

Control de calidad en anclajes activos provisorios

Ing. Alfredo Lopez, Ing. Jorge Jeri.

alopez@srk.com.ar; jjeri@srk.com.ar;

SRK Consulting Argentina

RESUMEN: La aplicación práctica de la ley de anclajes para la ciudad de Buenos Aires y su probable extensión hacia otras provincias obliga a aplicar procedimientos de control durante el diseño, ejecución, tesado y durante la vida útil de los anclajes. Si bien estos elementos no están regulados en la ley, sí lo están en los diferentes reglamentos o recomendaciones que se utilizan esporádicamente en los proyectos de nuestro país. En general, se utilizan procedimientos de seguimiento de calidad para los anclajes que suelen ser propuestos por los proyectistas o por la empresa que los instala y que suelen resumirse en la palabra clave Plan de Calidad. En una obra en CABA se aplicaron gran parte de las recomendaciones del PTI 2004 (Post Tension Institute *Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors*. 2004). Su inclusión en un Plan de calidad permitió registrar los diferentes procesos constructivos, sus controles y tolerancias en la construcción de los anclajes. Dicho documento fue consensuado entre las partes involucradas: estructuralista, dirección de obra, empresa constructora, subcontratista de anclajes y asesor geotécnico. Esto permitió sostener muros laterales de hasta 20m de profundidad con éxito por más de 24 meses.

Palabras clave: Plan de calidad Anclajes activos – Control de calidad – Vida útil – Creep – PTI 2014

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años las excavaciones urbanas en zonas de alta densidad en CABA han llegado a profundidades del orden de los 20m, donde a la dificultad de realizar la excavación se debe sumar la existencia de edificaciones perimetrales. En mi propia experiencia he constatado que en muchas ocasiones no están incluidas en el proyecto especificaciones técnicas que tengan en cuenta:

- El control de proceso de ejecución de anclajes y sus tolerancias;
- El proceso de tesado;
- Las pérdidas de cargas aceptables durante la vida útil;
- Las condiciones de deformación que deben cumplir las placas metálicas de apoyo de los anclajes;
- Las especificaciones mínimas de protección de la cabeza del anclaje y de los cables;
- La definición de los desplazamientos en los submurales compatibles con la interacción suelo-estructura;
- La definición del sistema de monitoreo;
- La ingeniería que tengan en cuenta el uso de modelos numéricos para predecir con mayor certeza los desplazamientos en las estructuras vecinas y en el propio submural.

Resulta de gran importancia en una excavación tener un grado de certeza en la documentación, mediciones, controles y alertas. La documentación que registra la construcción de los anclajes permite evaluar y predecir razonablemente el comportamiento de cada anclaje activo mediante protocolos de aceptación. Al mismo tiempo el registro de las etapas de construcción a través del plan de calidad permite:

- Validar su uso en la obra durante su vida útil;
- Disponer de información adecuada que puede aplicarse para un análisis en las zonas donde se manifiestan anomalías;
- Analizar el concepto de vida útil en áreas donde los anclajes han rebasado la vida útil garantizada por el instalador y se deba considerar la posible extensión de su uso, o bien cuales deben estar bajo observación sistemática o sustitución, cobra mayor importancia cuando los anclajes superan los 24 meses de garantía habitual.

Todos estos temas son de alta importancia para garantizar la capacidad y serviciabilidad del sostenimiento, por tal motivo se recomienda que se deban considerar la necesidad de un plan de calidad al momento del diseño, donde se defina su implementación, practica en obra y el registro continuo de las mediciones.

Además de lo mencionado, un punto no menos importante es que los anclajes suelen ser provisorios y en las condiciones contractuales se fija una vida útil según cierta norma o reglamento, que en realidad es arbitraria y suele rondar entre 18 a 24 meses, la cual suele ser más que suficiente para la mayoría de las obras, pero no bajo pandemia donde una obra puede sobrepasar dichos plazos. El hecho de contar con un plan de calidad, sus registros, pruebas de carga y personal de control permitirá observar y extender la vida útil varios meses más.

El presente artículo ahondará en la aplicación práctica de un plan de calidad en la ejecución, control y testeo de anclajes.

2 OBRA DE ESTUDIO

Se realizó análisis del sostenimiento de una excavación situada en la ciudad de Buenos Aires que cubre un área poligonal del orden de $2.200m^2$, profundidades de excavación entre 16m y 20m que permitieron ejecutar 5 a 6 líneas de anclajes activos. Los edificios vecinos tienen 7 a 10 pisos, uno de los edificios quedo expuesto en 2 caras .

Dada la importancia de la obra se llevó a cabo un control exhaustivo sobre el proceso constructivo de varios cientos de anclajes activos provisorios, con cargas entre 40tn (3T15) y 75tn (5T15) y longitudes entre 13m y 26m.

La Figura 1 muestra el esquema en planta de la excavación y la ubicación de los sondeos. En la Figura 2 se puede observar los distintos niveles de anclajes de la sección 11 y 12, mientras que la Figura 3 muestra una vista gran angular de la obra. En la Figura 4 se puede ver un corte de la sección 12 la cual representa la materialización de la situación de las edificaciones y anclajes del submural.

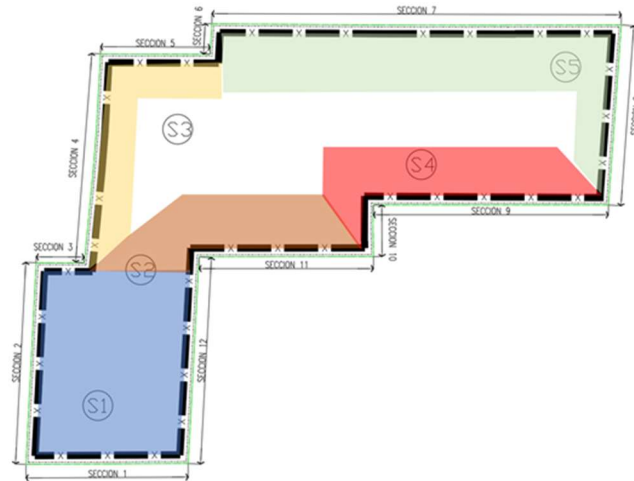


Figura 1 Esquema en planta de la obra.



Figura 2 Se observan las 5 líneas de anclajes que se cruzan perpendicularmente en la esquina del submural.



Figura 3 Vista con gran angular que permite tomar gran parte de la obra.

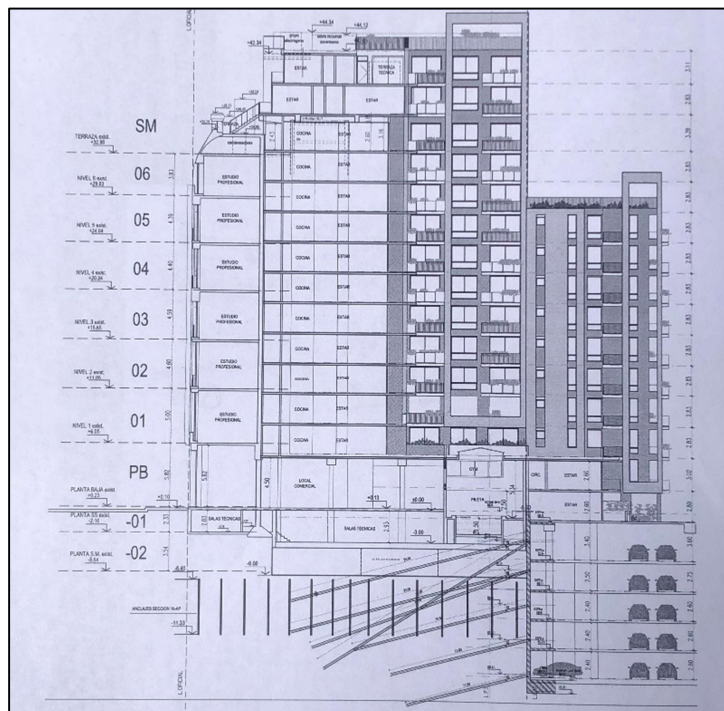


Figura 4 Imagen de la distribución de los anclajes y el edificio lindero.

3 PLAN DE CALIDAD UTILIZADO Y OBJETIVOS

El plan de calidad de los anclajes es un documento que integra las metodologías de las diferentes etapas constructivas, el equipamiento utilizado, los materiales empleados, las pruebas de carga, los criterios de aceptación, las tolerancias, los controles en obra del proceso completo, en especial la ficha de tesado individual y las contingencias en caso de desvíos en las tolerancias . La aplicación de un plan de calidad estricto, la construcción con personal idóneo en la perforación, inyección y tesado, el control de cada

anclaje en su proceso constructivo permitió en todo momento disponer de la historia clínica del sostenimiento lateral en todos los sectores que involucraban grupos de anclajes con el fin de garantizar la corrección de los desvíos y que la capacidad de los anclajes responda a los valores establecidos en el proyecto en su vida útil.

Dicho plan fue asistido por profesionales que garantizaron la correcta aplicación de los aspectos constructivos, estructurales, geotécnicos, ambientales y la relación con los edificios vecinos en las etapas del proyecto.

Para ejemplificar se aborda los puntos principales de dicho plan de calidad.

3.1 Anclajes

Los anclajes presentan las siguientes características, ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 5:

- Las cotas de los anclajes están situadas a -2,2m|-5,3m|-8,4m|-11,5m|-14,6m; respecto el cero supuesto en el nivel de vereda.
- Inclinação de los anclajes igual a 15 /20 grados subhorizontales;
- Las longitudes se encuentran entre 13m a 26m;
- Las capacidades se sitúan entre 40ton y 66 ton axiales.
- Cables de acero BR Gr270 15,2mm de diámetro.
- Los diámetros de las perforaciones están comprendidos entre 20-22cm.
- El tipo de inyección para sellado corresponde con el método IRS (inyección repetitiva selectiva que permite inyectar punto a punto cada metro de bulbo y volver a repetir la inyección en caso necesario mediante un tubo de inyección reutilizable

En el corte siguiente se detalle una vista y corte tipo donde se observan 6 líneas de anclajes,

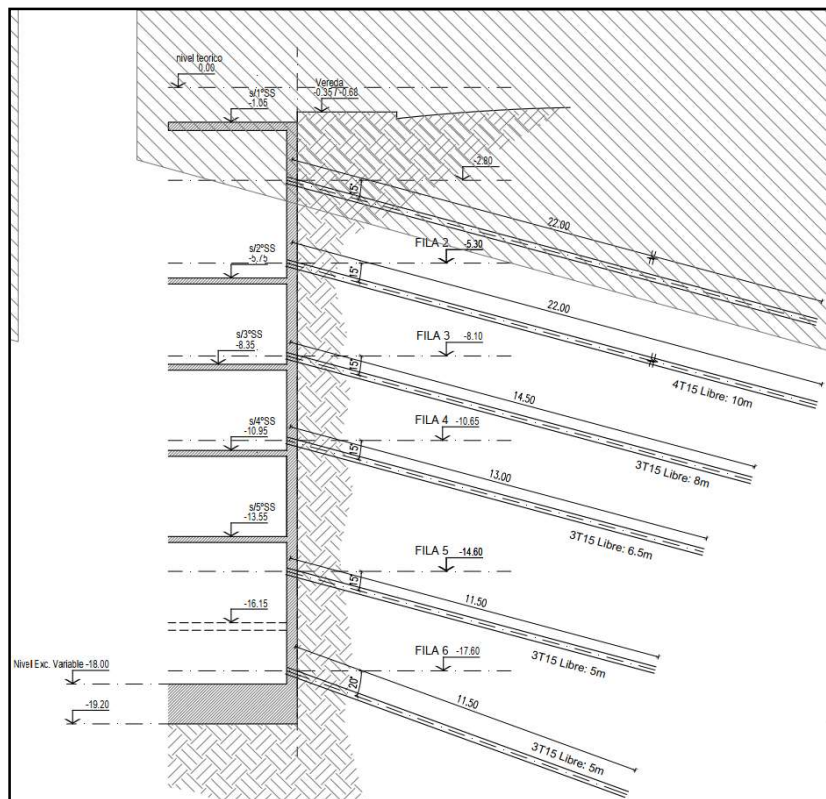


Figura 5 Corte de la cara de la Figura 4.

3.2 Equipos

Los equipos perforación empleados fueron los siguientes: perforadoras Bauer, Soil Mec y Clo Zironi. Para los primeros anclajes las perforaciones se realizaron con el empleo de mechas trialetas de 20cm y se usó agua como estabilizante. Para el resto de las perforaciones se empleó mechas helicoidales que trabajaron en seco.

Los equipos de inyección de la marca Clivio y Clo Zironi están compuestos por mezcladores de alta turbulencia, agitadores a paletas y bombas hidráulicas con caudales entre 5 a 300lt/min y presiones hasta 40bars.

Los obturadores utilizados fueron de l tipo simples y dobles del tipo Petrometalic /Los tubos de manguitos o de inyección tienen un diámetro 40mm |48mm de diámetro en polipropileno..

3.3 Materiales

Armadura. Las armaduras de los anclajes provisionales estaban constituidas por 3 a 5 torones de 0,6" de diámetro, grado 270 y de baja relajación. La parte libre fue envainada y engrasada manualmente. El tubo de inyección de polipropileno de 40x48mm con manguitos de inyección cada 100cm.

La cabeza del anclaje estaba conformada por placas, cuñas y blocks de aceros especiales los cuales fueron provistos por empresas especializadas nacional e internacional. Cada elemento se definió y ensayó en laboratorios metalúrgicos verificando y constatando las propiedades de los aceros, la dureza de estos y los tratamientos térmicos de endurecimiento en el caso de las cuñas.

La lechada de cemento empleada para el colado del cuerpo del anclaje y para la inyección posterior tuvo una relación cemento/agua igual a 2. El cemento empleado fue portland normal que incluyó aditivos líquidos con el objeto de no perder trabajabilidad a altas temperaturas en comparación a la ambiental, y limitar pérdidas de agua ya que los suelos atravesados estuvieron sin napa presente al menos para 4 niveles de anclaje.

Para la lechada de inyección se registraron la cantidad de válvulas de inyección utilizadas, el volumen de lechada inyectada y aquellas válvulas en las cuales no hubo absorción y sus respectivas presiones de apertura de vaina y de sellado de inyección. Asimismo, se registró la densidad, viscosidad y decantación.

3.4 Consideraciones en la ejecución de anclajes

- Limpieza de la vaina cementicia : se fijó que el colado para sellar las armaduras con lechada cementicia sea mayor al 150% del volumen teórico de perforación, a fin de eliminar el suelo disgregado y así lograr que dicha vaina tenga una resistencia uniforme para sellar los cables al terreno resistente.
- Para los terrones pesados que no pudieron ser eliminados por la lechada ascendente se agregó una sobrelongitud a la perforación de 0,5m a 1,0m para actuar como un decantador profundo de los detritos pesados.
- Para cada anclaje se registraron los volúmenes de lechada colada, dosificación, viscosidad, densidad, resistencia a compresión simple y decantación.
- El colado de la vaina se realizó para todos los anclajes con una manguera o cañería colada al fondo de la perforación y por la cual se realizó el colado por flujo inverso.

3.5 Sistema de tesado

Se trabajó con dos equipos de tesado con capacidades entre 100 a 200 ton y carreras entre 150 a 200mm de recorrido. Los instrumentos de medición fueron calibrados con una antigüedad no mayor a 12 meses.

3.6 Normativa/Recomendaciones aplicadas

La recomendación internacional adoptada para los ensayos de carga a rotura, control y aceptación fue el Post Tensioning Institute (PTI) [2].

Dicha recomendación define el uso del método del ciclo de carga y descarga el cual permite representar el comportamiento del anclaje durante el tesado y así definir si cumple con las condiciones que la misma menciona. Esto permite tomar la decisión de reinyectar o descartar en anclaje ensayado.

El modo para representar el comportamiento suele ser mediante el gráfico de tesados.

El gráfico de tesado se obtiene realizando el método del ciclo de carga y descarga generando una histéresis. Este método define las rectas límites, el proceso de carga y descarga, los escalones de carga, los tiempos a los cuales se debe registrar el alargamiento del anclaje y así cuantificar el creep y la forma de determinar la fricción y la carga de bloqueo:

- Rectas límites: los anclajes deben cumplir que su gráfica de deformación vs carga se encuentra entre las rectas límites de desplazamiento, ver Figura 6. La recta R_1 representa el caso hipotético el 100% de la carga completa, es decir, que trabaja el 0% del bulbo. La recta R_2 que

representa que las tensiones el bulbo se distribuyen en toda su longitud por lo tanto está trabajando el 100%.

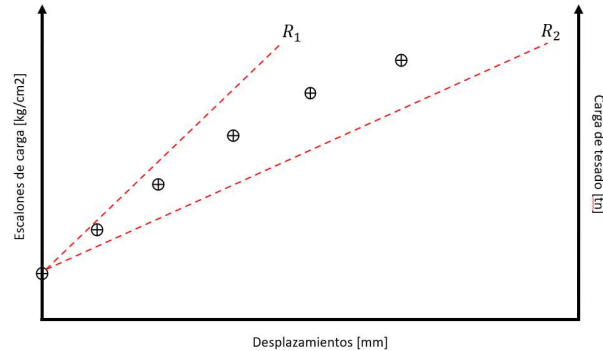


Figura 6 Definición de los escalones de carga y verificación de las rectas límites.

- Creep: Se define como Creep al desplazamiento relativo entre el minuto 10 y el minuto 1, y definimos al modulo de creep como $\text{Creep}/(\log(10/1))$, para el caso particular del PTI2004, el Modulo coincide con el Creep.
- En el escalón de máxima carga se mide el desplazamiento entre el minuto 1 y 10 dicha medición debe ser menor a 1,5mm, ver Figura 7.

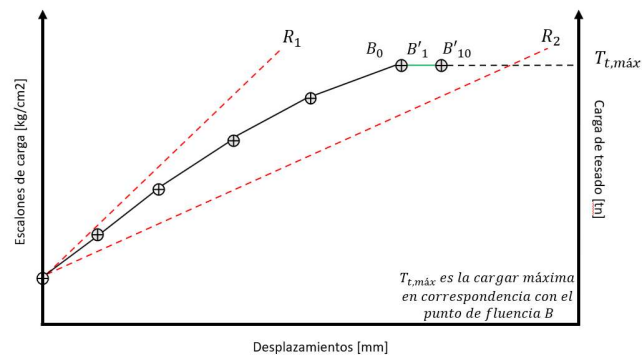


Figura 7 Determinación y verificación del creep.

- Fricciones: durante la operación de tesado las armaduras están sometidas a escalones de carga que generan contacto de las armaduras con, las placas, las cuñas y el block de fijación. Este conjunto genera una fricción evaluable que genera una carga de tesado real menor, ver ec. (1). En general las fricciones se ubicaron entre 5 al 10%. Siendo menores a 5% en general para anclajes de cargas superiores a 50 ton y 10% para anclajes menores a 40ton.

$$T_{real} = T_{m\acute{a}x} * (1 - \text{Fricción}) \quad (1)$$

- Bloqueo: el bloqueo del anclaje mediante la metodología del respeta los valores definidos en el proyecto al tener en cuenta las fricciones de cada anclaje.

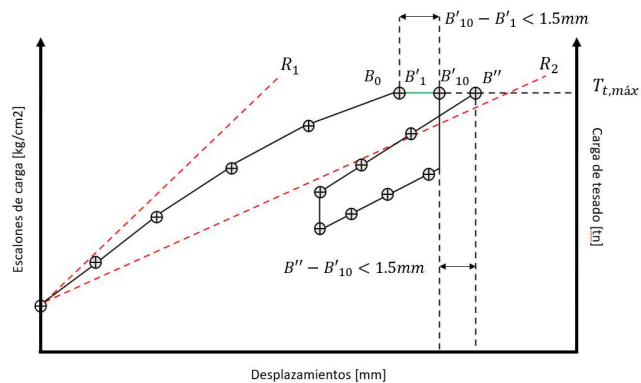


Figura 8 Determinación de fricciones , como mitad del salto entre la recta de des carga y carga.(en ton)

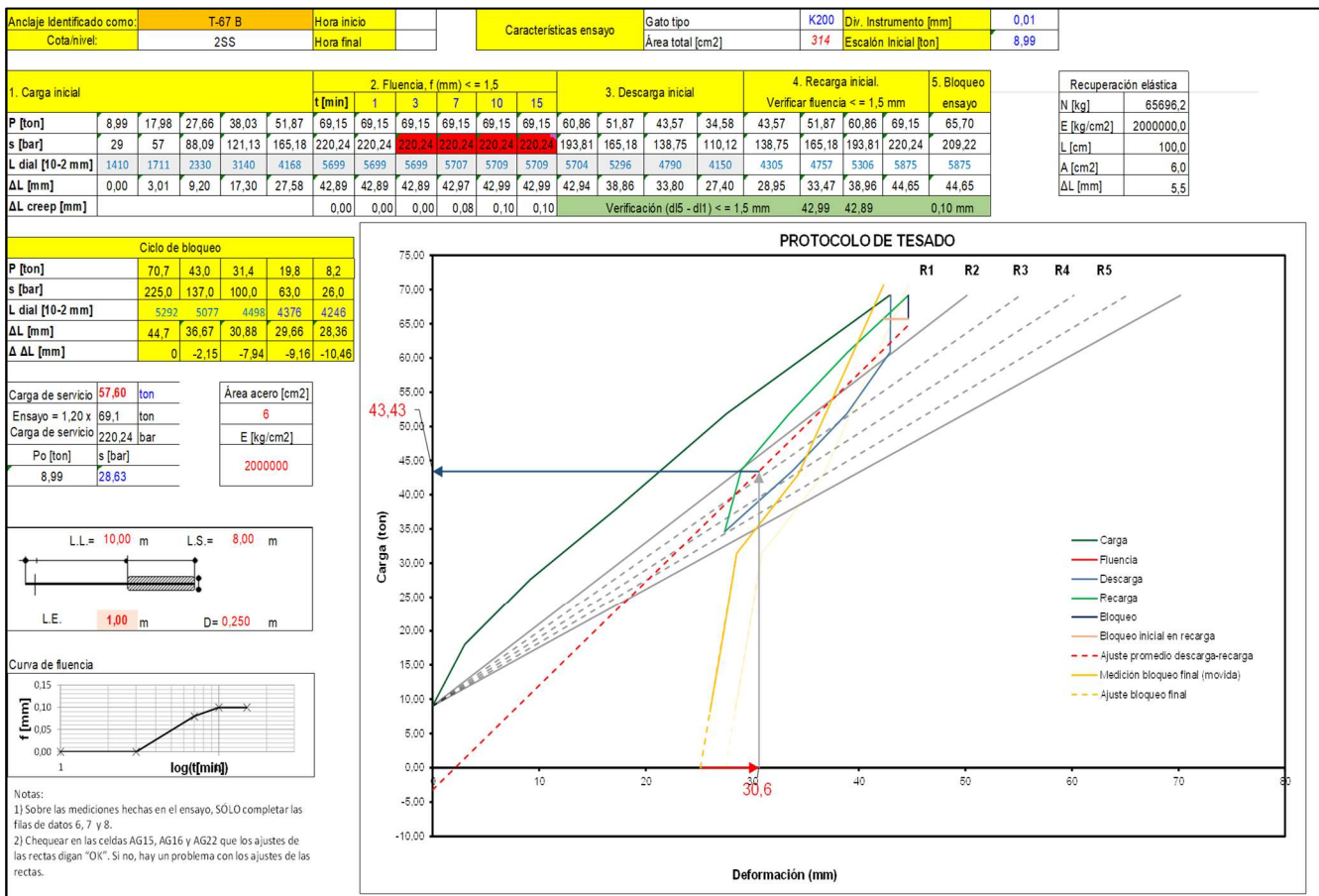


Figura 9 Hoja de tesado típica que muestra las rectas límites y sus intermedias, el ciclo de histéresis, la carga de bloqueo..

4 CONSECUENCIAS DEL USO DEL PLAN DE CALIDAD

La definición del plan de calidad permitió realizar un seguimiento constante al proceso constructivo de los anclajes, realizar los registros necesarios y verificarlos en función de las tolerancias den acuerdo con el proyecto. A continuación, resumimos los puntos claves que fueron controlados :

- Volumen de colado: controlar si el volumen real de colado de vaina es superior al teórico permite detectar posibles derrumbes.
- Densidad, viscosidad, resistencia a la compresión simple: **el valor** de la densidad antes de colocar la lechada cementicia en la perforación permite evaluar si la resistencia al corte necesaria para tesar los anclajes es adecuada, una densidad menor a la recomendada implica una menor resistencia al corte y por lo tanto una mayor posibilidad que la armadura deslice dentro de la vaina cementicia al tesar, o bien la lechada comience un proceso de fisuramiento o desgrane prematuro.

Para la lechada con relación agua-cemento igual a 0.5 la densidad se ubicó entre los valores 1,78-1,82gr/cm³.

La Viscosidad según el ensayo de cono Marsh para tiempos comprendidos entre 45" y 60", estas viscosidades permiten levantar los detritus de perforación evitando al máximo su englobamiento dentro de la vaina cementicia.

La resistencia a compresión simple de probetas cilíndricas se situó en el orden de 21Mpa a 7 días.

- Decantación: en general debe ser menor al 2% , una decantación en este orden garantiza una lechada estable que se adhiere a las paredes y las armaduras de la perforación con un mínimo de retracción.
- Pruebas de carga a rotura: se realizaron seis pruebas una por cada nivel de anclaje con bulbos reducidos de 5 a 6m hasta alcanzar la falla. Los valores obtenidos sirvieron para validar las capacidades adoptadas en el proyecto. Los ensayos establecieron carga de rotura media entre 15 a 19 tn/ml. Su duración se situó en el orden de 10-11 horas. Las cargas de rotura según el tipo de anclaje ensayado variaron entre 75 ton y 127 ton.
- Pruebas de control: se realizaron al menos 6 pruebas de control una por nivel de anclaje. El ensayo consiste en aplicar una carga igual a 1.33 veces la carga de servicio y una duración de hasta 5 horas. De acuerdo con el PTI 2004 [2] su objeto fue validar la hipótesis de diseño de cada línea.
- Pruebas de aceptación: se ejecutaron sobre la totalidad de los anclajes en servicio,, su duración estuvo en el orden de los 45 minutos. Con la carga fijada a un escalón máximo, 133% de la carga de servicio, y mediciones de desplazamientos a carga constante, se evaluo el creep entre las mediciones de 1 y 10 minutos. En cada anclaje se verifico cual es la carga de bloqueo esperable.

Los resultados de las pruebas de carga a rotura están resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1 Resumen de los resultados de las pruebas de carga.

Nivel	Carga de falla	Long sellado	Cotas bulbo	SPT medio (Sondeo)	Carga de última	Carga de servicio
-	[tn]	[m]	[m]	[-]	[tn/ml]	[tn/ml]
1° EC9		4	-4,5 -5,5	29 (S2)	18	11,00
2°	91	6	-8 -9	19 (S4)	15	9,00
3°	107	6	-10,5 -12,0	26 (S3)	17,8	10,70
4° EC8	50	4	-13,6 -14,6	29 (S2)	14	9,00
5°	55	4	-17,0 -18,0	18 (S1)	13,75	8,25

La ejecución de pruebas de carga por nivel bajo un estricto protocolo permitió validar las hipótesis de diseño del proyecto ya que pedía 5 *tn/ml* para bulbos inyectados con tapadas al nivel de vereda menores a 5m, y 8 *tn/ml*. para profundidades mayores.

Las pruebas mostraron capacidad admisibles mínimas de 8ton/ml.

A los anclajes que se realizaron las pruebas de carga fueron presenciadas, revisadas e interpretadas por SRK.

4.1 Registro de datos

El control de calidad no solo comprendió los anclajes, sino que también el registro continuo de las excavaciones en troneras, la colocación de armadura y el hormigonado del sector de submural, como consecuencia se acumuló para las diferentes troneras ancladas un conjunto de información superior a los 11.000 datos, de los cuales se obtuvieron interesantes conclusiones.

En la Figura 1 se muestra en planta la obra analizada donde se puede observar las 12 secciones y la ubicación de los sondeos. A cada sección se le asigno un sondeo en función de la distancia entre ellos.

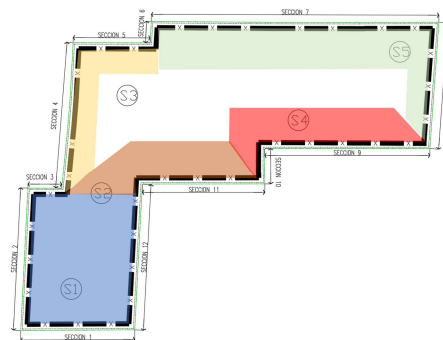


Figura 10 Esquema en planta de la obra.

Del control de aceptación de los anclajes activos se pudo determinar su correspondiente valor de creep a carga máxima constante, en más de 500 ensayos, esto permitió diversos análisis estadísticos de las mediciones. Como ejemplo en la Figura se puede observar los valores máximos, medios y mínimos de creep para cada una de las distintas secciones.

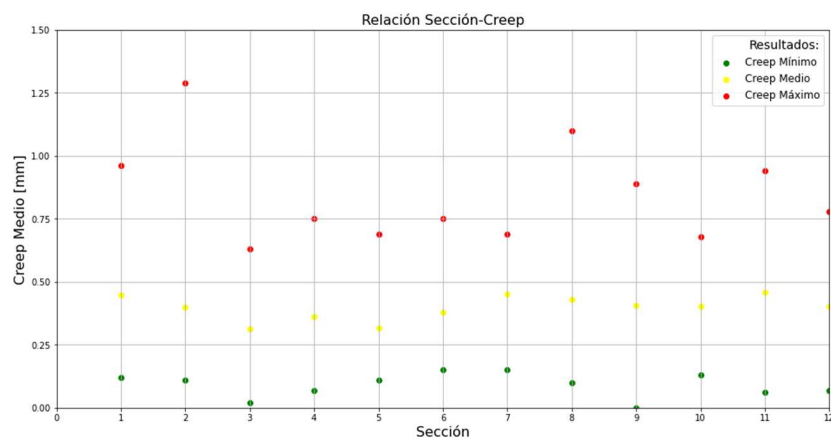


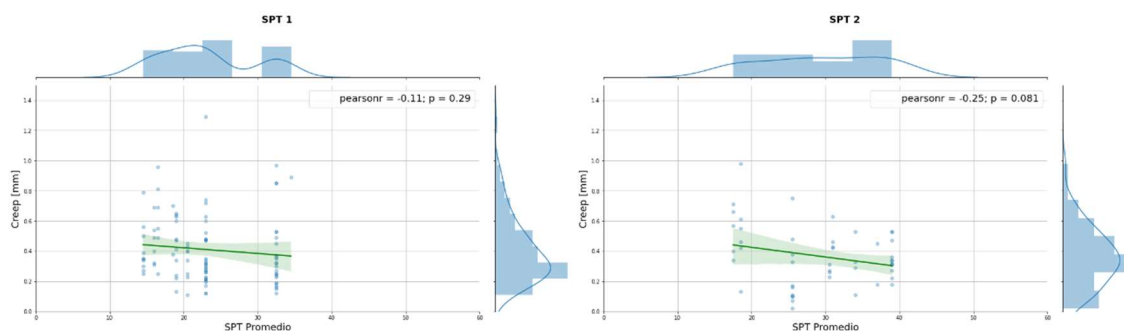
Figura 5 Valores medios, mínimo y máximo de creep para diferentes sectores de la obra.

En la Figura 6 se analizó la correlación entre el creep y número de golpes del ensayo SPT. Los valores de creep de los anclajes activos se obtuvieron a partir del ensayo de aceptación en conformidad con el PTI 2004 [2]. El número de golpes se determinó en base a la cota del baricentro de la longitud fija de los anclajes proyectada. En la figura mencionada se observa que al aumentar el valor del ensayo el creep tiende a disminuir, pero esta correlación según el coeficiente de Pearson es muy baja ya que está próxima a cero. Esta correlación es efectivamente baja ya que el creep depende de la plasticidad que tenga el suelo a deformarse además del deslizamiento del bulbo dentro del terreno, ensayos realizados en arcillas muestran un mayor coeficiente de Pearson. En promedio se obtiene un coeficiente de correlación igual a -0.18. El coeficiente de correlación o Pearson (ρ) permite cuantificar la relación entre dos variables donde se puede dar las siguientes condiciones:

- $\rho = 1$, correlación perfecta positiva
- $\rho = 0$, no existe correlación
- $\rho = -1$, correlación perfecta negativa

Tabla 2 Resumen de los coeficientes de Pearson para los sondeos analizados.

Coeficiente de Pearson	SPT 1	SPT 2	SPT 3	SPT 4	SPT 5
ρ	-0.11	-0.25	-0.30	-0.12	-0.13



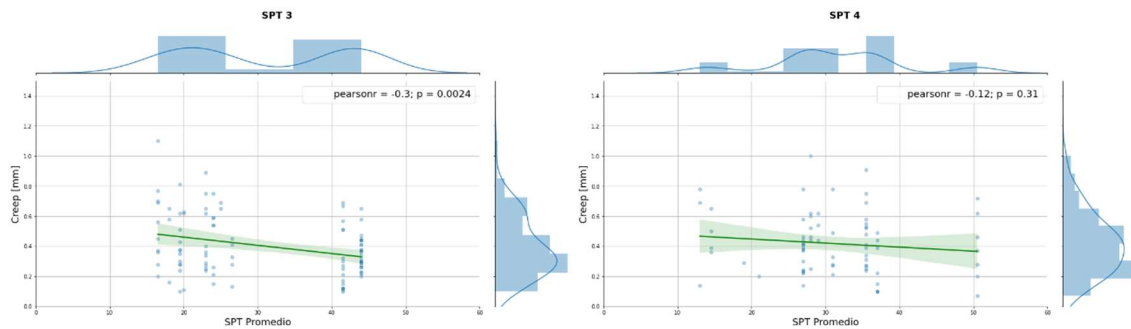


Figura 6 Análisis de la relación del creep y en número de golpes del ensayo SPT.

El coeficiente de Bustamante (α) es la relación entre el diámetro real y el teórico, ec (2). El diámetro real se determinó a partir de la cantidad de lechada registrada en la vaina e inyectada. Se analizó si existe relación entre el coeficiente de Bustamante y el creep, tal como se puede observar en la Figura 7 y el valor del coeficiente de Pearson (constante publicada en la esquina superior derecha) se puede decir que la relación entre ambas variables es débil.

$$\alpha = \frac{D_{Real}^2}{D_{Teórico}^2} - 1 \quad (2)$$

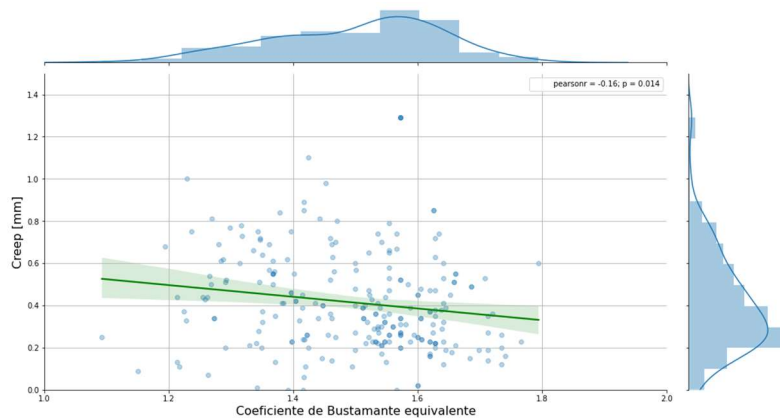


Figura 7 Relación entre el creep y el coeficiente de mayoración de diámetro de Bustamante.

Del mismo modo se analizó la relación entre el creep - cantidad de cemento inyectado y el creep - cantidad de cemento en la vaina más el inyectado ver Figura 8 y Figura 9. En ambos casos se obtuvieron resultados similares que los análisis descritos con anterioridad, la relación entre las variables propuestas es débil o insignificante. En la Tabla 3 se resume los coeficientes de Pearson obtenidos, la relación más débil se da cuando se compara el creep y la cantidad de cemento inyectado más la presente en la vaina, en cambio la mayor relación se obtiene entre el creep y el coeficiente de mayoración de diámetro de Bustamante. En pocas palabras a mayor inyección realmente introducida al bulbo, sin considerar la pérdida dentro del suelo, disminuye el creep.

Tabla 3 Resumen de los coeficientes de correlación obtenidos.

Coeficiente de Pearson	Creep – Coef. Bustamante	Creep – Cant. Cemento inyectado	Creep – Cant. Cemento inyectado + vaina
ρ	-0.16	-0.11	-0.083

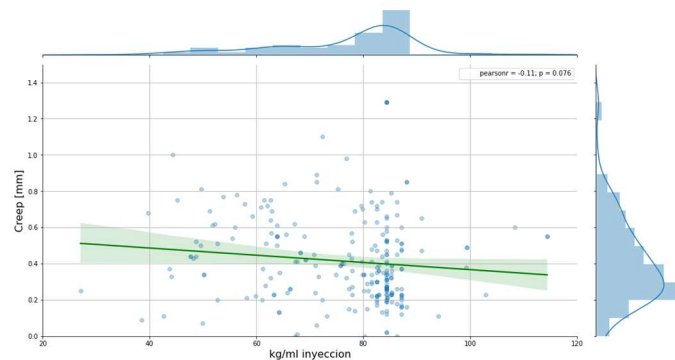


Figura 8 Relación entre el creep y la cantidad de cemento inyectado.

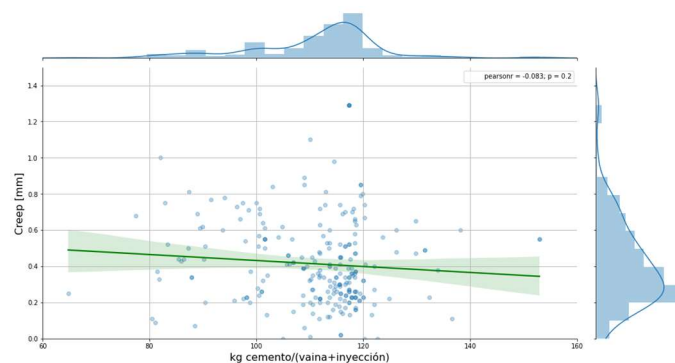


Figura 9 Relación entre el creep y la cantidad de cemento de la vaina e inyectado.

La conclusión es que el creep o deformación diferida en el tiempo depende débilmente de la compacidad de los limos del pampeano medio, depende de la plasticidad del suelo y de la calidad de la lechada.

Las experiencias de laboratorio de otros autores han mostrado que el creep se comporta simplifcadamente considerando dos componentes, el despegue de la lechada de las armaduras al inicio del tesado y su prematura rotura y luego otra componente debida a la fluencia del terreno/deslizamiento del bulbo.

Según estos trabajos un valor de creep de 0,4mm es propio del anclaje que toma carga y la lechada y los valores que superan dicho valor son debidos a la fluencia del suelo.

La experiencia muestra que para limitar el creep a los valores reglamentarios se debe construir un anclaje correctamente, elaborar una lechada C/A 2:1, colar la perforación limpiando el terreno lo mejor posible, realizar una inyección tipo IRS-IGU, asegura una capacidad del bulbo entre 30% a 60% superior a la vaina sola.

5 PLAN DE CALIDAD – PRUEBAS DE CARGA

La necesidad de construir los 500 anclajes, en niveles variables entre -16 y -20m, en un medio urbano donde hay construcciones medianeras, implicó el desafío de construirlos bajo un registro de calidad estricto. De acuerdo con la aplicación del plan de calidad basado en las Recomendaciones del PTI capítulo 8 [2], se decidió realizar los tres tipos de pruebas allí indicados dado la importancia de la excavación y los sostenimientos.

5.1 Análisis de las pruebas de carga a rotura

A continuación, se presentan los gráficos y análisis que se obtuvieron a partir de realizar las pruebas de carga a rotura y de aceptación mediante la aplicación de la Recomendación PTI 2004 [2].

A un anclaje ubicado a cota -8.4m se realizó la prueba de carga a rotura. Este anclaje se materializó con una longitud total de 19m, de los cuales 6m son sellados. Se construyó de esta forma para probar el sellado entre cotas -12m a -14m con el fin de validar una carga de servicio de 66 ton.

Si bien los bulbos de la tercera línea se han diseñado para 12m, se probó un bulbo reducido de 6m para aplicar una carga máxima que realmente produzca la falla utilizando la armadura de servicio, probándose así el método constructivo y el diseño del anclaje. De la Figura 10 se puede observar que la carga máxima antes del inicio de falla es de 107 ton. La carga de rotura según la norma PTI [2] se calcula determina del siguiente modo:

$$T_{rotura} = 90\% * T_{rotura\ medida} = 0.9 * 107tn = 96tn \quad (3)$$

Si se adopta un factor de seguridad igual a 1,50 para anclajes provisorios resulta que la carga admisible da como resultado:

$$T_{admisible} = T_{rotura} / FS = 96tn / 1.5 = 64tn \quad (4)$$

Por lo tanto, la carga admisible por metro lineal es de:

$$T_{admisible/ml} = T_{admisible} / L_{bulbo} = 64tn / 6m = 11\ tn/ml \quad (5)$$

La capacidad solicitada por el proyecto para una zona donde el SPT medio del bulbo dentro del Pampeano medio se sitúa en 26 golpes.

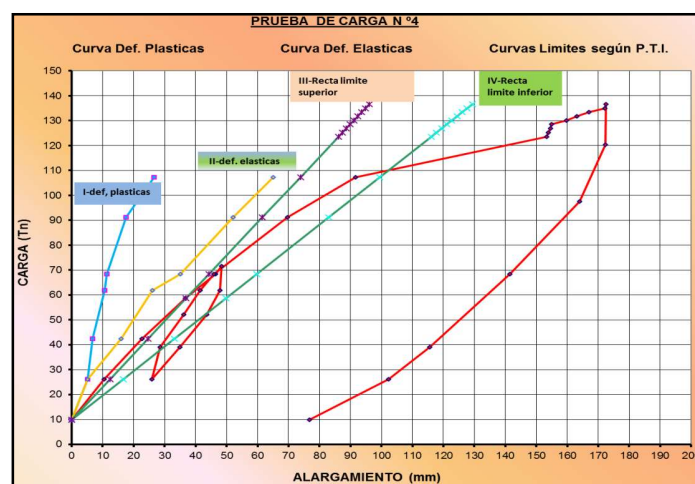


Figura 10 Prueba de carga a rotura - anclaje ubicado en la 3° línea (cota -8.4m).

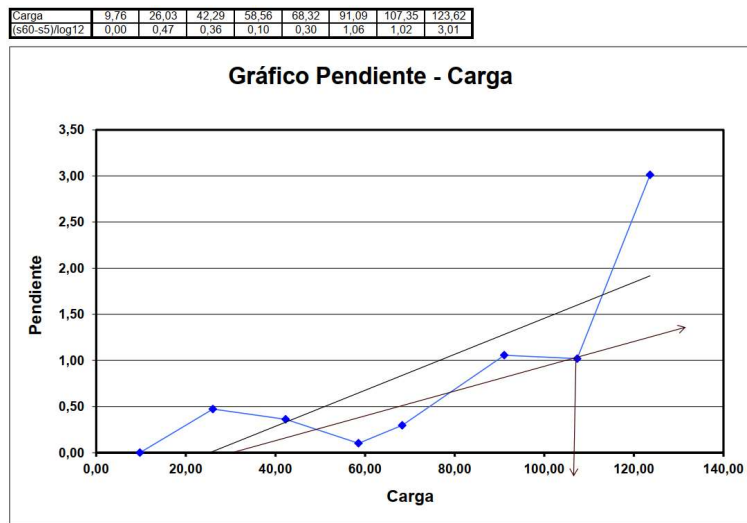


Figura 11 Evolución del creep durante el ensayo - anclaje ubicado en la 3° línea (cota -8.4m). se observa que el inicio de falla se sitúa en el escalón de 107 ton para un bulbo de 6m.

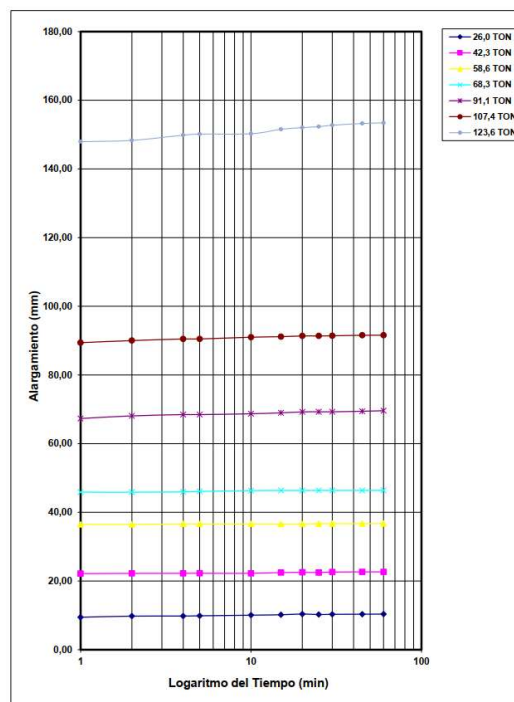


Figura 12 Desplazamiento medido para los distintos escalones de carga en función del log. tiempo - anclaje ubicado a cota -8.4m-).

Resumiendo, en los ensayos a rotura podemos ver una interesante relación, para los limos cementados del pampeano medio, entre el número de SPT y la capacidad admisible en tn/ml de distintos bulbos que cumple la correlación de Bustamante para el diámetro medio empleado de 22cm (35 a 40 kg/ml de

cemento), y un valor de mayoración de diámetro por inyección aplicado igual a 1,60 (entre 60 a 80 kg/ml de cemento).

Con valores globales de inyección del orden de 60 a 80 kg/ml se obtiene capacidades en servicio entre 8 a 11 tn/ml para limos compactos con SPT promedio entre 20 a 40 golpes. En la Figura se muestra la relación entre la capacidad admisible y los valores de SPT del pampeano medio, tal como se puede observar el aumento de la capacidad de carga en servicio del bulbo se debe a la inyección IRS y a la compacidad del terreno.

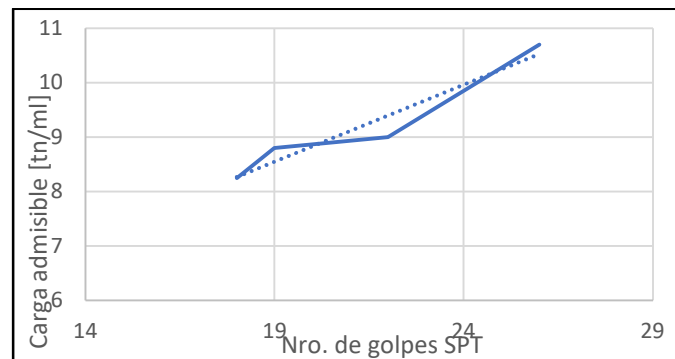


Figura 20 Relación entre la capacidad admisible y número de golpes del ensayo SPT.

6 TIPO DE ANCLAJE ALTO LIMITE ELASTICO/BAJO LIMITE ELASTICO CREEP

En la práctica profesional se emplea la recomendación PTI 2004 [2] para validar el comportamiento de los anclajes activos, ya sea constituido por barras (dentro del mercado de barras se encuentran de alto y bajo límite elástico) o cordones, esto se debe a que la misma recomendación no define ninguna distinción. Ambos anclajes pueden cumplir la verificación del creep pero eso no garantiza que la carga de bloqueo futura sea la misma, debido a que tienen distintos comportamientos mecánicos. En la Figura 21 se muestra las rectas de creeps esperables para un tiempo propuesto de 4 meses, en color azul y naranja el anclaje de barra y cordones respectivamente. Observando el gráfico se puede deducir que para un creep que varía de 0,2 mm a 3,8 mm el anclaje de barra (da bajo límite elástico) pierde aproximadamente de 2% a 63% de carga de bloqueo inicial (esto es debido a que el área de las barras suele ser entre 200 al 250% el área de los cables y por lo tanto la elongación en el tesado inicial es entre 2,0 a 2,5 veces menor que la correspondiente a cables y por lo tanto una fluencia por creep del anclaje acortará el anclaje en una cantidad similar pero no es la pérdida que será superior y cuyo impacto debe evaluarse en la solución. En cambio, el anclaje de cordones se ve reducido de 1% a 25% para creep situado entre 0,2mm y 3,8mm. Esto no ocurre en las barras de alto límite elástico ya que las áreas de barras de alto límite elástico y la correspondiente a los cables suelen ser similares.

Con esto se demuestra que se debe considerar el tipo de anclaje para estimar la pérdida de carga esperable en la vida útil del submural.

Nota: Es normal encontrar creeps entre 0,4mm a 1,5mm en anclajes provisionarios. Un valor nominal de 1mm para armaduras de alto límite implica una pérdida esperable de 4 a 5%, para armaduras con bajo límite elástico se sitúa en el orden de 10 a 15%. En cambio, un creep de 1,5mm, implica pérdidas esperables de 10% y 20-25% respectivamente.

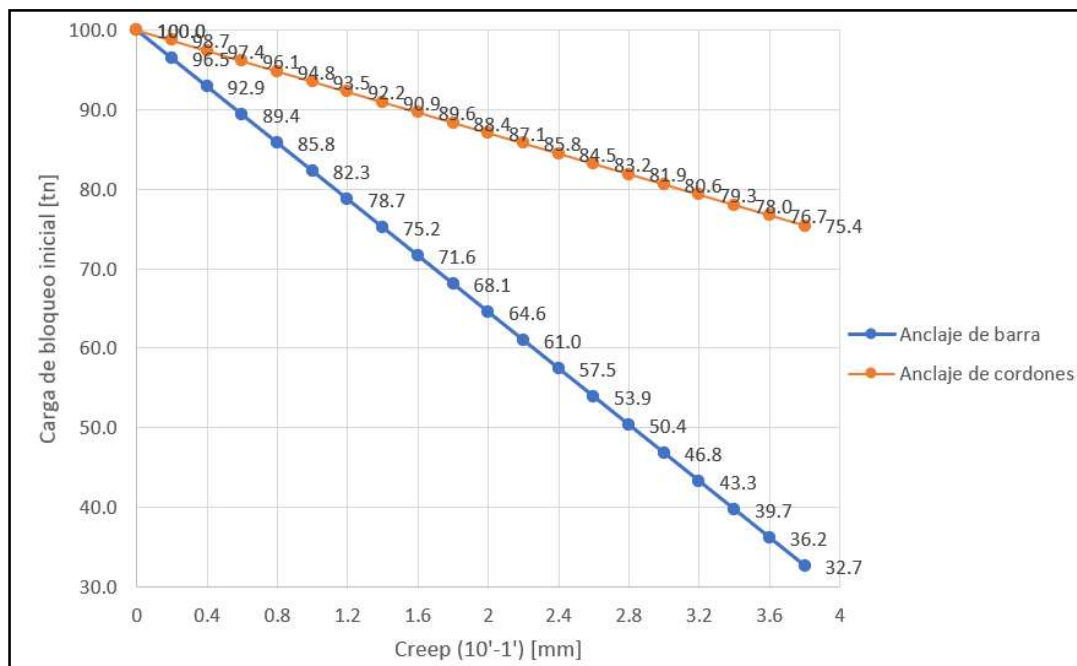


Figura 21 Estimación de la pérdida de carga en un anclaje de 100 ton , para distintos valores de creep

Se realizaron los cálculos de pérdidas a 4 meses para disponer de una referencia de una excavación abierta dicho lapso de tiempo .Se compararon anclajes conformados por barras de bajos límites elásticos y cordones/barras de alto límite.

La carga final da el porcentaje de carga residual para cada caso de creep.

Recordar que el creep de 1,5mm suele ser el límite establecido para aceptar un anclaje provisorio

7 CONCLUSIONES

Conclusiones del uso de un plan de calidad basado en la Recomendación PTI 2004 [2]:

1. Se registraron las distintas etapas constructivas de cada anclaje, armado, perforación, elaboración de lechadas, inyección, pruebas de carga y tesado, que permitió analizar sectores en conjunto;
2. Se estableció una metodología para aceptar, rechazar y reinyectar anclajes;
3. El método del ciclo de carga-descarga permitió determinar las fricciones del sistema para evaluar la carga real de prueba, de bloqueo y posibles daños en los cables;
4. La realización de pruebas de carga a rotura permitió validar las capacidades de sellado que solicitó proyecto;
5. La realización de pruebas de control para cada 50/70 anclajes de servicio permitieron validar sectores diferentes de la obra que involucraban grupos de anclajes;
6. La realización de las pruebas de aceptación en el resto de los anclajes permitió fijar los anclajes bajo tres criterios exigente: cumplir rectas límites, verificar creep y bloquear en la carga de servicio +/- 5%;
7. Contar con la historia clínica de cada anclaje permitió que un grupo que paso los 24 meses de vida útil se pueda prolongar 6 meses adicionales basados en la observación de sus cabezas, las

- cargas reales de tesado, las armaduras disponibles y los creep medidos. Sin estos controles que validaron cada anclaje no habría forma de validarlos más que con una simple inspección visual;
8. Inyecciones para cada anclaje se controló y registró, la cantidad de válvulas que permitieron su apertura y cuales no, en los casos de apertura cuanta lechada, el tipo y las presiones de trabajo;
 9. Los anclajes que no cumplieron el punto 6) fueron reinyectados y retesados una semana posterior exitosamente;
 10. El tesado se produjo cuando las probetas tenían una resistencia mayor a 21Mpa en ensayos a la compresión simple y no la consigna general de entre 5 a 7 días;
 11. Los ensayos y los anclajes en servicio mostraron que se puede sellar en suelos limosos compactos con SPT entre 20 a 30 golpes con cargas admisibles entre 8 a 11 *tn/ml*;
 12. Las cargas a rotura oscilaron entre 13 y 19 *tn/ml* de bulbo para bulbos ensayados de 4, 5 y 6 m de longitud;
 13. Se realizaron ensayos para conocer las propiedades mecánico-resistentes de las placas, blocks y cuñas.
 14. La inyección media se situó entre 60-70 *kg/ml* de bulbo con máximos de 100 *kg/ml* con presiones medias de 30 bars con una válvula cada 100 cm y técnica IRS (inyección repetitiva selectiva). Solo un 3% de las válvulas no abrió por resistencia del terreno o problemas de obturadores;
 15. El módulo de creep medido en la obra se situó en menos de 1mm para casi el 97% de los anclajes;
 16. El creep medio se situó en el orden de 0,5mm con lo cual para ejemplificar a 12 meses implicó una pérdida de carga del orden del 3-8%, que fue compensada en muchas ocasiones con un bloqueo superior al exigido, 2-3% por arriba la carga de servicio;
 17. Las conclusiones de perdidas por creep son válidas únicamente para armaduras de cables de pretensado BR G270 o barras de pretensado de alto límite elástico ($>7500 \text{ kg/cm}^2$). Para barras de bajo límite elástico ($<5500 \text{ kg/cm}^2$) se debe revisar el criterio de creep a aplicar ya que debe ser más estricto que con cables. Ya que igual creep genera mayores pérdidas de carga en el tiempo.

8 AGRADECIMIENTO

Antes de concluir queremos realizar un agradecimiento especial al Ing. Jorge Laiun por los consejos y revisiones brindados en la elaboración del presente documento.

9 REFERENCIAS

- [1] A. Lopez & A. Kerguelen (2016) Criterio de control y aceptación de anclajes activos en la práctica, 770-782.
- [2] Post Tensioning Institute (2004) Recommendations for prestressed rock and soil anchors.
- [3] Hanna , Ground Anchors.(1998)
- [4] documentación referida a ensayos de carga suministrada por el Cliente.