona de las obras se encuentra englobada geográficamente dentro de la depresión del Vallès-Penedès, que tiene una dirección suroeste-noreste, paralela a la costa del Mediterráneo. Esta depresión constituye una fosa tectónica formada durante la orogenia Alpina con depósitos de la fase Oligocena-Miocena, constituida predominantemente por sedimentos continentales recubiertos de materiales Cuaternarios de origen fluvio-torrencial (aluviales) y de pié de monte (coluviales).

GEOLOGIA DE LA ZONA DE LAS OBRAS

La estación UPC-Valparadís está caracterizada por la presencia de un zócalo de edad Miocena, formada principalmente por lutitas y areniscas, con niveles de pizarras, cuarcitas, rocas porfídicas, calcarenitas y calizas con abundante matriz areno-arcilllosa. Las capas tienen forma lenticular con estratificación cruzada de fuerte ángulo, con potencias de 50 a 75 metros.

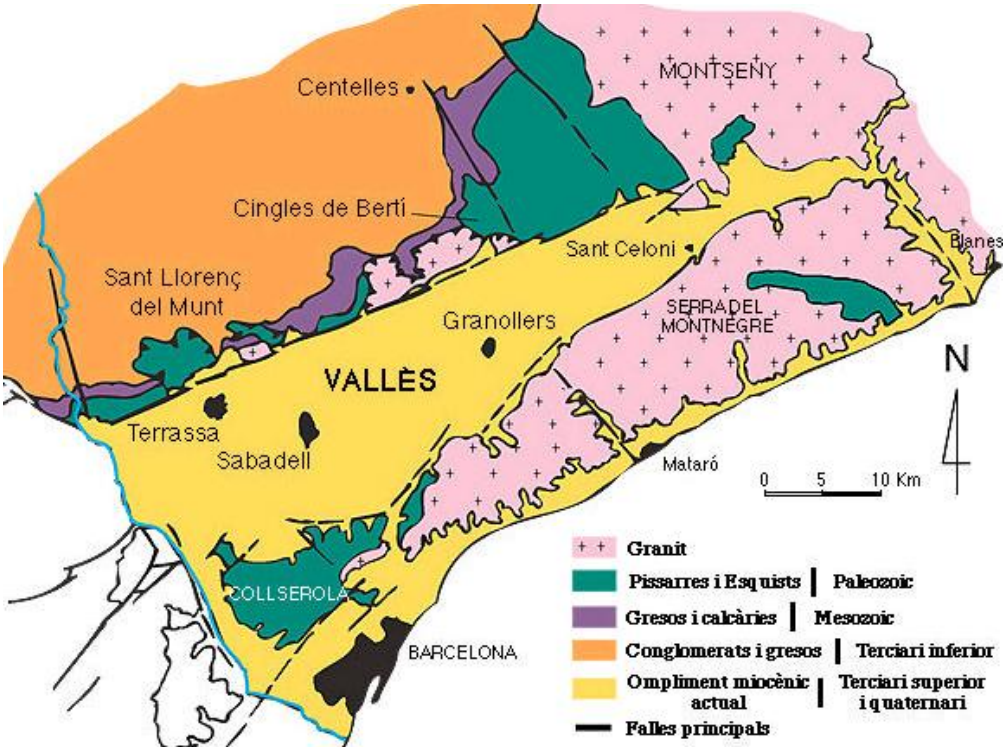
Por encima del zócalo Terciario se encuentran las facies Cuaternarias formadas por gravas y bloques en matriz arcillosa, gravas en matriz limosa y arcillas y limos del Pleistoceno, provenientes de la erosión de Sierra Prelitoral Catalana.

También se encuentra en la zona, en la parte superior de la columna estratigráfica, depósitos actuales de rieras y torrentes constituidos por limos con cierto contenido de gravas finas que pueden presentar una cierta cementación de carbonato cálcico.



TECTÒNICA Y SISMICIDAD

La Depresión del Vallès-Penedès es una fosa tectónica alargada de más de 100 km de longitud y 12 a 14 km de ancho, formada en la fase distensiva que se inicia en el Mioceno y que afecta la Sierra Costanera Catalana con fallas longitudinales (Terrassa) y transversales (Llobregat) con salto vertical máximo de 4 km. La sismicidad de la zona del proyecto es considerada en los códigos de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 500 años como de intensidad moderada, y se le asigna los grados VI-VII.



HIDROLOGÍA

Desde el punto de vista hidrogeológico, la localización de los niveles freáticos de la zona de la obras se encuentra en los depósitos cuaternarios de origen aluvial y coluvial, y en los materiales del Mioceno del tipo arcillas-arenosas.

Los valores de transmisividad de los estratos arcillosos-arenosos no superan los 30 m2/día, con un coeficiente de almacenamiento del 5%, pudiendo alcanzar caudales mínimos de 5 lts/seg y máximos de 80 lts/seg. En general las aguas subterráneas en la zona se encuentran en lentes dendríticos y presentan una calidad aceptable con una salinidad media a baja.

La red hidrográfica superficial del término municipal de Terrassa, de 74 km2, está condicionada por su orografía y su situación geográfica, con torrentes y rieras provenientes de la sierra, en general secos y permeables, alimentados por fuertes lluvias estacionales.

GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA DE LA ESTACIÓN UPC-VALPARADÍS

En la zona donde se encuentra la Estación de UPC-Valparadís de FGC, se presenta un sustrato formado por lutitas y arcilitas del Mioceno a una profundidad entre 16 y 23 metros. Sobre este se sobrepone una cobertura de depósitos del Cuaternario, formados

por arcillas con arenas y gravas, y arenas arcillosas. En superficie se disponen materiales recientes de rellenos antrópicos y suelos vegetales.

- *Depósitos de origen Antrópico*. Actuales, con espesor de 1,5 a 2 metros, compuestos por limos arenosos y arcillosos con gravas, composición variable y similares al producto de los depósitos Cuaternarios adyacentes totalmente consolidados.
- *Depósitos de origen Cuaternarios*. Son depósitos de riera con espesor de unos 20 metros, compuestos por arenas medias a gruesas. El Cuaternario es arcilloso, presenta localmente niveles granulares, de limos con niveles de arcilla, de arenas con gravas dispersas, y nódulos de carbonato.
- *Depósitos Terciarios del Mioceno*. Con espesor medio de 5-12 metros, compuestos por gravas en matriz arcillosa y limosa.

Capa	Espesor(m)	Unidad	Densidad (t/m^3)	Cohesión (t/m^2)	Angulo de fricción (º)	Coeficiente de balasto (t/m^3)
1	2,6	Q_A	2,14	2,8	29	2.000
2	3,5	Q_G	2,13	1,75	34	2.000
3	14,5	Q_A-M_A	2,20	3,5	29	3.000
4	9,0	M_G	2,15	2,8	33	3.000

Tabla con parámetros geotécnicos medio de la zona de la estación Valparadís

Los niveles piezométrico en la zona de la estación se sitúan entre 12 y 13 metros.

DISEÑO DE LOS ANCLAJES

CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL ANCLAJE

El objetivo es establecer los criterios considerados para el diseño de los anclajes RS.

1- Placa de anclaje

- Debe resistir sin deformaciones plásticas una carga de anclaje igual al 100% de la carga de rotura del conjunto de cordones que forman su tendón resistente:
  - comprobación a flexión en el centro de la placa.
  - comprobación a cortante en los círculos donde se posicionan los conos.
  - comprobación de la presión de apoyo.
  - comprobación de los espesores entre conos cercanos.
- Las distancias entre conos deben:
  - evitar el contacto entre cuñas.
  - asegurar unas distancias mínimas entre cordones o paredes de las bases de apoyo.
- Debe estar adaptada al marco de apoyo del gato de tesado.
- Debe permitir el “destesado” unitario de los cordones.

Placa de anclaje retesable de 6 cordones ECS

Cuñas de anclaje para cordones ECS

2- Cuñas

- Deben ser capaces de resistir cargas iguales, al menos, al 95% de la carga de rotura del cordón.
- Deben permitir un cierto número de “retesados” sin daños en sus dientes.

3- Base de apoyo

- Para una carga de anclaje igual a la de rotura de los cordones:
  - deben transmitir al hormigón una compresión máxima de 250 kg/cm2.
  - no deben plastificar en ningún punto.
- Deben tener un tratamiento anticorrosivo superficial constituido por un galvanizado en caliente.
- Deben tener solidez suficiente para resistir las cargas de tesado con un “coeficiente de seguridad” (de 1,50) cuando se apoyan en sus tres cuartas partes.
- Deben permitir el paso del tendón del anclaje sin provocar rozamientos o cambios de curvatura de los cordones.

Vista de placas de reparto o bases de apoyo

4- Caperuza de protección

- Debe recubrir con holgura las placas de anclaje roscadas y permitir, en el futuro, la instalación de tuercas de retesado alrededor de las placas de anclaje.
- Debe fijarse a la base de apoyo mediante tornillos.
- Deben tener un tratamiento anticorrosivo superficial constituido por un galvanizado en caliente.

5- Junta de la caperuza de protección.

- Debe tener elasticidad para comprimirse ligeramente al apretar los tornillos de la caperuza y asegurar el perfecto sellado de la misma.

Caperuza de protección galvanizada y junta de estanqueidad

5- Protección del extremo del anclaje

- Debe proteger la punta de los cordones (extremo de zona de bulbo) donde se ha producido el corte del acero, donde queda sin protección de Resina Epoxi.
- Debe evitar el contacto con el terreno.

7- Protección de la zona libre

- Debe aislar de la zona de sellado.
- Debe asegurar la estanqueidad de la zona libre.

Protección del extremo de los cordones

Aislamiento estanco de la zona libre

8- Protección de la cabeza del anclaje

Aislamiento del contacto zona libre placa

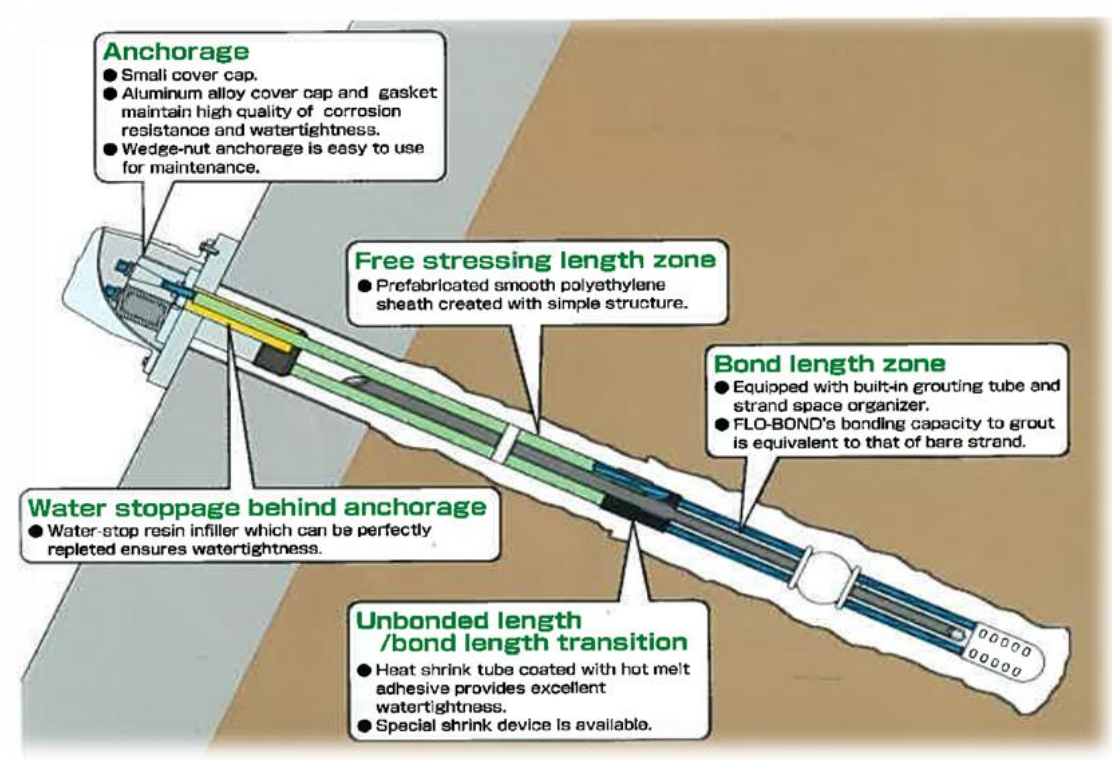
Protección con grasa de cabeza de tesado

- Debe aislar y hacer estanca la cabeza del anclaje.
- Debe proteger y aislar el extremo de los cordones sin protección de Resina Epoxi por el corte del cable de acero.

Aislamiento de portacuñas

Protección cabeza con caperuza galvanizada

9- Partes y esquema del anclaje

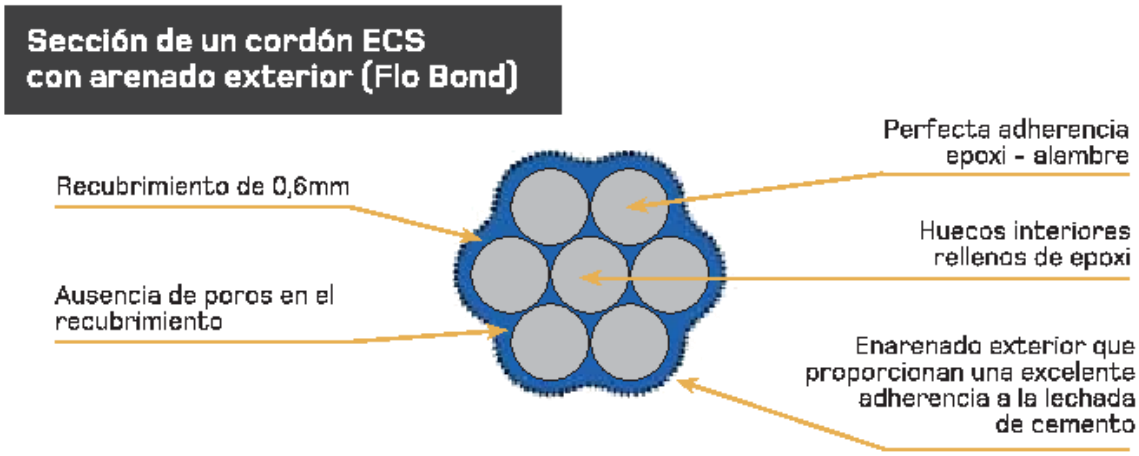


DESCRIPCIÓN DE LOS CORDONES DE ACERO

La característica principal que se debía preponderar para la fabricación de los anclajes era su durabilidad en el tiempo para hacerlos previsibles y facilitar su conservación. Por lo tanto, el principal fenómeno que acorta la vida útil es la corrosión de las partes metálicas, especialmente acelerada cuando los elementos tensionados están sometidos a la acción del agua, la agresividad del suelo y/o sometidos a corrientes eléctricas directas o parásitas.

Un sistema eficaz desarrollado en Japón para evitar la corrosión y aumentar la vida útil minimizando los gastos de conservación y mantenimiento, es el de recubrir

exteriormente todos los alambres de cada cordón con una capa protectora de resina epoxi, denominados por esto como cordones auto-protegidos con epoxi, o sus siglas en inglés ECS (Epoxi Coated Strands).



Mecanizado de abertura de los hilos

Cable con sus hilos revestidos de Epoxi

Estos tipos de cables de acero son fabricados bajo estrictos controles de calidad durante su producción que garantizan la continuidad y homogeneidad del recubrimiento Epoxi, especialmente adaptado a las características de trabajo de los cables.

Las Resinas Epoxi poseen una excelente cualidad como elemento de recubrimiento muy resiste, principalmente al ataque químico, y con conductividad eléctrica nula, por lo que se puede decir que los elementos así protegidos son inoxidables, y como son elementos estables cumplen todas las medidas medioambientales.

Los cables son ensayados por el fabricante en laboratorio y en el terreno para corroborar su comportamiento a:

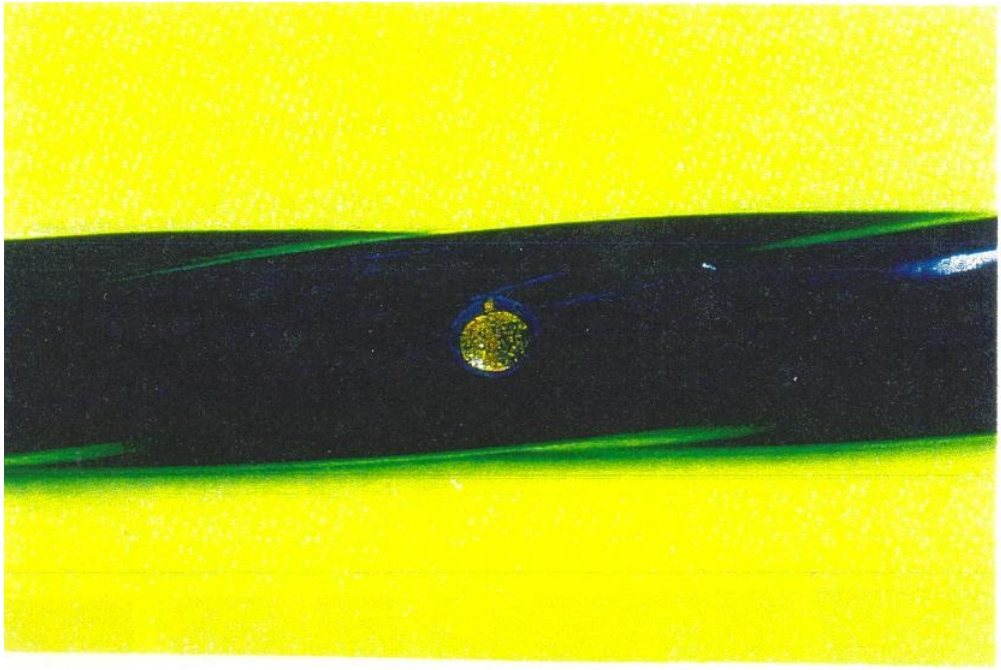
- Adherencia de la resina epoxi a rotura.
- Anclaje de las cuñas especiales al revestimiento.
- Fisuras del recubrimiento en ensayo de doblado.
- Fisuras del recubrimiento en ensayo de tracción.
- Ataque químico bajo tensión.

- Exposición al terreno bajo tensión.
- Comportamiento a baja temperatura.
- Exposición a los rayos solares.

El control de la continuidad del recubrimiento se realiza deslizando unas escobillas sobre toda la superficie lateral del cordón y controlando que el recubrimiento ofrece un permanente aislamiento eléctrico.

Todo tipo de controles sobre los cables fabricados son realizados tanto en laboratorio, en fábrica como en el campo, cubriendo los requisitos técnicos internacionales, y contando actualmente con 20 años de experimentación en ensayos de envejecimiento.

Uno de los ensayos realizados sobre discontinuidades en el recubrimiento es el que estudia lo que sucedería si se produjese por algún motivo accidental, una falta de recubrimiento en la protección del cordón. En dicho ensayo se descubrieron superficies con un diámetro de 6 mm (lo que significa un descubrimiento accidental muy grande) y se sometieron las muestras a ensayos de oxidación. Se verificó que la superficie expuesta se oxida, pero que la oxidación se detiene en los puntos de contacto con el recubrimiento Epoxi, sin aumentar de tamaño ni lateralmente ni en profundidad. Se verifica también que el recubrimiento en contacto con la zona oxidada permanece en perfecto estado sin quedar afectado en ninguna forma por la zona oxidada.



Ensayo de oxidación en discontinuidad del revestimiento Epoxi

En el momento del tensado, el clavado de las cuñas produce asientos iniciales por incrustamiento en la capa de resina, antes que los dientes de la cuña muerdan el cable de acero. Si el cable continúa a ser tensado, a continuación, la cuña comienza a morder el acero y se transmite la carga a la placa de anclaje.

El mecanismo del acuñado transforma la carga axial del cable en cargas transversales, para permitir el acuñamiento de las superficies laterales. Estas cargas transversales hacen que los dientes de la cuña interior muerda la superficie del cable de acero. Como consecuencia de estas hendiduras, los diámetros iniciales de cada cuña se reducen, y el conjunto de cuña-cable penetra más profundamente en el interior del cono de la placa de anclaje (por efecto de asiento de la cuña).

El asiento de la cuña aumenta casi proporcionalmente al aumento de la aplicación de la carga hasta que se alcanza la carga de servicio y se clava el conjunto de anclaje.

El movimiento por asientos de la cuña es más grande en los anclajes Epoxi (CES) que en con cables de acero estándar desnudos.

Como regla general se puede considerar que los valores de asiento de las cuñas en los anclajes de cables CES, es el doble que en los cables de anclajes estándar desnudos.

El espesor mínimo de revestimiento Epoxi en el contorno de los cables de acero de cordones SEI CES es de 0,4 mm (400 micras).

El Departamento de Carreteras de Japón ha considerado después de múltiples pruebas y experiencias con diferentes espesores de revestimiento con resina que, una capa de espesor de 400 micras CES ofrece cobertura suficiente al cordón para asegurar la durabilidad de la protección después de la instalación en tierra, y mismo para las operaciones de colocación y tensado de los anclaje con cables CES.

Mordida de la cuña en la resina hasta marcar el acero del cable

PROCESO CONSTRUCTIVO

Los trabajos de anclajes al terreno en las pantallas de la estación de UPC-Valparadís de FGC y en particular los anclajes permanentes con cables ECS se realizaron entre mediados de 2007 y mediados de 2008.

El sistema de perforación elegido fue de rotopercusión a doble tren con martillo de fondo BR-4 con revestimiento continuo del taladro en toda su longitud. La tubería de revestimiento utilizada fue de diámetro exterior 152 mm en tramos de 2 metros con utilización de corona de corte de widia. En el martillo de fondo se utilizó un tallante de botones de widia de 124 mm accionado por aire comprimido. Como fluido de perforación y limpieza del “cutting” se utilizó circulación continua directa de agua a presión.

Para la ejecución de las perforaciones se eligieron máquinas con desplazamiento sobre orugas, de accionamiento hidráulico, motor de explosión diesel, y corredera guía mínima de 7 metros, similar a las fotos siguientes.

Perforación con máquina Casagrande de anclaje a 25º

El replanteo de los taladros se realizó topográficamente con posicionamiento de los puntos sobre las pantallas, las cuales se cortaban previamente con corona de corte diamantada en 180 mm de diámetro con la orientación perpendicular al eje de la pantalla y la inclinación correspondiente, entre 25 y 30º.

El procedimiento seguido en la ejecución fue el siguiente:

- Posicionamiento y verificación del equipo de perforación.
- Perforación a doble tren con revestimiento total del taladro.
- Retirada del varillaje y martillo de perforación.
- Colocación del anclaje con armadura de cables de acero protegidos con resina epoxi (ECS).
- Inyección (IGU) del taladro por el tubo central con salida por el fondo y recirculación hasta la superficie o baca de la perforación.
- Retirada de la tubería de revestimiento del taladro.
- Sellado del espacio anular entre el anclaje y la pantalla de hormigón.
- Reinyección hasta purga por latiguillo de ventilación y cierre por estrangulamiento a 2-3 Bar de presión de rechazo.
- Lechada de inyección utilizada, a base de cemento portland normal con relación agua-cemento igual a 1.
- Presión de inyección máxima 2-3 Bar, caudal máximo 800 lts/hora hasta alcanzar el llenado y vertido por la boca de la perforación y/o latiguillo de ventilación.
- El control de los parámetros de inyección se realizó de forma directa sobre la bomba con manómetro y sobre la conducción con un caudalímetro, mientras que el volumen se medía sobre la mezcladora de lechadas de cemento con regleta adherida a la agitadora.

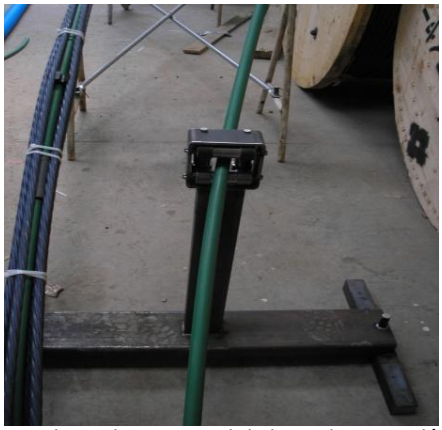
Colocación del anclaje

Inyección del anclaje

Fabricación del anclaje:

Los anclajes se fabricaron en los almacenes de Site en Barcelona en una línea de producción propia siguiendo los procedimientos establecidos por el fabricante de los cordones ECS, enrollados y atados para el transporte a obra siguiendo el siguiente procedimiento:

- Corte de los cordones con las longitudes correspondiente a la zona de colocación y geometría del proyecto.
- Corte y retirada de tubo de protección para crear la zona libre.
- Sellado de la zona libre con manguitos termoretráctiles.
- Colocación de separadores de cables y mordazas de atado del conjunto.
- Colocación y sellado de punta del anclaje.
- Colocación de conductos de inyección.
- Enrrollado y atado para transporte a obra.


Corte de cordones y recubrimiento de protección

Sellado estanco de zona libre con manguitos termorretractil

Colocación de separadores y mordazas de atado

Colocación de punta protectora estanca

Enrollado e identificación del anclaje terminado para transporte a obra

Colocación e inyección del anclaje:

Para la colocación de los anclajes en la perforación se tenía especial cuidado para no rayar en demasía los cordones protegidos con Epoxi. El mismo cuidado se tenía para las operaciones de carga, transporte a obra y descarga, así como para la manipulación de desenrollado y presentación en la boca de la perforación.

Desenrollado del anclaje en obra para su colocación

Colocación e inyección de un anclaje

La inyección se realizaba una vez colocado el anclaje en la perforación por el tubo interior del anclaje hasta la salida por la boca de la perforación.

Colocación de la placa y cabeza porta-cuñas:

Las placas de reparto se fabricaron con doble base rectangular y plana de 250 mm y 30 mm de espesor, doble cartela con inclinación de 25º y tubo pasante soldado a las placas para emboquille. El aislamiento y conexión con los cordones se realizaba con cápsula de neopreno adaptada al tubo de la placa y al diámetro de los cordones revestidos.
Las cabezas porta-cuñas para 6, 7, 9 y 10 cordones fueron roscadas para permitir el retesado y comprobación de la carga de los anclajes durante su vida útil.

Colocación de las placas de reparto estancas y cabeza porta-cuñas roscada

Tesado de los anclajes y protección de la cabeza:

El tesado de todos los anclajes se realizó con gato multifilar Stronghold G3-200 y G3-300 con medición de cargas por escalones con manómetro calibrado y desplazamientos con comparadores mecánicos y electrónicos de medición milimétrica, y calibrados.

Tesado de anclaje con gato multifilar y protección de la cabeza con caperuza galvanizada

El espacio anular de las placas de reparto entre cartelas se rellenó con espuma sintética expandida y las cabezas porta-cuñas se protegían con un revestimiento de polietileno relleno de grasa.

Finalmente las cabezas de los anclajes se cubrían con caperuza de chapa galvanizada fijada a la placa con tornillos y junta estanca de goma.

SEGUIMIENTO Y CONTROL

Para el seguimiento y control de los trabajos de estabilización de las pantallas de sostenimiento de las excavaciones en la construcción de la estación de UPC-Valparadís de Terrassa con anclajes permanentes al terreno, así como del comportamiento de dichos anclajes instalados en el terreno, y el mantenimiento a lo largo del tiempo de los mismos, se realizaron ensayos de comprobación sobre los elementos de soporte, se instalaron varias secciones de auscultación geotécnica y topográfica con dispositivos de instrumentación.

Los principales ensayos realizados e instrumentación instalada constó de:

- Ensayo de continuidad del revestimiento Epoxi.
- Ensayo de desgaste por rozamiento del revestimiento Epoxi.
- Ensayo de aislamiento eléctrico del revestimiento Epoxi.
- Ensayo de arrancamiento de anclaje al terreno.
- Ensayo de idoneidad de anclaje construido.
- Ensayo de carga simple sobre todos los anclajes instalados.
- Seguimiento del comportamiento con células anular de carga.
- Control topográfico de los movimientos de las pantallas ancladas.

Ensayo de continuidad:

Se realizaron en la fábrica (Site) con los materiales utilizados en la obra, y con cables de 0,6” de diámetro revestidos con 400 micras de Epoxi (ECS), con el objetivo de verificar la continuidad de la capa de revestimiento Epoxi en toda la longitud de los cordones recibidos de la fábrica de producción (Japón), si bien estas comprobaciones se realizan antes de la salida de fábrica (Japón) de forma continua y sobre la totalidad de los cordones fabricados ECS.

Se ensayó sobre 30 m de cable elegido aleatoriamente sumergiéndolo en agua y midiendo el paso de una corriente eléctrica en diferentes circunstancias. El resultado fue

concluyente asegurando un total aislamiento del cordón (no se presentan los resultados por no formar parte de esta exposición).

Medición de la continuidad del revestimiento Epoxi con una corriente eléctrica

Ensayo de desgaste por rozamiento:

Se realizaron en la fábrica (Site) con los materiales utilizados en la obra, y con cables de 0,6” de diámetro revestidos con 400 micras de Epoxi (ECS), con el objetivo de verificar el desgaste de la capa de revestimiento Epoxi al ser arrastrada por un terreno rugoso similar al que se puede dar con la manipulación y transporte desde los almacenes a la obra, y la instalación del anclaje en el interior de la perforación.

Medición de la continuidad eléctrica de un anclaje desgastado

Se ensayó sobre cable elegido aleatoriamente del que se fabricó un tramo de anclaje de 6 cordones para medir fundamentalmente la pérdida de protección contra la corrosión y aumento de la conductividad eléctrica por disminución o rotura de la capa de revestimiento. A esta muestra de anclaje se la sometió a caída libre sobre superficie de hormigón y sobre tierra, se la arrastró sobre las mismas superficies en condiciones seca y mojada, midiendo el paso de una corriente eléctrica en las diferentes circunstancias. El

resultado fue concluyente asegurando un total aislamiento del cordón (no se presentan los resultados por no formar parte de esta exposición). Los ensayos indican que la protección de Epoxi de los cordones de acero ha soportado todas las pruebas programadas manteniendo intacta su capacidad de protección y proporcionando siempre el completo aislamiento adecuado tanto a la oxidación como a los flujos.

Ensayos de puesta en carga de anclajes al terreno:

El objetivo de las pruebas de carga en anclajes al terreno es la comprobación de su capacidad soporte y la caracterización de la respuesta del terreno. Este procedimiento se refiere a los ensayos de arrancamiento, idoneidad y de puesta en tensión simple, que permiten comprobar el diseño y la ejecución del anclaje para sustentar las cargas previstas en el proyecto y en el terreno específico de la obra.

Realización de ensayo de arrancamiento (izquierda) y de idoneidad (derecha) sobre anclajes definitivos

La carga máxima introducida en el anclaje durante estas pruebas no superó en ningún caso el 80% de la carga de rotura del tendón de acero. Los anclajes en los que se realizaron los ensayos de idoneidad, salvo de no superar dichos ensayos, se utilizaron como anclajes definitivos del proyecto.

Seguimiento y control de los anclajes:

Célula de carga en anclaje permanente de epoxi con cabeza retesable

Para el control y seguimiento de las pantallas de sostenimiento ancladas durante la fase de excavación y posteriormente, durante la vida útil de la estructura, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

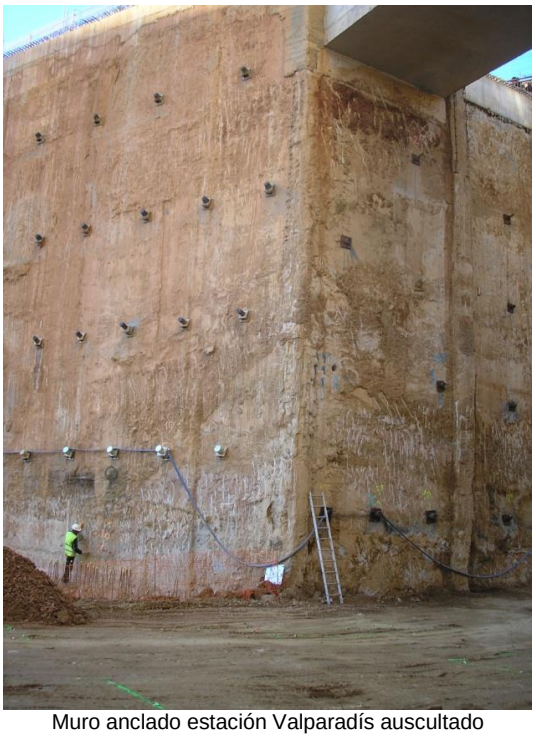
➢ Colocación de células de carga. Permiten tener un seguimiento del estado tensional y deformacional del conjunto anclaje y terreno durante la construcción y explotación.

➢ Colocación de cabezas roscadas. Permiten tener la posibilidad de devolver a la carga de servicio mediante gatos de tesado durante la construcción y explotación.

Cabeza de anclaje con célula de carga y caperuza estanca

➢ Colocación de caperuzas protectoras. Permiten en todo momento la observación y control del estado de las cuñas, movimientos de los cordones, estado y puesta en carga, preservando la integridad del conjunto.

➢ Control topográfico. Permite la observación continua de movimientos durante la construcción y explotación.



Muro anclado estación Valparadís auscultado

➢ Instrumentación de las pantallas. Permite el seguimiento del comportamiento deformacional del terreno durante la construcción y explotación.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

MEDICIÓN:

Anclajes permanentes con cable Epoxi en Estación UPC-Valparadís:

- De 6 cordones (75 Tn) – 15 uds de 26 m.l. – Total: 390 m.l.
- De 7 cordones (90 Tn) – 36 uds de 34 m.l. – Total: 1.224 m.l.
- De 9 cordones (120 Tn) – 13 uds de 35 m.l. – Total: 455 m.l.
- De 10 cordones (135 Tn) – 93 uds de 35,50 m.l. – Total: 3.301,50 m.l.

Anclajes provisionales con cable estándar en Estación UPC-Valparadis:

- Uds. – Total: 496
- M.l. – Total: 15.878,50

Anclajes permanentes con cable estándar en Estación UPC-Valparadís:

- Uds. – Total: 50
- M.l. – Total: 1.458

Anclajes permanente con protección anticorrosión y aislados eléctricamente en los andenes de la estación

Ventajas de los anclajes ECS:

- La calidad de la protección ECS es muy superior a la proporcionada por los sistemas convencionales como demuestran los múltiples ensayos.

- La protección ECS es muy duradera y resiste perfectamente los roces y esfuerzos normales que suelen producirse durante la instalación de los anclajes en obra.

- Se ha demostrado mediante ensayos que incluso en aquellos casos en que por motivos accidentales o por mal trato pudiesen producirse pequeñas fisuras en la protección Epoxi, la corrosión solo afectaría superficialmente en la zona descubierta, sin progresar en ningún caso, ni hacia el interior del acero. Las zonas protegidas que rodean la zona desprotegida contienen el progreso de la oxidación.

- Los cordones ECS no necesitan la protección de vaina exterior PE ni de inyecciones de lechada de cemento, grasa o cera.

- No utilizar vainas exteriores o inyecciones tiene múltiples ventajas:

    - Reducción del peso de los anclajes.
    - Reducción del diámetro de perforación de los anclajes.
    - Simplificación del control al permitir la observación directa de los cordones.

- Los anclajes con cables ECS no necesitan de ensayos de aislamiento eléctrico in-situ.

- Mayor economía al no precisar en el cálculo “coeficiente de mayoración” por pérdida de sección útil del cable durante la vida del anclaje.

La eficiencia de la protección anticorrosiva depende únicamente de la idoneidad del recubrimiento Epoxi, y dicha idoneidad siempre es verificada exhaustivamente durante la fabricación del cordón.

Por el contrario, en el caso de cordones convencionales, la eficacia del sistema anticorrosión debe comprobarse necesariamente en obra mediante ensayos de aislamiento eléctrico o similar, pues depende de la estanqueidad y continuidad de la envoltura exterior del cordón (vainas y/o inyección), las que no puede comprobarse previamente por no ser representativas del estado final del anclaje.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente la colaboración prestada para la elaboración de este artículo y ponencia a la propiedad de la obra, el Gestor de Infraestructuras de Cataluña (GISA); a la Dirección de obra, la Ute CICSA & NORCONTROL en nombre del Director de Obra y su cuerpo Técnico que nos facilitaron desinteresadamente gran parte de la documentación de proyecto y seguimiento de la obra; a la Constructora de las obras, la Ute GUINOVARD & OSHSA, & COPISA (UTE FGC TERRASSA) por el apoyo recibido durante la ejecución de los trabajos y su autorización y colaboración en la elaboración de la publicación; a la empresa colaboradora RCI por el asesoramiento técnico y realización de ensayos, por el interés y dedicación en la investigación y puesta a punto para el suministro de las armaduras de cables ECS; al personal técnico, oficiales y operarios de SITE, por el esfuerzo y dedicación en la ejecución de este importante y difícil trabajo por las condiciones existentes, así como por el aporte de sus experiencias y datos recogidos durante el período de ejecución; y a otras personas anónimas o que pueda pasar por alto, sin las cuales no hubiera sido posible realizar con éxito el tratamiento y trabajos hasta aquí expuestos.

BIBLIOGRAFÍA

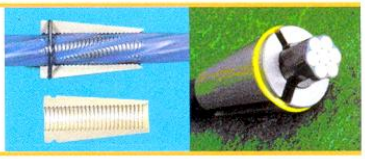
- Proyecto Constructivo de la Prolongación del FGC a Terrassa. Generalitat de Catalunya. Direcciò General del Transport Terrestre. GISA.
- Estudio geotécnico para el proyecto de construcción del túnel de la “Línia de FGC de Terrassa. Geopayma, S.A. Enero de 2004 y sucesivas ampliaciones.
- Estación de Valparadís FGC Terrassa, Anclajes permanentes autoprotegidos con resina epoxi. IV Congreso de ACHE. Valencia 24-27 Noviembre 2008. Autores: Ramón Lluis Rosell (CICSA), Javier Ripoll García-Mansilla (RCI), Juan Carlos Novarece Puente (SITE,SA)
- Cordones autoprotegidos con Epoxi (ECS). Catalogo RCI (Ripoll Consulting de Ingeniería.
- Japanese Technologies for Ground Anchor. Recent Applications. 9 May 2006. Japan Anchor Association. Hiroaki Kubo Toshiro “Tiger” Kido. Sumitomo (SEI) Steel Wire Corp.
- Case Study for Ground Anchor using Epoxy Coated Strand. 22 November 2006. Sumitomo (SEI) Steel Wire Corp. Japan.
- Some technical characteristics of the ground anchorages manufactured with ECS. Technical Reports. September 9th, 2007. Toshihiko Niki (Manager) International Business Department. PC Division. Sumitomo (SEI) Steel Wire Corp. Japan.
- Comprobación de la continuidad de la capa de recubrimiento de Epoxi de los cordones diámetro 0,6”. 28-07-2007. Informe Técnico. RCI.
- Ensayos de idoneidad de la operación de tesado. Estudio de la penetración de las cuñas de arrastre del anclaje. 19 y 21-06-2007. Informe Técnico. RCI.
- Ensayo de resistencia al desgaste por rozamiento con el terreno del recubrimiento Epoxi de los cordones diámetro 0,6”. 17-07-2007. Informe Técnico. RCI.
- Pruebas simples de carga en anclajes nº 1, 2, 4 a 9, 11 a 14 y 16 de la
- Ensayos de idoneidad de anclajes al terreno. Ensayo nº 1. 13-06-2007. Informe Técnico. RCI.
- Projecte modificat M-2 del Perllongament de la línia de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) a Terrassa. Infraestructura, superestructura i electrificació. Barcelona, juliol de 2006.

FICHAS TÉCNICAS

DIMENSIONES Y PROPIEDADES MECÁNICAS

Tipo de cordón ECS	Ø cordón de acero mm	Ø ext cordón ECS mm	Espesor recubrim. µm	Peso unitario kg/km	Límite elástico al 0.2% kN	Carga rotura kN	Alarg. en rotura %	Relaja-ción %
ESWP 7A	12.4	13.6	440~1200	765	≥ 136	≥ 160	≥ 3.5	≥ 6.5% después de 1000h
	15.2	16.4		1155	≥ 204	≥ 240		
ESWP 7B	12.7	13.9		813	≥ 156	≥ 183		
	15.2	16.4		1155	≥ 222	≥ 261		

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y ENSAYOS DE VERIFICACIÓN

Adherencia del recubrimiento epoxi al cordón de acero	Completa adherencia hasta la rotura del acero	
Durabilidad en ambiente salino	No se observan daños tras 3000 horas en niebla salina con una tensión del 70% de rotura. Cumple norma ASTM B117-73. (Foto: ECS arriba, galvanizado en medio y normal abajo)	
Durabilidad en ambiente subterráneo	No se observa deterioro o corrosión tras 7 años en tensión (0.6 F_u)	
Penetración de cuñas	La penetración de cuñas es del orden de 8-10 mm para fuerzas de tesado del 75% de F_u.	
Fricción contra tubo PE	μ=0.3 rad^{-1} λ= 0.004 m^{-1}	
Adherencia al hormigón	La adherencia del cordón ECS (Flo-Bond) al hormigón es igual o superior a la del cordón normal desnudo.	