

## TERRAPLEN SOBRE LA MARISMA DE TINA MAYOR EN LA AUTOVIA DEL CANTÁBRICO

**D. Fernando ROMÁN**

Dr. Ingeniero de Caminos. Intecsa-Inarsa

**D<sup>a</sup>. Montserrat ESTACA**

Ingeniero de Caminos. Intecsa-Inarsa

### RESUMEN

En el final del tramo Lamadrid-Unquera la autovía del Cantábrico atraviesa la marisma de Tina Mayor con un terraplén de 4 a 13 metros de altura de proyecto sobre limos algo orgánicos de consistencia floja en los que se intercalan niveles arenosos de mediana densidad. Con la ayuda de sondeos y ensayos de penetración dinámica DPSH y estática CPTU se determinó la estratigrafía de los depósitos así como sus propiedades resistentes y su compresibilidad. Se analizó la estabilidad de los terraplenes y la compresibilidad del cimientto bajo ellos estableciéndose tratamientos del terreno con columnas de grava, saneos y precargas. A medida que el terraplenado fue creciendo se fueron ajustando los parámetros que rigen la consolidación y se estimó el asiento remanen-

te. La estimación de asientos futuros puede ser considerada como acertada y ha motivado que algunos tratamientos opcionales que se plantearon no fueran necesarios.

### 1 INTRODUCCIÓN

El río Deva límite de las provincias de Asturias y Santander en su desembocadura en el Cantábrico da lugar a la formación de una marisma limitada entre dos alineaciones montañosas, la que forma la costa acantilada y aquella en la que en su pie se establece la población cántabra de Unquera. La autovía del Cantábrico en su trazado occidental anterior a Unquera se va apoyando en el pie de esta última alineación montañosa y, para salvar el núcleo urbano, cruza la antigua carretera nacional 634 y discurre sobre los depósitos de

marisma en un trayecto de unos 1.000 metros. Lo hace con un terraplén que se inicia con una altura de 13 metros impuesta por el desmonte anterior y la necesidad de salvar el paso inferior del enlace de Unquera y termina prácticamente en el viaducto sobre el Deva, con una altura de unos 4 metros.

Los depósitos de marisma están constituidos por niveles limosos algo orgánicos de baja resistencia y alta compresibilidad entremezclados con niveles arenosos medianamente densos. Las características de estos suelos hicieron que se cuestionara la estabilidad de los terraplenes y se previera un asiento notable. En la zona del enlace de Unquera, precisamente donde es mayor la altura de terraplén, el espesor de suelos limosos alcanza su

mayor valor con lo cual el problema anterior es mucho más importante.

Por dicho motivo se llevaron a cabo tratamientos del terreno y procesos de construcción que lograron dos objetivos fundamentales: garantizar la estabilidad del terraplén y conseguir que los asientos remanentes fueran admisibles una vez abierto al tráfico o, al menos, que las operaciones de mantenimiento no supusieran unas intervenciones importantes en coste y plazo de actuación.

Intecsa-Inarsa participó en las obras del tramo Lamadrid-Unquera de la autovía del Cantábrico desarrollando trabajos de ingeniería para los contratistas de las obras, FCC Construcción y Dragados O.P, asociados bajo la UTE "San Vicente". En

SECCIÓN I										
Longitud de autovía = 200 m										
Altura = 10-13 m										
Terreno	Prof (m)	SPT	q <sub>c</sub> (kPa)	D. sat (kN/m <sup>3</sup> )	Ang. Roz.	C <sub>u</sub> (kPa)	e	C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /s)	
Limo	0-2,5	0	200	15	0	10	1,6	0,5	3,7x10 <sup>-4</sup>	
Limo	2,5-10,5	0	400	20,2	0	20	1	0,4	5x10 <sup>-4</sup>	
Limo	10,5-14	0	700	19,5	0	30	0,7	0,35	3x10 <sup>-3</sup>	
Arenas	14-14,5	--	1.200	20	36	0	0,5	0,1	0,116	
Limo	14,5-16	0	700	19,5	0	30	0,7	0,35	3x10 <sup>-3</sup>	
Arenas	16-16,5	--	1.200	20	36	0	0,5	0,1	0,116	
Limo	16,5-18	0	700	19,5	0	30	0,7	0,35	3x10 <sup>-3</sup>	
Sustrato	>18	R	R	--	--	--	--	--	--	

SECCIÓN II										
Longitud de autovía = 380 m										
Altura = 5-10 m										
Terreno	Prof (m)	SPT	q <sub>c</sub> (kPa)	D. sat (kN/m <sup>3</sup> )	Ang. Roz.	C <sub>u</sub> (kPa)	e	C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /s)	
Limo	0-2,5	3	200	15	0	10	1,6	0,5	3,7x10 <sup>-4</sup>	
Limo	2,5-4	5	800	20,3	0	35	1	0,4	5x10 <sup>-4</sup>	
Arenas y gravas	4-8	20	20.000	20	36	0	0,5	0,1	0,116	
Limo	8-11	0	--	20,3	0	25	1	0,4	5x10 <sup>-4</sup>	
Limo	11-16	0	--	19,5	0	30	0,7	0,35	3x10 <sup>-3</sup>	
Gravas	16-27	25-40	--	19	38	0	0,5	0,1	0,116	
Sustrato	>27	R	--	--	--	--	--	--	--	

SECCIÓN III										
Longitud de autovía = 370 m										
Altura = 4-5 m										
Terreno	Prof (m)	SPT	q <sub>c</sub> (kPa)	D. sat (kN/m <sup>3</sup> )	Ang. Roz.	C <sub>u</sub> (kPa)	e	C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /s)	
Limo	0-3	8	250	15,5	0	25	1-1,5	0,5-0,6	1,5x10 <sup>-4</sup>	
Gravas	3-10	20-40	R	19	38	0	0,5	0,1	0,116	
Limo	10-18	12	--	20	0	50	0,85	0,16	1,7x10 <sup>-4</sup>	
Arenas y gravas	18-23	R	--	19	35	0	0,5	0,1	0,016	
Sustrato	>23	R	--	--	--	--	--	--	--	

Tabla 1.- Características de resistencia y deformabilidad de los suelos, obtenidas de los reconocimientos.

lo que respecta a este artículo, trabajó en los aspectos geotécnicos relacionados con los tratamientos a ejecutar en los terraplenes sobre estas y otras zonas blandas.

## 2 CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

Para el estudio del terreno se llevaron a cabo trabajos de reconocimiento consistentes en sondeos mecánicos, ensayos de penetración estática (CPTU) y dinámica (DPSH).

En la tabla 1 se resumen las propiedades de los niveles diferenciados en tres zonas de la marisma donde se indican los tramos afectados y la altura de los terraplenes.

La diferenciación en tramos fue debida a las potencias y naturaleza del subsuelo y a la altura de terraplenes y permitió proyectar tratamientos distintos en cada uno de ellos

El sustrato de la marisma son calizas y margas algo alteradas en sus primeros metros.

## 3 ESTABILIDAD

En el estudio de la estabilidad de los terraplenes el espesor de la primera capa de limos poco resistentes fue el factor fundamental pues en el se desarrollaban las superficies de rotura posibles. En la Zona I, del Enlace de Unquera, los limos estaban con potencias de varios metros en las capas superiores lo que motivó que el terraplén fuera inestable incluso con taludes muy suaves. Ello dio lugar a la necesidad de adoptar las siguientes medidas:

- Bermas laterales al tronco de la autovía.

- Mejora de los primeros 12 metros con inclusión de columnas de grava.

- Construcción en fases con un tiempo de espera.

Las bermas laterales no supusieron una ocupación de superficie adicional ya que la existencia del enlace obliga a ramales de entrada y salida a sendas rotondas laterales que minimizaban la afección.

Bajo el tronco de la autovía se ejecutaron columnas de grava vibroflotada a razón de una columna cada 5 m<sup>2</sup> y bajo los ramales de acceso una cada 8 m<sup>2</sup>.

En la sección adjunta se esquematiza el tratamiento adoptado.

En las zona II y III la altura de los terraplenes varía de 4 a 6 metros y se plantearon dos alternativas:

- Saneamiento de la capa limosa de 2-3 metros superior.

- Construcción por fases, o lenta, para ganancia de resistencia al corte.

La consideración de la marisma de Tina Mayor como un espacio natural en el que las obras deberían causar el menor impacto junto con la dificultad de encontrar vertederos donde depositar los limos motivó que la alternativa de saneamiento fuera descartada.

En la segunda alternativa se obligaba a que la construcción se hiciera a razón de

levantar 1 metro de altura cada mes y disponer en las primeras tongadas de un material granular sin finos que permitiera claramente el drenaje por la capa superior así como por el nivel de arenas inferior.

#### 4 ASIENTOS

En los análisis de asientos tras realizarse los reconocimientos complementarios se llegó a la conclusión de que se iban a producir asientos de gran magnitud sobre todo en el enlace de Unquera. Además en este enlace la potencia del nivel de limos superior hacía que los tiempos de consolidación se fueran a plazos muy dilatados incompatibles con los de puesta en servicio. En las zonas II y III, el menor espesor de limos y su confinamiento por niveles arenosos hacía menor el problema de los asientos remanentes.

Se analizaron tratamientos de aceleración de la consolidación mediante la hincas de mechas drenantes y sobrecargas temporales así como el tratamiento de columnas de grava impuesto por los problemas de estabilidad.

En la zona I se decidió un tratamiento con columnas de grava ya que el tratamiento con mechas drenantes aunque eficaz para la consolidación no era suficiente para garantizar la estabilidad de la sección. En las zonas II y III, una vez no considerado un tratamiento con saneo que eliminara una parte importante de los limos superiores, se planteó una sobrecarga temporal para acelerar la aparición de los asientos correspondientes a la rasante proyectada. Sin embargo, esta sobrecarga ocasionaba una inestabilidad adicional a la inicialmente planteada. Por ello se deci-

dió esperar a conocer la evolución de los asientos durante el levantamiento de la sección normal y si fuera necesario actuar posteriormente con sobrecargas y bermas adosadas en el pie.

Factores diversos derivados de la planificación del movimiento de tierras que se vio afectado por problemas de estabilidad de los desmontes cercanos hicieron que no se pudiera acometer el terraplén en las secuencias inicialmente planificadas. Por ello, el tratamiento con columnas de grava de la zona I se inició con cierto desfase y el ritmo de terraplén en las tres zonas fue distinto del contemplado en el análisis inicial de los asientos.

Los terraplenes fueron instrumentados con hitos y placas de medición de asientos durante la construcción y posteriormente mediante hitos topográficos establecidos sobre la rasante final. Las placas fueron colocadas sobre el terraplén que se vertió inicialmente para poder trabajar por encima del nivel freático y en condiciones de seguridad para los equipos. Dicho terraplén alcanzaba alturas del orden de 1 a 2 metros según las zonas.

Con el terraplén prácticamente finalizado se rehizo el análisis de los asientos a la vista de los medidos durante el levantamiento del terraplén. Con este análisis se reconsideró el parámetro de "velocidad de consolidación" en términos de  $C_v/H^2$  y se hizo asimismo un análisis de sensibilidad acerca de la posible variación del índice de compresión primaria  $C_c$  con el fin de ajustar las curvas teóricas con las reales medidas. En este análisis se ha tenido en cuenta que las placas fueron colocadas sobre una explanada que llevaba tiempo

colocada y sometida, por tanto, a la consolidación del cimientó bajo su peso. De hecho, se realizaron catas para verificar espesores de terraplén colocado contrastándolos con las mediciones de cotas topográficas.

El resultado se puede ver en los gráficos siguientes donde se representa:

- La secuencia real de terraplenado
- Los asentamientos medidos durante la construcción.
- La estimación teórica de los asentamientos que mejor se ajusta a los medidos durante la construcción.

Con estos gráficos se pudieron estimar los asentamientos remanentes en la fase de servicio llegando a las conclusiones siguientes:

- Los valores absolutos eran admisibles.
- El ritmo de aparición de asentamientos era asimismo compatible con el uso y seguridad de la calzada.
- El posible rasante general de las calzadas, de ser necesario, lo sería a muy largo plazo.

Sobre estos mismos gráficos se ha añadido la auscultación disponible hasta abril de 2003 donde se puede ver que las conclusiones establecidas eran acertadas.

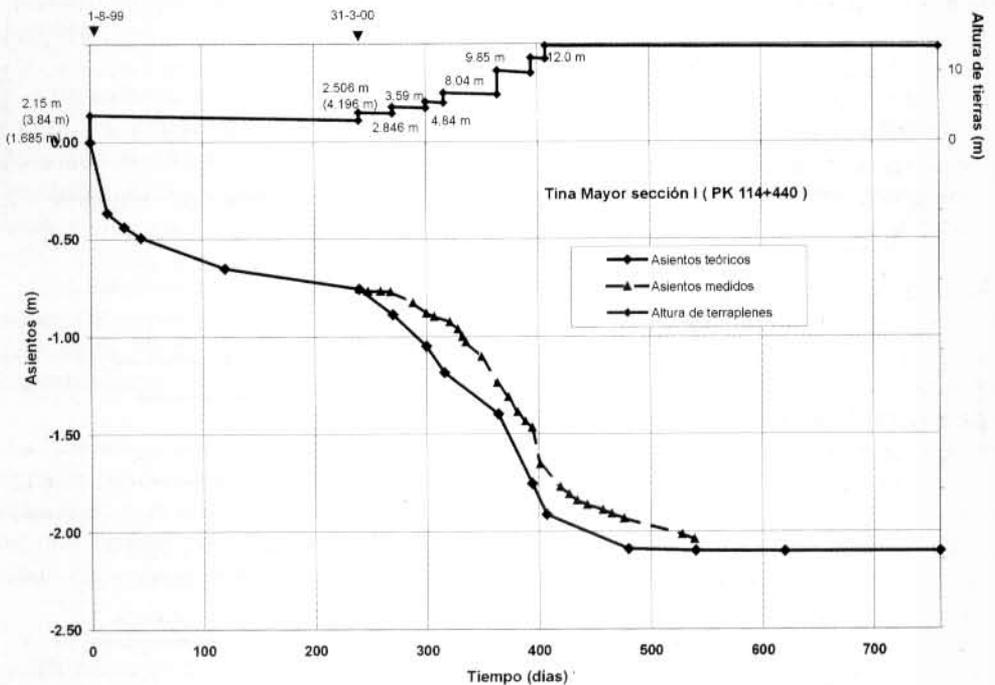


Figura 1.-Asentamientos registrados en la sección I

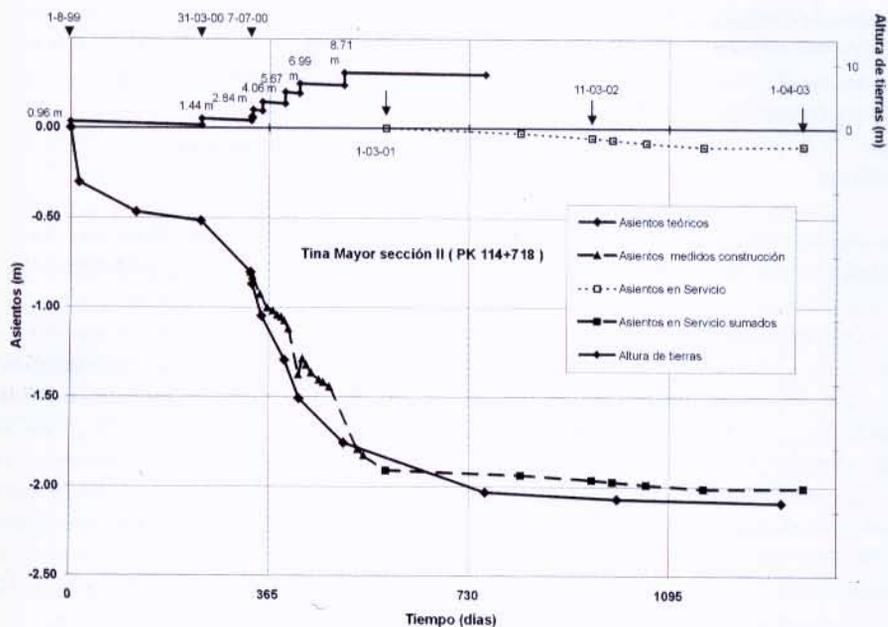


Figura 2.-Asientos registrados en la sección II

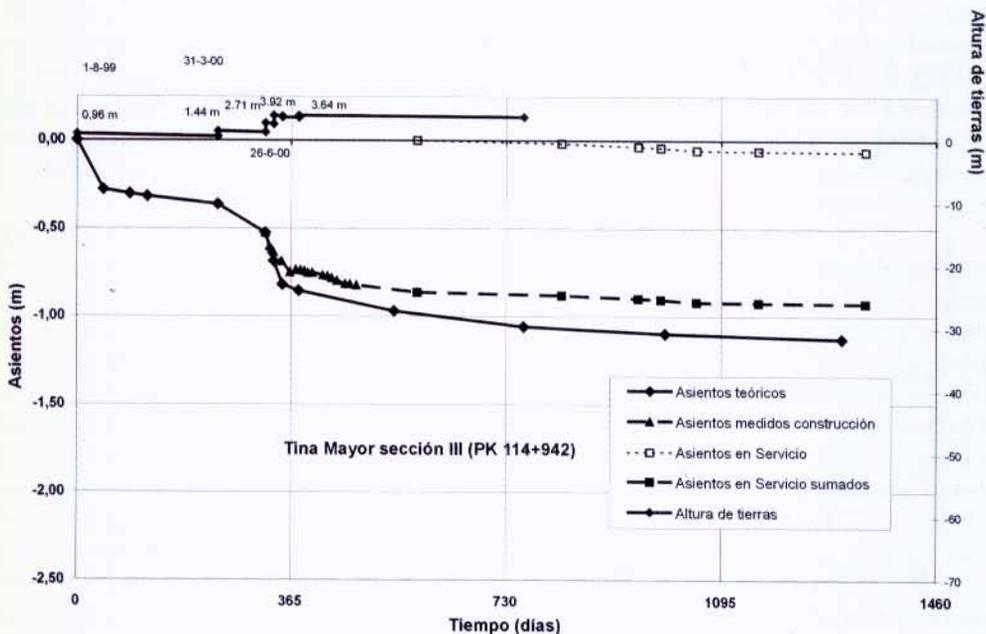


Figura 3.-Asientos registrados en la sección III

## 5 CONCLUSIONES SOBRE ASPECTOS GEOTÉCNICOS A RESALTAR

A la vista del comportamiento de estos suelos y del tratamiento realizado merece la pena resaltar los aspectos siguientes:

En primer lugar cabe destacar que se han medido asientos de más de 2 metros para alturas de 10 metros de terraplén y espesores de 18 metros de depósitos. Esto supone más de un 10% de deformación y un módulo de deformabilidad global del orden de 1.800 kPa ( 18 kg/cm<sup>2</sup>) para los suelos de marisma.

El hecho de que el terraplén haya asentado mas de 2 metros supone que "han desaparecido" bajo la superficie del terreno natural más de 120.000 m<sup>3</sup> de tierras que han tenido que aportarse de nuevas fuentes.

En estos suelos poco o nada consolidados es importante considerar los asientos que se producen desde el inicio de cualquier terraplenado por pequeño que sea.

El tratamiento con inclusiones de columnas de grava ha mejorado el terreno notablemente. No se ha visto ningún signo de inestabilidad.

Dichas columnas de grava han funcionado claramente como drenes verticales acelerando la consolidación de tal forma que se iban produciendo prácticamente al ritmo de la construcción.

El tratamiento con estas columnas de grava ha permitido cimentar la estructura del Enlace de Unquera directamente

sobre un suelo mejorado y precargado. Aunque se ha manifestado posteriormente algún ligero asiento, la estructura se ha comportado perfectamente. Cualquier otra solución con una cimentación profunda hubiera supuesto asientos diferenciales inadmisibles entre la estructura - de asientos nulos - y el terraplén de acceso con asientos remanentes por producirse.

El reajuste de las curvas teóricas de asiento a la luz de los asientos medidos ha permitido hacer una estimación razonable de los asientos en el período de servicio y descartar medidas adicionales

## 6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UTE San Vicente (FCC Construcción y Dragados O.P) y a la Demarcación de Carreteras de Cantabria su autorización para la publicación de este artículo.