

ENSAYOS DE ANCLAJES INYECTADOS AUTOPERFORANTES, CONSTRUIDOS CON BARRAS TIPO ISCHEBECK 40/16, PARA LA L.E.A.T. DE 500 Kv. GRAN MENDOZA – SAN JUAN

* Ing. Augusto José Leoni – leoni@speedy.com.ar

**Lic. Carlo Facondini – cfacondini@ciudad.com.ar

Resumen

Los ensayos de tracción de anclajes, tienen la finalidad de evaluar la aptitud de los mismos para ser utilizados como anclajes de las torres “Cross Rope” utilizadas para la construcción de la L.A.T. de 500 kv.

En el presente trabajo se resumen los resultados de los ensayos de tracción de anclajes inyectados construidos con barras conformadas tipo Ischebeck 40/16, que se instalaron en sitios previamente estudiados y que por su disposición estratigráfica, representaban a distintas conformaciones similares ubicadas a lo largo de la traza de la obra.

En esta oportunidad se seleccionaron tres áreas de ensayos donde se instalaron un total de 36 anclajes, cuyas longitudes variaron entre 9 m y 18 m con una inclinación con la horizontal de 50°.

Palabras claves: Anclajes, homologación, ischebeck.

1.- Sitios de ensayos:

Una vez analizada la estratigrafía general de la traza de la obra, con una campaña expeditiva de sondeos de estudios de suelos con ensayos de SPT cada metro de profundidad, que se resumió en perfiles geotécnicos de la totalidad de la traza, se procede a realizar la tipificación de las distintas conformaciones estratigráficas detectadas, a los efectos de que a cada una de ellas se le pueda asignar una solución específica tanto desde el punto de vista de la fundación de la base central de la torre como para los anclajes laterales que aseguran la estabilidad de la misma. (foto 1)



Foto 1

Una vez realizada la tipificación de los suelos de la traza la Empresa Constructora seleccionó tres áreas de ensayos a las que denominó Área 1, Área 2.1 y Área 2.2. en las que se construyeron 36 anclajes de las siguientes características.

* Gerente Técnico de Ing. Leoni & Asociados S.A.

** Asesor Técnico de Transportadora Cuyana

- **Área 1 – Sondeo 20**
6 anclajes de Φ 160mm y 9 m de longitud
- **Área 2.1 – Sondeo 38**
6 anclajes de Φ 160mm y 15 m de longitud
6 anclajes de Φ 160mm y 18 m de longitud
- **Área 2.2 – Sondeo 15**
6 anclajes de Φ 160mm y 12 m de longitud
6 anclajes de Φ 160mm y 15 m de longitud
2 anclajes de Φ 160mm y 18 m de longitud

2.- Características geotécnicas de cada sitio

Las condiciones geotécnicas de cada sitio fueron analizadas solamente con sondeos de estudios de suelos con ejecución de ensayos SPT cada metro de avance, por lo que no se cuenta con mayores datos geotécnicos para realizar la evaluación de la capacidad de carga de cada anclaje proyectado, hubiera sido conveniente la ejecución de ensayos de presiometría y de dilatometría en cada sitio, como también se podría haber planificado la extracción de muestras indisturbadas para la ejecución de ensayos triaxiales sobre testigos inalterados de suelos cohesivos.

2.1.- Area 1. Sondeo N° 20

Se adjunta al presente trabajo el perfil del estudio de suelos detectado en el lugar, en el se puede apreciar que los anclajes están instalados en materiales areno - limosos, tipo SM, o arenas mal graduadas limosas, SP-SM, o arenas limpias bien graduada o pobremente graduadas del tipo SP o SW.

Se observa también por los valores del SPT que estas arenas se ubican en el entorno de 9 a 15 golpes entre 0,00 m y 3,00 m y van desde los 15 a 28 golpes desde los -3,00 m a los -10,00 m de profundidad respectivamente, según se observa en el perfil del sondeo que se adjunta.

Hay que destacar que la presencia de la napa de agua se detectó a la profundidad de -1,80 metros, en la época de ejecución de los ensayos.

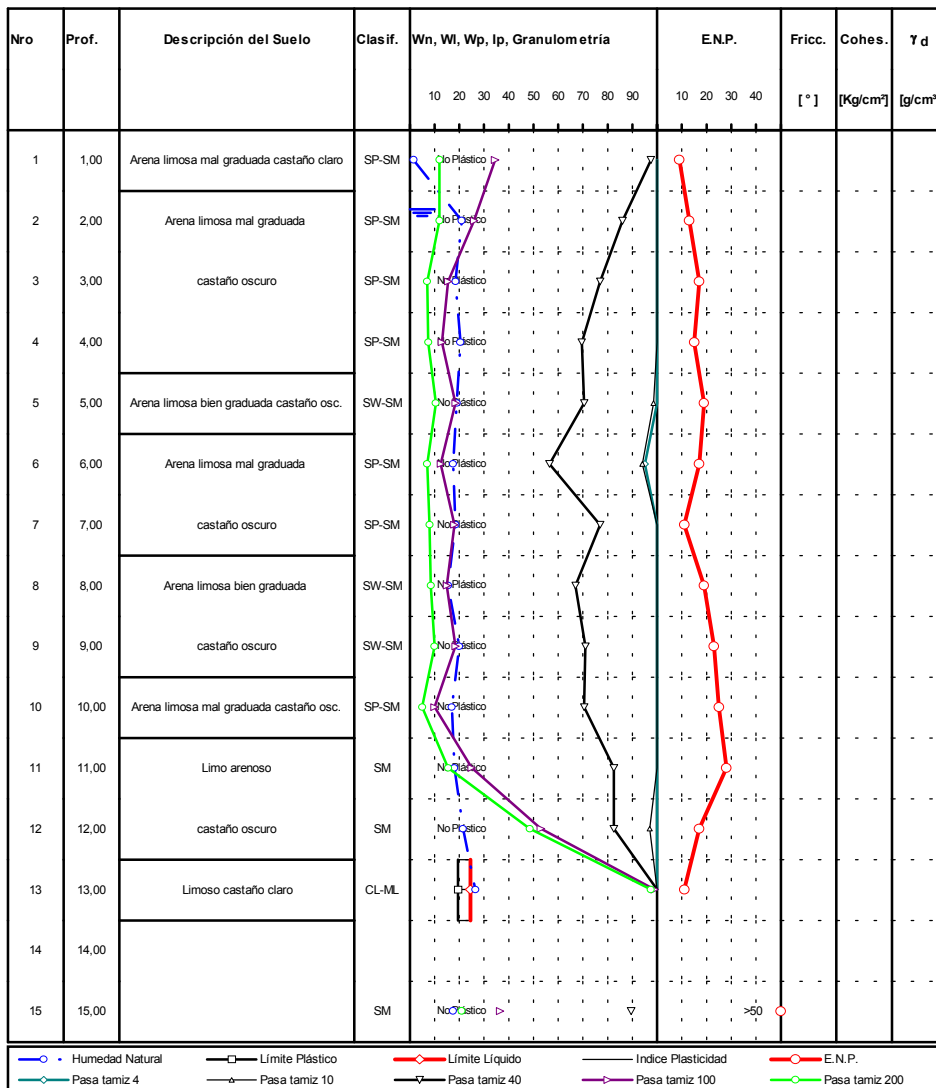


Figura 2

2.2.- Area 2.1 Sondeo N° 38

Los anclajes en ésta área, están instalados en materiales arcillosos o arcillo-arenosos, de mediana plasticidad, del tipo CL y CL-ML, normalmente consolidados, con una compacidad relativa correspondiente a la de los suelos “blandos” a “medianamente compactos”, que se extienden hasta los -9,50m. Posteriormente se ubican arenas limosas del tipo SM hasta los -11,50 m “medianamente densas”. A continuación de este manto y hasta el límite investigado, se ubican suelos limo-arenosos del tipo ML, “medianamente compactos”.

No se detectó la presencia de la napa de agua durante la ejecución del sondeo ni tampoco durante las excavaciones posteriores a los ensayos.

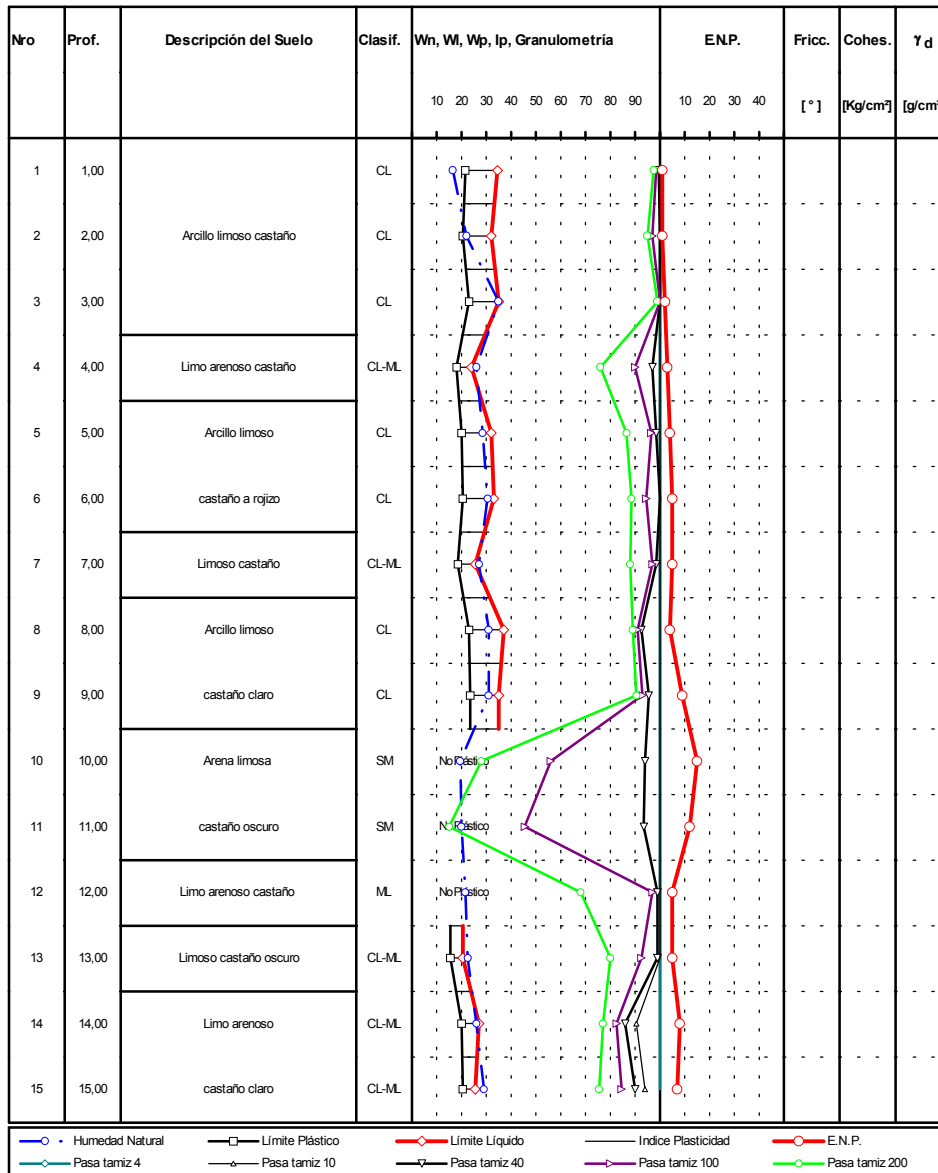


Figura 3

2.3.- Area 2.1 Sondeo N° 15

En el presente sitio los suelos se presentan hasta el nivel de los -3,00 m como limosos con arena fina, del tipo ML, “blandos”, posteriormente y hasta los - 6,50 m se ubican suelos limosos de mayor plasticidad del tipo ML y MH, “compactos”, a continuación y hasta los -12,40 m se detectan arenas limosas del tipo SM, “muy densas”. Finalmente y hasta el límite investigado se observan gravas “densas”.

Las mediciones efectuadas en el frentímetro colocado en el área de trabajo, permiten inferir que la napa no se ubicaba hasta una profundidad de 12,50 m.

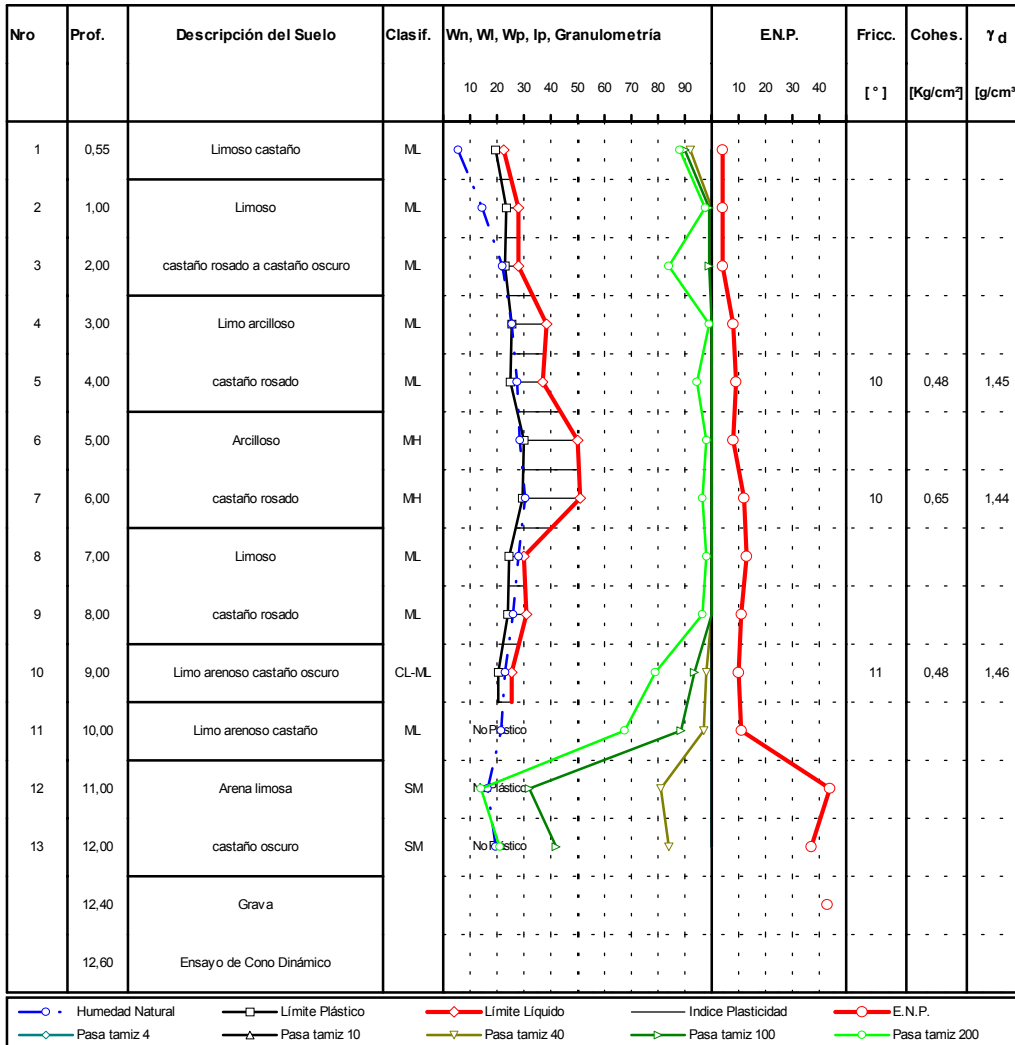


Figura 4

3.- Construcción de los anclajes

Los anclajes de la presente obra, fueron instalados por la Empresa **MyP Cimentaciones Especiales S.A.** básicamente los mismos se ejecutaron mediante la inyección continua de lechada de cemento a través de barras unidas por medio de manguitos de empalme que posteriormente sirve como armadura de anclaje. Estas barras tienen una broca en su extremo inferior como la que se ilustra en la foto de la figura N° 5.

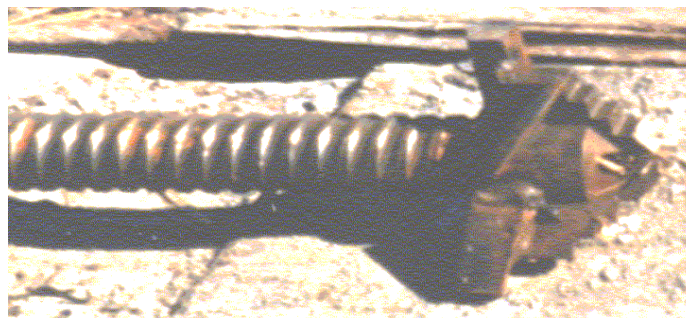


Figura 5

Las barras que conforman el anclaje y que sirven a su vez para construir el anclaje son barras tipo “Ischebeck” que en éste caso particular, tenían las siguientes características geométricas y mecánicas:

Fabricante:	Industrias Delgado S.A.
Diámetro exterior normal:	40,50 mm
Diámetro exterior efectivo:	36,20 mm
Diámetro interno:	16,00 mm
Carga de rotura:	650 kN
Carga de fluencia:	520 kN
Rosca:	Tipo Ischebeck
Longitud de barra:	2 y 3 m
Material de la broca:	Fundición maleable
Tipo:	Broca en cruz
Diámetro externo:	160 mm
Toberas para inyección:	2
Material de los manguitos de empalme:	Acero s/norma SAE J403h
Diámetro externo:	55 mm
Longitud:	140 mm

Para la confección de la lechada de inyección se utilizan agitadores y mezcladores especiales donde se colocan agua y cemento en una proporción de 0,50 o menos en peso.

En las fotos que se muestran a continuación, se puede apreciar la instalación de las barras y la conformación del anclaje con la lechada de cemento.



Foto N° 6



4.- Esfuerzos de diseño

De acuerdo a las especificaciones del Pliego de Bases y condiciones, los anclajes debían ser calculados para resistir los esfuerzos que se detallan en la siguiente tabla

Inclinación del tiro con respecto a la horizontal	50°
Tiro máximo de la rienda con máximo viento angular (Ps)	31,6 tn
Capacidad de carga requerida para los anclajes (Ps x 1,6)	50,6 tn
Capacidad de carga máxima del ensayo	60 tn

5.- Marco de carga para la ejecución de los ensayos.

Dentro de las posibles variantes posibles para conformar un dispositivo de reacción que permitiera realizar con seguridad, los ensayos de tracción de los anclajes, cuyas hipótesis de partida era la inclinación del tiro que debía efectuarse a 50° con la horizontal y con una carga máxima del tiro que debía llegar a las 60 tn, hemos seleccionado la construcción de un trípode, en lugar de una viga de reacción, atendiendo fundamentalmente a la posibilidad que presenta esta estructura en la distribución de las cargas verticales, por la posibilidad de repartir las mismas en tres bases de apoyo y de tomar a las cargas horizontales inclinando las bases articuladas de cada pata para hacer uso de los empujes pasivos del suelo de apoyo.

El trípode es el que se muestra en la foto 7 y tiene aproximadamente 3,50 m de altura, una separación entre patas de apoyos de 4,50 m, conformados por caños de 6" de diámetro y de ½" de espesor.



Foto 7

En cada uno de los tres puntos de apoyo de la estructura de reacción se colocan bases metálicas de 1,50 m x 1,50 m de superficie cada una, unidas a la estructura con rótulas que permiten la inclinación de las mismas.

En el diseño de estos apoyos se ha tenido especial atención en cuidar que las distancias internas entre bordes de las bases, sea siempre mayor a los 3,00 m y que la superficie de apoyo de la base tenga salientes metálicas que colaboren en la generación del esfuerzo cortante necesario, para compensar las cargas horizontales que se generan. No obstante también se implantó en el sitio una retroexcavadora fijada a la estructura mediante una barra rígida para aumentar la reacción horizontal del conjunto.

El esfuerzo de tracción se efectuó con un tensor hidráulico de 100 tn de capacidad construido especialmente para este fin, el cuál se unía a la estructura de reacción y al cáncamo de la barra por sendas bielas biarticuladas.

A los efectos de minimizar los movimientos de la estructura de reacción, fuera de los propios debido a la falla por corte horizontal del terreno de apoyo de las bases, se cuidó que el dispositivo de carga, juntamente con la barra a ensayar a 50° con la horizontal, se alineara en ésta posición con el punto de convergencia de las tres barras que concurren al vértice superior.

6.- Sistema de medición de carga

Para la generación de la carga, se utilizó un tensor hidráulico especialmente fabricado para este fin, apto para generar una carga de 100 tn y con un recorrido máximo de 300 mm.

El cilindro estará comandado por una bomba manual de presión de aceite modelo BM – 10000 con presión de trabajo regulada a 700 bar con válvula de seguridad interna.

Las dimensiones internas del cilindro son tales que para la generación de una carga de 1 tn, era necesario aplicarle una presión de 7 kg/cm².

El dispositivo de medición de la carga tiene dos manómetros de acero inoxidable bañado en glicerina que actúan en paralelo para presiones máximas de 300 kg/cm² y otro de 400 kg/cm², que permitían efectuar lecturas en forma directas de cargas 150 kg.

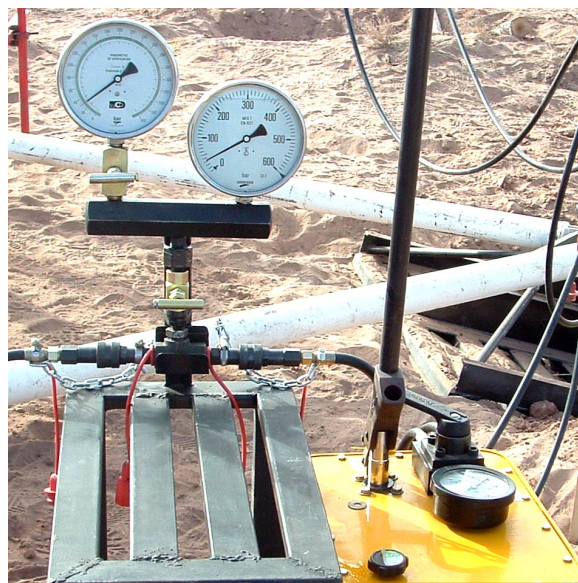


Foto 8

7.- Medición de las deformaciones

Para medir las deformaciones del anclaje durante el ensayo se utilizarán comparadores centecimales, de 50 mm de recorrido máximo, los que se disponen apoyados sobre sendas placas de

vidrio sólidamente unidas a un plato cuadrado de 20 cm x 20 cm con orificio central, fijamente unida a la barra del anclaje mediante una tuerca superior y otra inferior. (Foto 9)

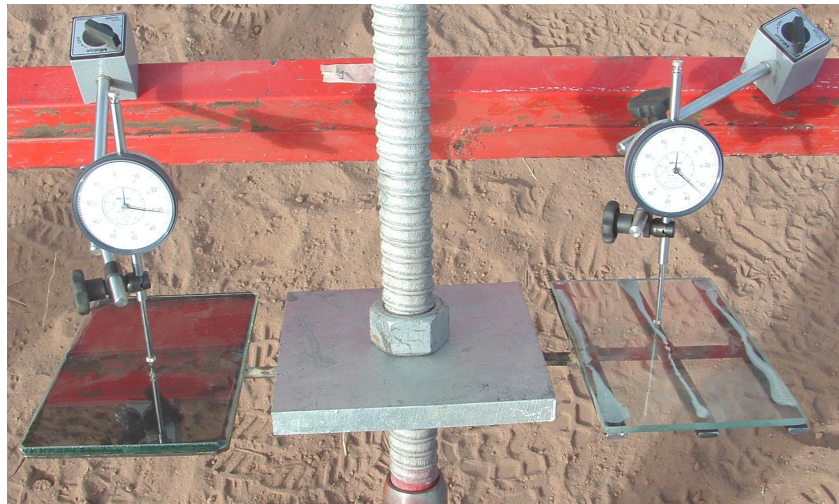


Foto 9

Estos comparadores se colocarán con soportes articulados con bases magnéticas en un marco metálico de referencia que no tiene vinculación alguna con el marco de carga y que se ancla en el terreno, fuera de la zona activa del ensayo.

8.- Cuadro de resultados

Los resultados de los ensayos ejecutados se traducen en los cuadros que se adjuntan a continuación, en ellos se muestra un resumen de resultados, donde indican las distintas series de seis (6) ensayos ejecutados, las cargas características aplicadas y las deformaciones registradas para cada caso.

8.1.- Area 1 - Sondeo 20

Longitud total del anclaje 9,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	60 tn	3 tn
1	14,68	4.59	17.75	6.98	Falló el anclaje				
2	11.34	2.85	Falló el anclaje						
3	16.05	3.95	17.85	5.79	20.27	8.03	Falló el anclaje		
4	14.03	3.48	15.43	3.70	16.33	4.55	Falló el anclaje		
5	15.74	4.33	17.27	5.46	18.75	7.55	Falló el anclaje		
6	17.92	7.51	Falló el anclaje						

8.2.- Area 2.1 - Sondeo 15

Longitud total del anclaje 15,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	60 tn	3 tn
1	11.255	2.21	11.77	2.68	12.2	3.10	21.62	29.61	7.15
2	8.83	0.88	9.15	1.01	9.57	1.11	17.71	24.87	5.14
3	12.50	1.99	13.38	2.71	14.01	3.13	24.69	33.00	8.54
4	10.66	1.67	11.27	1.67	11.49	1.83	20.77	28.46	6.48

5	10.36	1.39	10.95	1.76	11.25	1.92	20.85	28.19	6.27
6	9.02	1.43	9.51	1.85	9.33	1.31	17.49	24.56	4.91

Longitud total del anclaje 18,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	60 tn	3 tn
7	9.00	1.40	9.57	1.58	9.81	1.68	18.73	25.30	5.22
8	11.47	2.06	12.08	2.62	12.39	3.12	21.23	28.30	6.51
9	10.12	1.62	10.55	1.80	10.86	1.94	19.82	27.34	5.51
10	9.62	1.14	10.45	1.62	10.77	1.83	20.29	Se rompió el perno	
11	10.66	1.87	11.17	2.21	11.38	2.35	20.91	28.03	6.18
12	11.21	1.92	11.63	2.15	11.82	2.23	21.66	29.54	6.83

8.3.- Area 2.2 - Sondeo 38

Longitud total del anclaje 12,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	60 tn	3 tn
1	9.35	0.58	9.50	0.71	9.71	0.71	17.81	24.91	4.90
2	10.67	2.26	10.72	2.52	10.88	2.57	18.95	26.65	6.70
3	8.35	1.25	8.55	1.46	8.62	1.50	16.23	22.82	4.44
4	10.47	1.64	10.72	1.92	10.85	2.13	19.47	25.92	5.47
5	8.19	0.73	8.43	0.90	8.72	1.01	16.10	22.70	5.15
6	9.45	1.33	9.71	1.35	9.83	1.41	17.26	24.50	6.14

Longitud total del anclaje 15,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	59 tn	3 tn
7	7.99	0.85	8.20	0.98	8.34	0.98	16.02		4.71
8	9.48	2.24	9.89	2.54	10.20	2.48	18.26	24.77	6.16
9	8.16	1.42	8.31	1.35	8.45	1.47	16.25	22.99	6.12
10	8.89	1.82	9.12	1.89	9.36	1.96	17.26	22.71	5.49
11	9.41	1.97	9.57	1.70	9.74	1.84	17.31	22.62	5.11
12	8.71	1.80	8.50	1.89	8.70	1.93	16.70	22.20	4.91

Longitud total del anclaje 18,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	31,6 tn	3 tn	50 tn	60 tn	3 tn
14	9.35	0.58	9.50	0.71	9.71	0.71	17.81	24.91	4.90
20	8.23	0.74	8.56	0.90	8.73	0.99	15.78	22.05	4.32

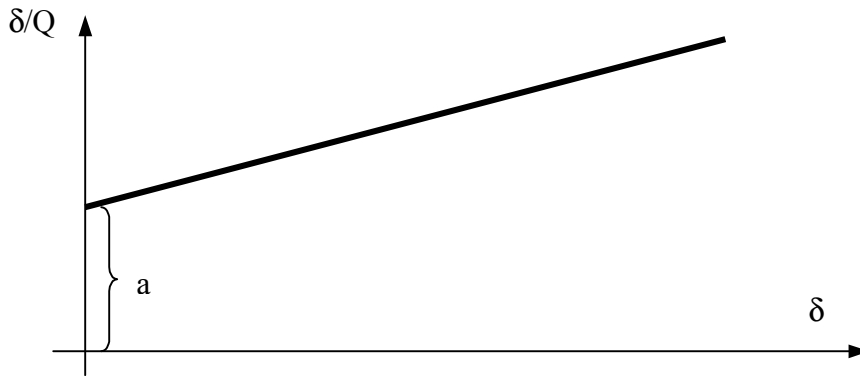
9.- Conclusiones finales

Salvo los anclajes colocados en el Área 1, de 9 m de longitud que fallaron, en los demás anclajes colocados no se ha alcanzado la rotura de los mismos aún cuando en la mayoría de los casos se superó la carga de fluencia de la barra.

Como dato adicional se dan los gráficos de cada ensayo de Carga – Deformación, de cada uno de los ensayos ejecutados. En los ensayos de este tipo, así como en los ensayos sobre pilotes, la parte final de la curva, por lo general se comporta o toma la forma de una hipérbola de ecuación

$$Q = f\left(\frac{1}{\frac{1}{\delta} + Cte}\right)$$

Esta ecuación si es representada en un gráfico donde en ordenada se represente el cociente δ/Q y en abscisa la deformación “ δ ”. Tendremos una recta como la que se muestra en la figura.



Que tiene una ordenada al origen “a” y una pendiente “m” y que por lo tanto puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$\frac{\delta}{Q} = a + m.\delta$$

Si analizamos el límite de ésta ecuación para δ tendiendo a infinito, tendremos que Q tiende al valor de la carga de rotura Q_r y que por lo tanto:

$$\frac{1}{Q} = \frac{a}{\delta} + m \quad \text{nos queda que} \quad m = \frac{1}{Q_r} \quad \text{o lo que es lo mismo} \quad Q_r = \frac{1}{m}$$

Por lo tanto si el ensayo es representado de esta forma y en la parte final presenta una alineación recta, podemos calcular la pendiente de esa parte recta cuya inversa nos dará un valor aproximado de la carga de rotura del anclaje.

Esa representación se ha hecho para cada ensayo y se han calculado las carga de rotura de los mismos, obteniéndose los siguientes resultados:

Área 1. Sondeo N° 20

Longitud total del anclaje 9,00 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.032	31,2
2	0,032258	31.0
3	0.03061	32.7
4	0.03125	32.0
5	0.0325	30.7
6	0.02564	39.0

Carga de rotura promedio 32,8 tn

Área 2.1. Sondeo N° 38

Longitud total del anclaje 15,0 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.0075	133.3
2	0.009375	106.7
3	0.007692	130.0
4	0.009091	110.0
5	0.010526	95.0
6	0.010714	93.0

Carga de rotura promedio 111 tn

Longitud total del anclaje 18,0 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.008928	112
2	0.01	100
3	0.0090909	110
4	0.010526	95
5	0.006944	144
6	0.010526	95

Carga de rotura promedio 109 tn

Área 2.1. Sondeo N° 15

Longitud total del anclaje 12,0 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.008695	115
2	0.009389	106.5
3	0.0121212	82.5
4	0.0108108	92.5
5	0.0121212	82.5
6	0.008571	116.7

Carga de rotura promedio 99.3 tn

Longitud total del anclaje 15,0 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.008264	121
2	0.008333	120
3	0.010417	96
4	0.0113636	88
5	0.007692	130
6	0.0090909	110

Carga de rotura promedio 110.8 tn

Longitud total del anclaje 18,0 m (0,90 m en superficie)

Anclaje N°	Pendiente “m”	Qr tn
1	0.0088235	113.3
2	0.0090909	110

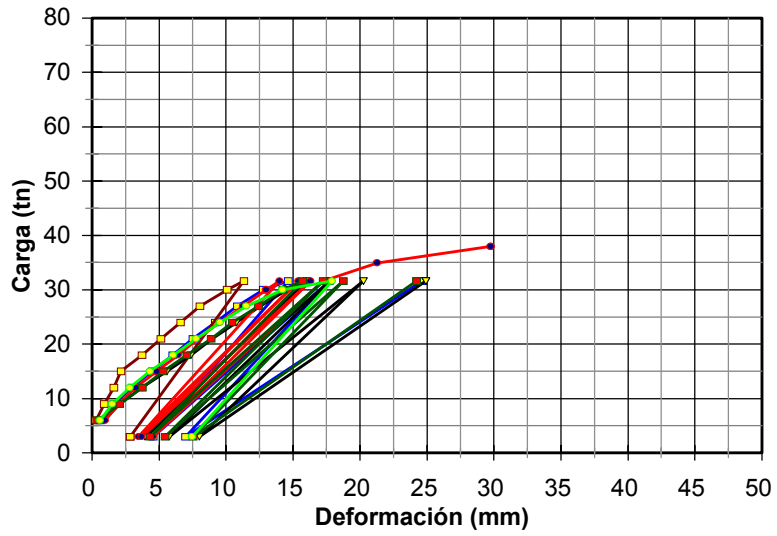
Carga de rotura promedio 111,6 tn

10.- Gráficos de resultados de ensayos.

Dado lo extenso del trabajo, se adjuntan a continuación algunas de los gráficos resultantes de los ensayos realizados.

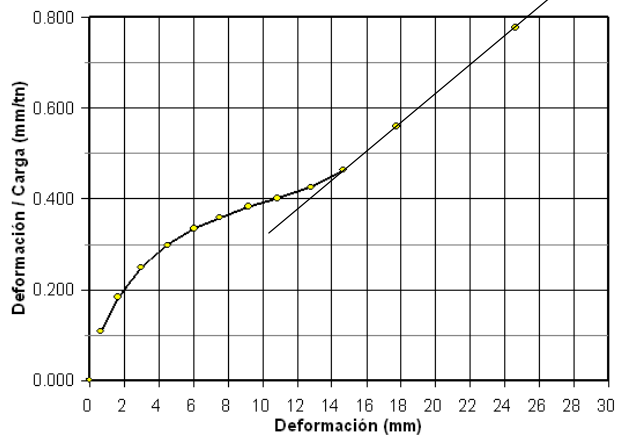
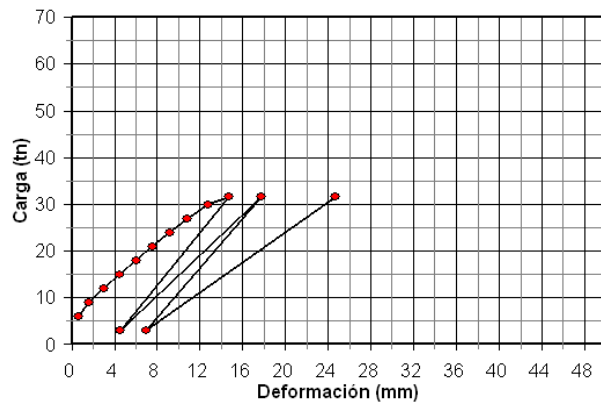
Area 1 - Anclajes de 9 metros

Carga - Deformación



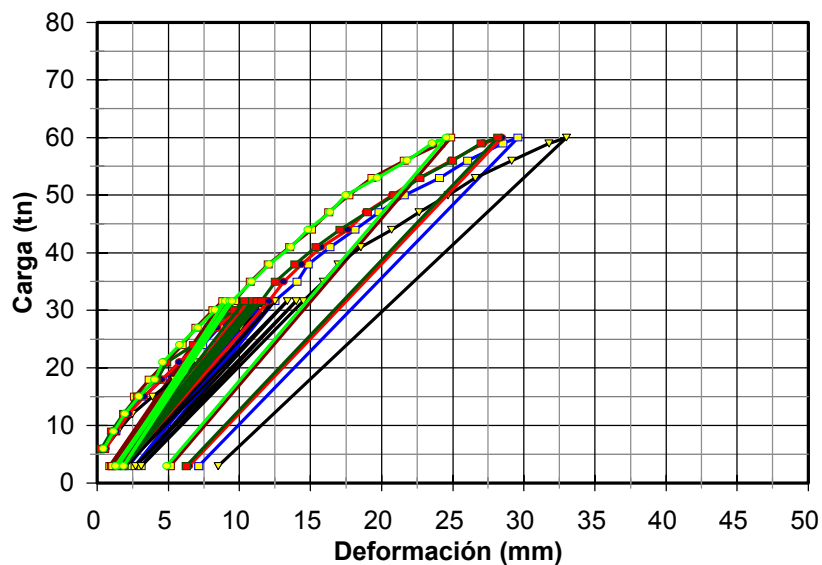
Ensayo de homologación Area 1

Anclaje 1 - Longitud 9 m



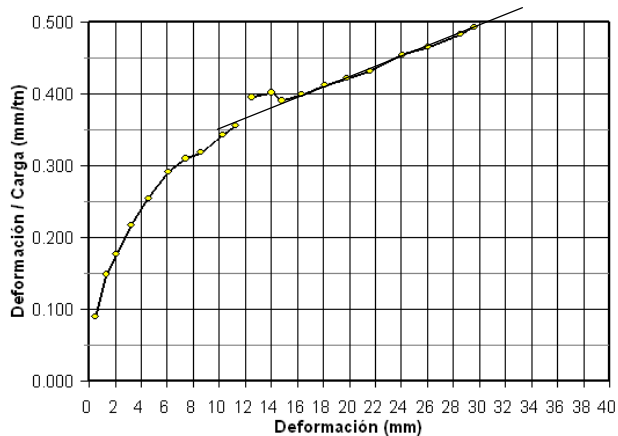
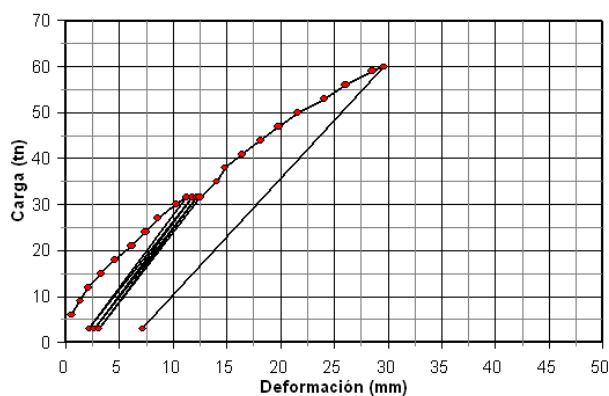
Area 2.1 - Anclajes de 15 metros

Carga - Deformación



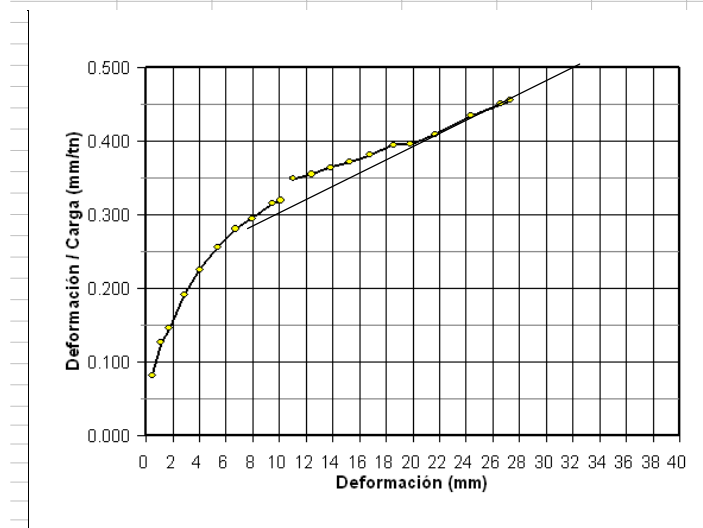
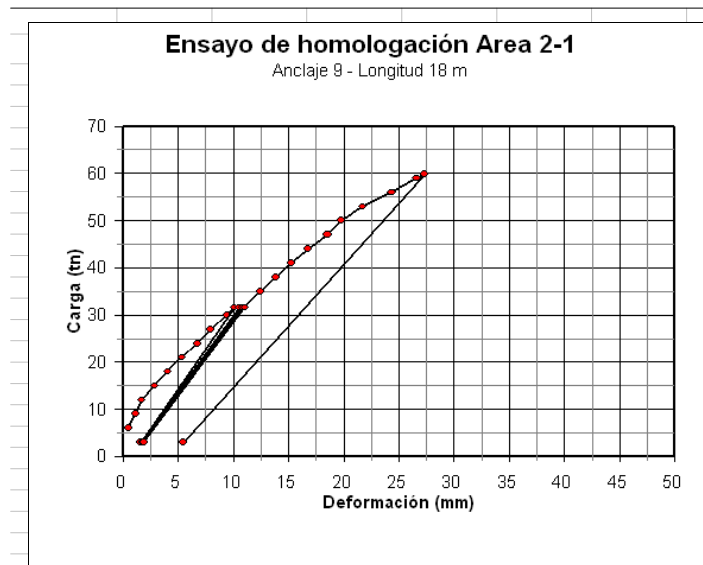
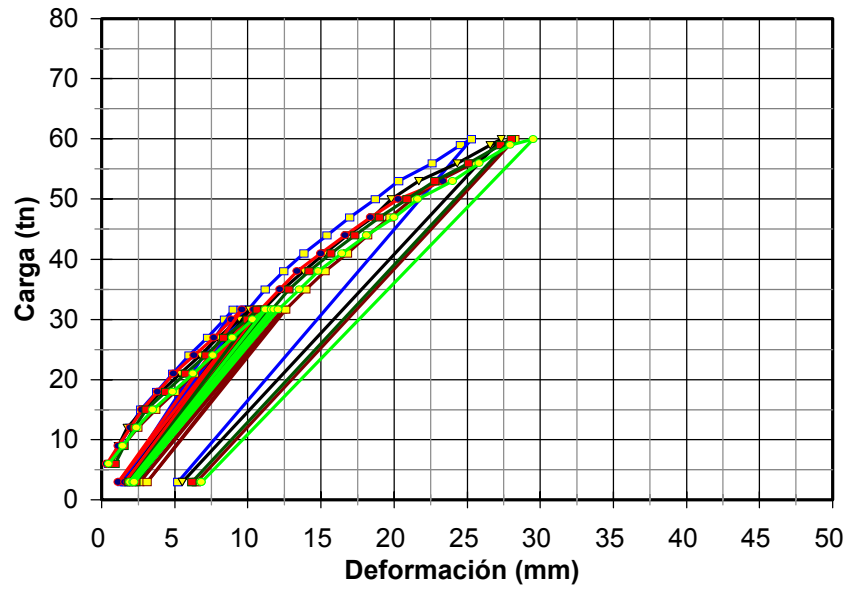
Ensayo de homologación Area 2-1

Anclaje 1 - Longitud 15 m



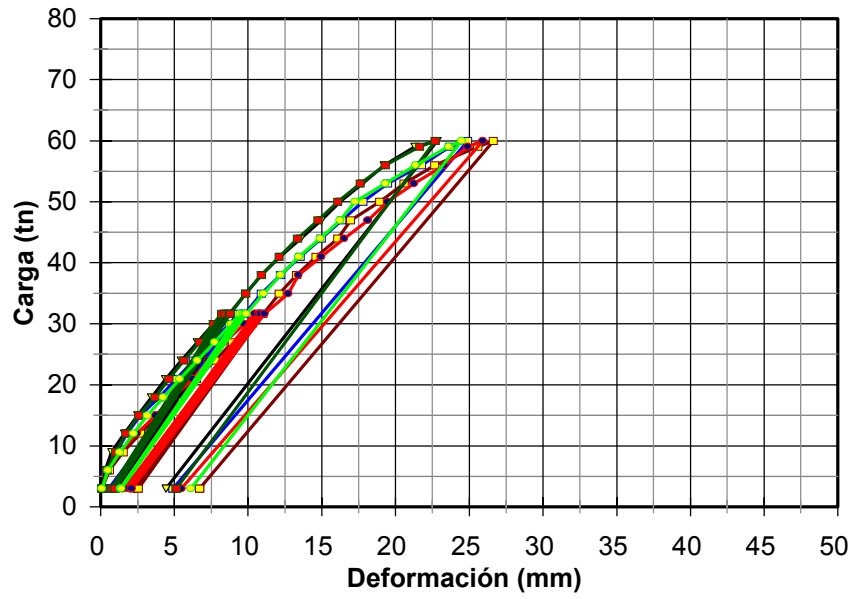
Area 2.1 - Anclajes de 18 metros

Carga - Deformación



Area 2.2 - Anclajes de 12 metros

Carga - Deformación



Ensayo de homologación Area 2-2

Anclaje 2 - Longitud 12 m

