

JORNADA SOBRE EXPERIENCIAS RECIENTES EN ESTRUCTURAS DE TIERRA PARA INFRAESTRUCTURAS VIARIAS

COMUNICACIÓN:

**MODERNIZACIÓN DEL EUROCORREDOR V:
BRATISLAVA – TRNAVA**

**UTILIZACIÓN COLCHÓN DE GEOCELDAS
TENSAR COMO CIMENTACIÓN DE
TERRAPLENES SOBRE SUELOS BLANDOS**

Madrid, 10 de Febrero de 2011

AUTORES:

Enrique Gómez de Priego Fernández
Tensar International
+34 91 156 52 03
egomez@tensar.es
www.tensar.es
www.tensar-triax.es

Daniel Santillán Gutiérrez
Teconma
+34 91 662 33 12
sgd@teconma.es
www.teconma.es

RESUMEN: La construcción de terraplenes de obras lineales sobre suelos blandos a menudo se enfrenta a problemas de asentamientos, tanto en términos de magnitud de los asientos como de tiempos de construcción y de consolidación, que requieren algún tipo de tratamiento en la base del terraplén. En la mayoría de los casos el asentamiento en sí mismo no es el principal problema. En estos casos el verdadero problema son los asientos diferenciales no controlados y los largos períodos de consolidación. La tecnología para la cimentación con asientos controlados se basa en un colchón especial de celdas. La incorporación de un Colchón de Geoceldas en la base proporciona una plataforma relativamente rígida que permite la construcción rápida y eficiente del terraplén mientras se controla el asentamiento y se acelera el proceso de consolidación. Esta tecnología innovadora es descrita en esta comunicación junto con el ejemplo de la construcción de un terraplén para una línea de ferrocarril con los resultados de la monitorización de asientos y desplazamientos horizontales. Los beneficios tanto económicos como en la práctica son muy significativos en comparación con otros métodos o sistemas más convencionales.

1. CONCEPTO TEÓRICO COLCHÓN DE GEOCELAS

El concepto de Colchón de Geoceldas como sistema de cimentación fue desarrollado por *Jenner et al*⁴ (1988) y está basado en la formación de un sistema de celdas triangulares de 1 metro de canto formadas por geomallas monolíticas rígidas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) sobre una plataforma formada por una geomalla TriAxTM (Figuras 1, 2 y 3)



Fig 1: La geomalla TriAxTM proporciona una plataforma de trabajo sobre suelos blandos

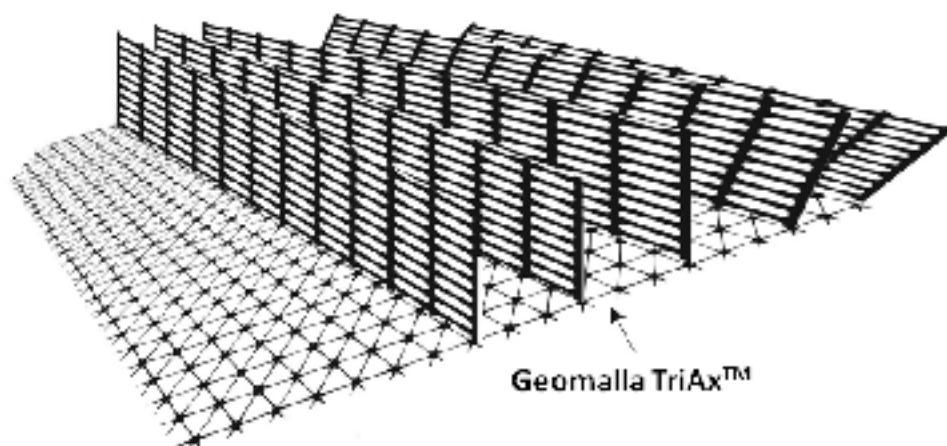


Fig 2: Detalle de la base del Colchón de Geoceldas con geomallas TriAxTM y geomallas monolíticas rígidas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)



Fig 3: Concepto del Colchón de Geoceldas Tensar como sistema de cimentación

Este sistema crea una placa relativamente rígida en la base del terraplén lo que permite que las cargas sean distribuidas de manera uniforme sobre el suelo de cimentación proporcionando un asentamiento regular. Esto es exactamente lo contrario a lo que ocurre cuando tenemos un terraplén sin reforzar o con un geotextil de alta resistencia como refuerzo. En estos casos la deformación tiende a ser cóncava con mucho mayores asientos en el centro y prácticamente sin asientos en los extremos.

Las características de estas celdas triangulares de 1 metro de canto proporcionan un gran confinamiento al relleno del colchón lo que modifica el mecanismo de deformación forzando la rotación del círculo de deslizamiento potencial para que pase prácticamente perpendicular a través del colchón y de la superficie de contacto entre el colchón y los suelos de cimentación (Figura 4).

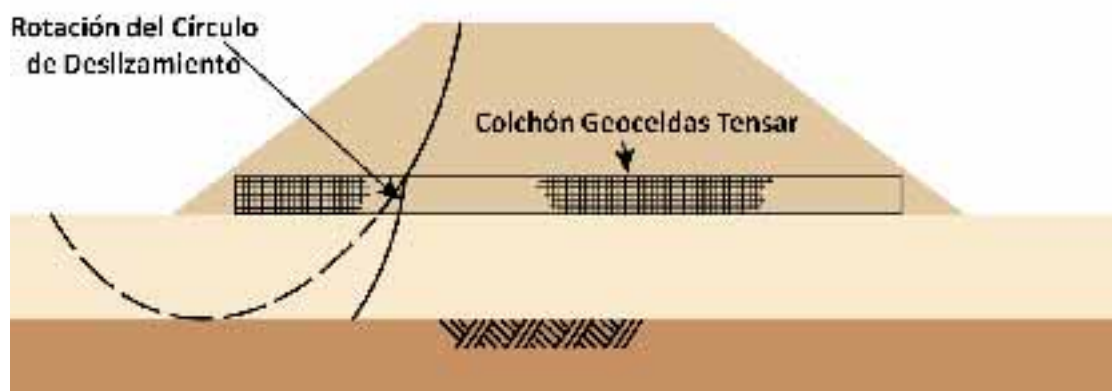


Fig 4: Rotación del círculo de deslizamiento

Esto significa que conseguimos un aumento del Factor de Seguridad y que el terraplén puede ser construido hasta la totalidad de su altura mucho más rápido de lo que sería posible de otra forma (Figura 5).



Fig 5: Aumento del factor de seguridad

Como se fuerza a que el círculo de deslizamiento sea más profundo, en el caso especial en que el espesor de la capa de suelos blandos sea relativamente pequeña comparada con el ancho del Colchón de Geoceldas, se modifica el mecanismo de fallo de la cimentación pasando a ser por desplazamiento lateral plástico de los suelos blandos. En este caso especial, este mecanismo de desplazamiento lateral plástico (fluencia plástica) puede generar un importante aumento de la capacidad portante (Figura 6)

La combinación de Colchón de Geoceldas con drenes verticales es muy potente ya que el colchón granular no solo proporciona la rigidez y distribución uniforme de la carga a los suelos de cimentación sino que también es capaz de actuar como una capa drenante permitiendo la rápida disipación de la presión intersticial.



Fig 6: Fluencia plástica

2. DISEÑO COLCHÓN DE GEOCELAS

El diseño del sistema de cimentación basado en Colchón de Geoceldas Tensor está sólidamente establecido y descrito en la norma *BS8006*⁵ (*British Standard*) y en *Jenner et al*⁴. Los cálculos de la capacidad portante / resistencia a la fluencia plástica están basados en el modelo de “*Pressing of metals and the plastic flow of a metal between two stiff rigid platens*” – *Johnson and Mellor*⁶. Se analizan los planos de deslizamiento para determinar la carga máxima requerida para provocar la fluencia plástica y, por tanto, determinar si el suelo de cimentación es competente para soportar la carga ocasionada por el terraplén.

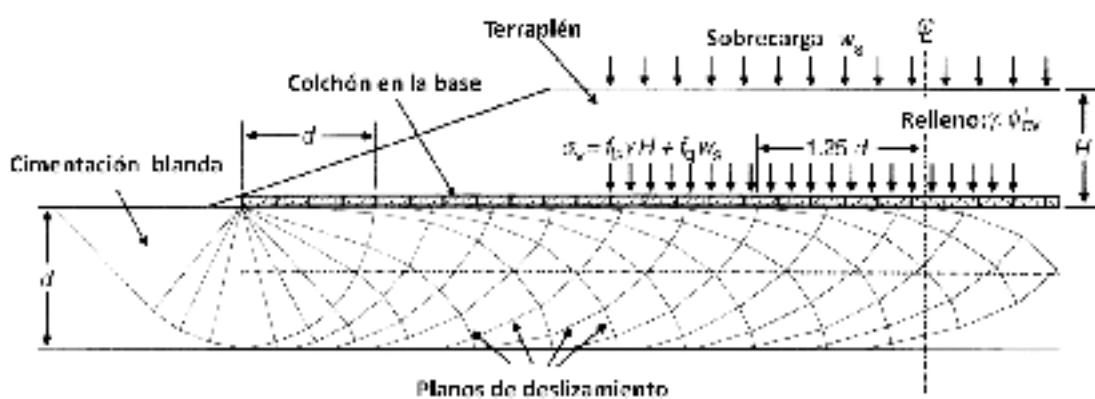


Fig 7: Planos de deslizamiento

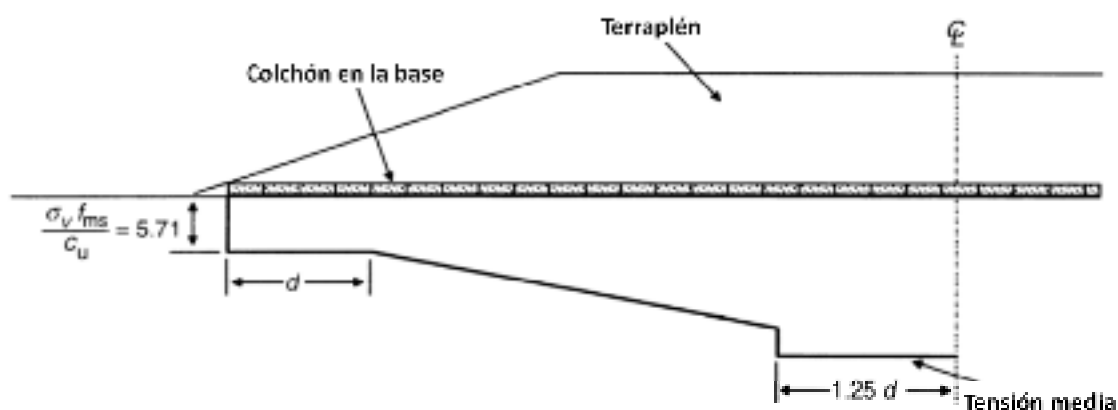


Fig 8: Diagrama de presiones para cimentación con Colchón de Geoceldas Tensor

El paso final del diseño es la comprobación de la resistencia en la dirección horizontal del Colchón de Geoceldas Tensar que se realiza utilizando el círculo de Mohr – Coulomb para tensiones horizontales.

3. APLICACIÓN MODERNIZACIÓN LÍNEA BRATISLAVA – TRNAVA

La modernización de las vías del ferrocarril entre Bratislava y Trnava formó parte de la actualización de las infraestructuras de uno de los mayores corredores ferroviarios europeos que se realizó después de la integración de Eslovaquia a la Unión Europea. Un estudio del trazado en la zona de Senkvice realizado por las autoridades ferroviarias eslovacas determinó que dicho trazado debería ser corregido en una longitud aproximada de 3 km debido a los requerimientos más exigentes de los trazados de las líneas de alta velocidad (Figura 9). Este nuevo trazado tendría un radio de curvatura en planta mayor, lo que permitiría aumentar la velocidad para que fuese acorde con las exigencias generales de calidad en la línea. Las razones del trazado original fueron claras cuando se examinaron los suelos de cimentación de la zona por la que debería pasar el nuevo trazado ya que eran suelos muy blandos y con un nivel freático alto, sólo a 0,5 – 1,5 metros por debajo de la superficie. El nuevo trazado, además, necesitaba zonas de transición entre los terraplenes y los estribos de puentes sobre pilotes, ya que el trazado cruzaba dos canales.

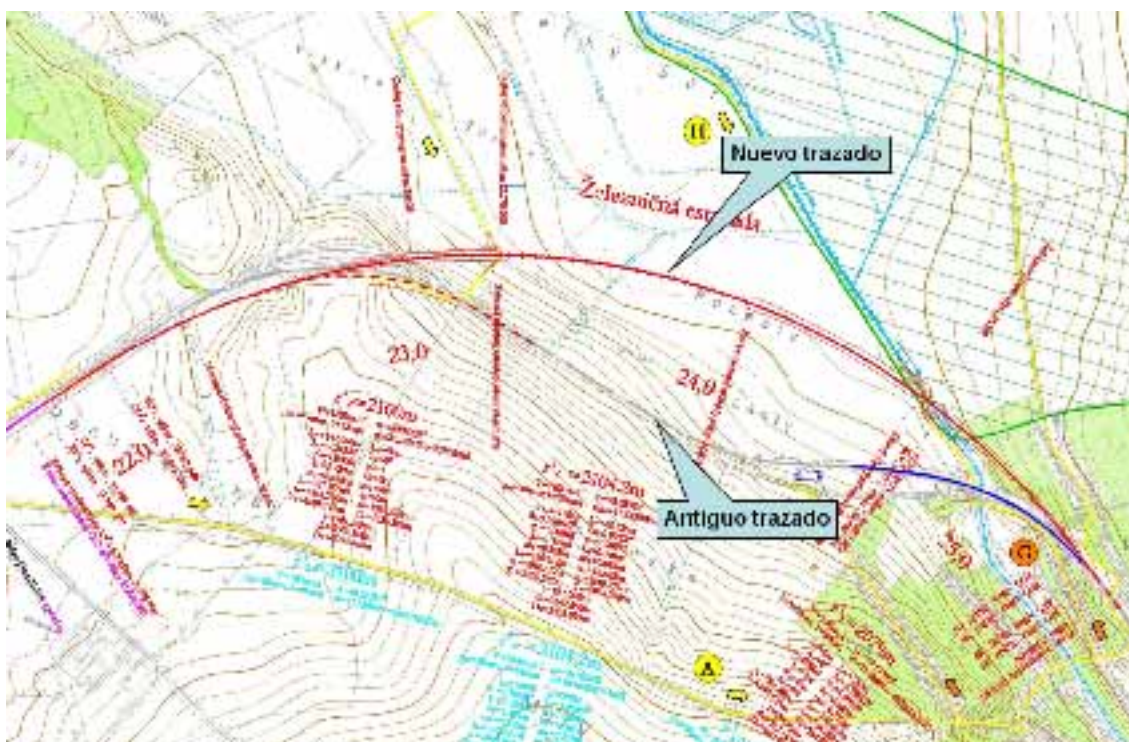


Fig 9: Planta trazados ferrocarril (tramo de Senkvice)



Fig 10: Vista aérea de los trazados

4. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Las Autoridades Ferroviarias Eslovacas habían especificado varios requisitos además del aumento de velocidad hasta los 160 km/h. Este requisito de velocidad implica limitaciones en los asientos diferenciales y, por tanto, cualquier solución elegida debería dar un control adecuado tanto a los asientos totales como a los diferenciales. Las zonas de transición entre los terraplenes y los estribos de puentes originaban los problemas más difíciles en términos de asientos diferenciales.

Las Autoridades Ferroviarias también requerían que el ferrocarril estuviese abierto al tráfico tan pronto como los puentes estuviesen terminados. La altura de los terraplenes era en su mayoría de 7.0 m y, por tanto, el método de construcción y el ratio de consolidación de los suelos blandos de cimentación eran críticos para el éxito del proyecto.

El diseño de los terraplenes está descrito con detalle en *Matys et al²* y describe toda la monitorización de la construcción. La combinación de los drenes verticales y el Colchón de Geoceldas Tensar de un metro de canto proporcionan una solución muy rápida, eficiente y económica para los problemas encontrados en este proyecto. Además, otros métodos más intrusivos como la construcción del terraplén sobre pilotes hubiesen sido muchísimo más caros con la dificultad añadida de realizar los trabajos con la maquinaria pesada necesaria directamente sobre suelos muy blandos. La utilización de refuerzo de geomallas rígidas monolíticas en los taludes del terraplén permitió hacerlos más verticales manteniendo la estabilidad global. La velocidad final de construcción fue mucho más rápida de la estimada en un principio con unos tiempos de espera entre las distintas fases de construcción más pequeños de los

inicialmente previstos por el proyectista. La monitorización intensiva de la presión intersticial y de los asentos permitió que se utilizaran todas las ventajas de este tipo de cimentación y que la construcción fuese muy rápida.

La observación de la evolución de la presión intersticial mientras se llevaba a cabo la construcción mostró el resultado habitual cuando se utiliza el Colchón de Geoceldas Tensar y es que no se produjo un gran aumento de presión intersticial como inicialmente estaba previsto y, por tanto, las distintas fases de construcción no necesitaron largos tiempos de espera entre ellas.

5. RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN

El sistema de monitorización está descrito en detalle en *Matys et al*² con una exhaustiva disposición de equipos para medir la presión intersticial y los asentos (Figura 11).

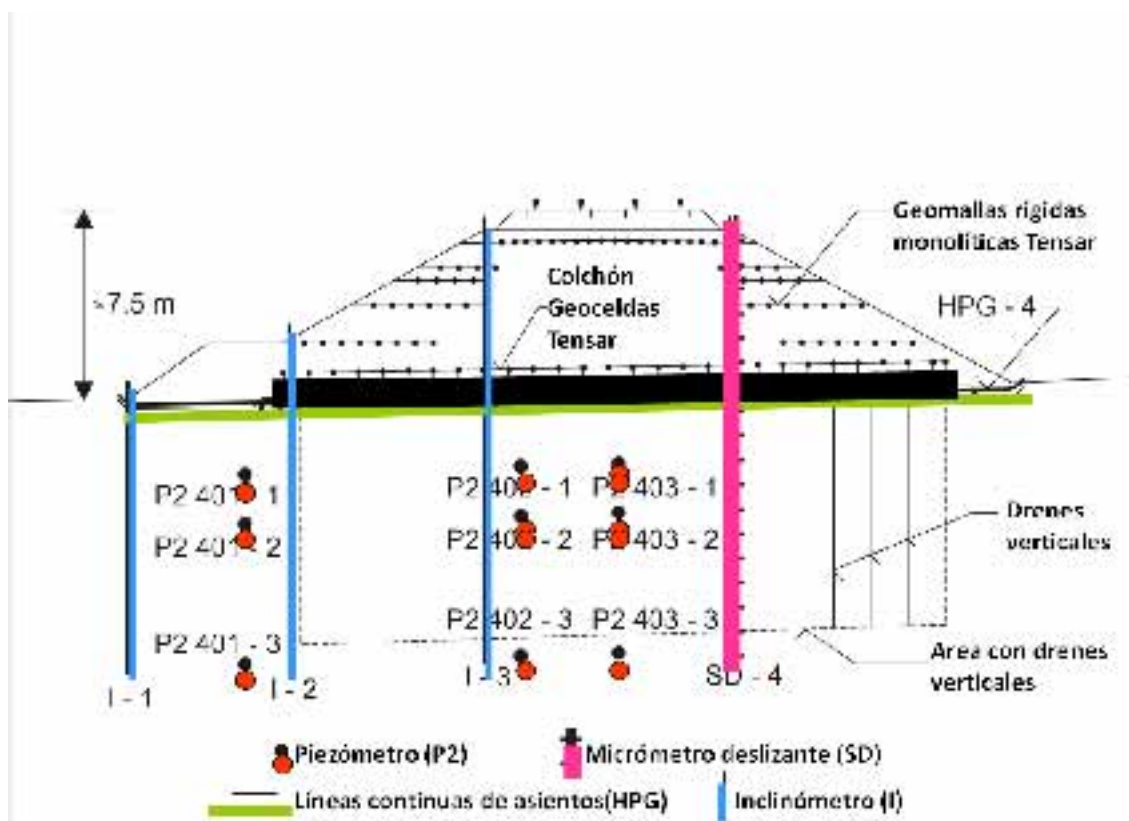


Fig 11: Ejemplo de los sistemas de monitorización (IS – 4)

Las líneas continuas de asiento (hydrostatic profile gauges) proporcionan una valiosa confirmación del asentamiento bajo un terraplén sobre suelos blandos con un Colchón de Geoceldas en la base. Había cierta controversia sobre la validez del asentamiento uniforme frente a la deformación cóncava que se espera para un terraplén sin refuerzo o con un geotextil de alta resistencia como refuerzo. Modelos numéricos sugerían que la rigidez del colchón no tendría un efecto significativo en la forma en que se produciría el asentamiento final— Symes⁷.

Sin embargo, la monitorización in situ de este proyecto demostró el desarrollo de un asentamiento muy uniforme y regular. Las mediciones realizadas en Octubre de 2003 confirman la deformación típica de estos sistemas de cimentación con asientos máximos muy inferiores a los valores previstos por los modelos para terraplenes sin refuerzo o con geotextil (Figura 12).

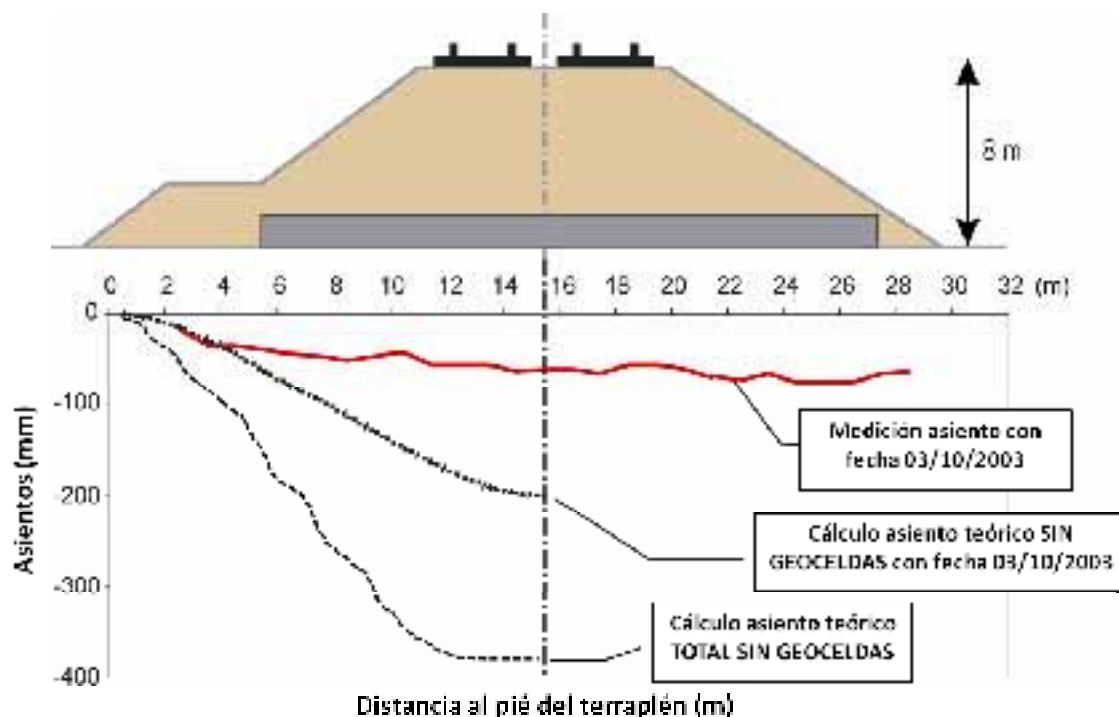


Figura 12: Asientos en Octubre de 2003

El tráfico ferroviario se inició en 2005 y se continuó con la monitorización teniendo datos disponibles para esta comunicación hasta finales de 2006. La evolución de los asientos puede verse claramente en la Figura 13 con un máximo de tan sólo 35 mm después de casi 3 años junto con un asentamiento muy uniforme. En los 7 meses transcurridos entre las dos últimas mediciones (Abril 2006 – Noviembre 2006) no se produjeron asentamientos incluso aunque la línea estaba en servicio.

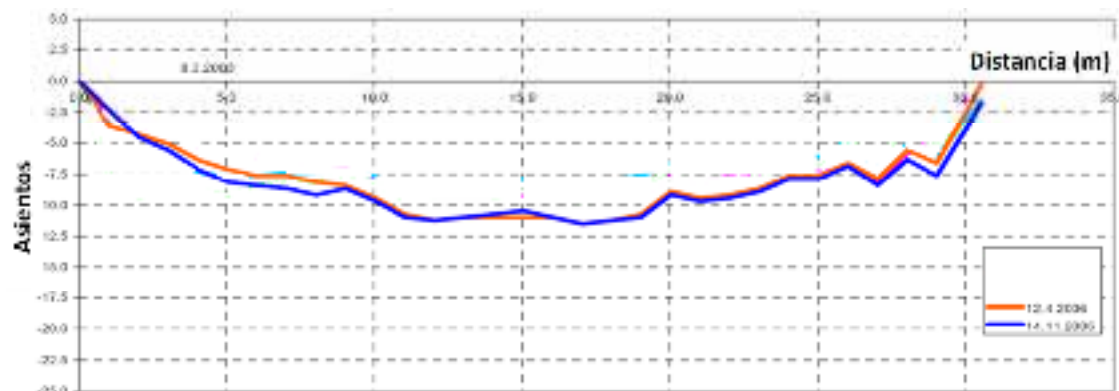


Fig 13: Evolución asientos Abril – Noviembre de 2006

6. ZONAS DE TRANSICIÓN

Las vistas aéreas del proyecto (Figuras 14 y 15) muestran claramente las zonas de transición que eran las más críticas del proyecto en términos de posibles asentamientos diferenciales.



Fig. 14: Vista aérea del cruce con el canal central.



Fig 15: Vista aérea del Colchón de Geoceldas Tensar

Los detalles de la zona de transición fue una combinación de Colchón de Geoceldas en las base del terraplén con geomallas rígidas monolíticas en el relleno del trasdós del estribo del puente sobre pilotes y una losa de transición encima (Figura 16). El comportamiento de estas zonas de transición han demostrado que los asentamientos teóricos inicialmente calculados de 300 a 400 mm estaban bastante sobreestimados y no ha habido ningún corte de tráfico desde su puesta en servicio en 2005. El comportamiento de esta solución en estas zonas tan complejas ha sido excepcional.

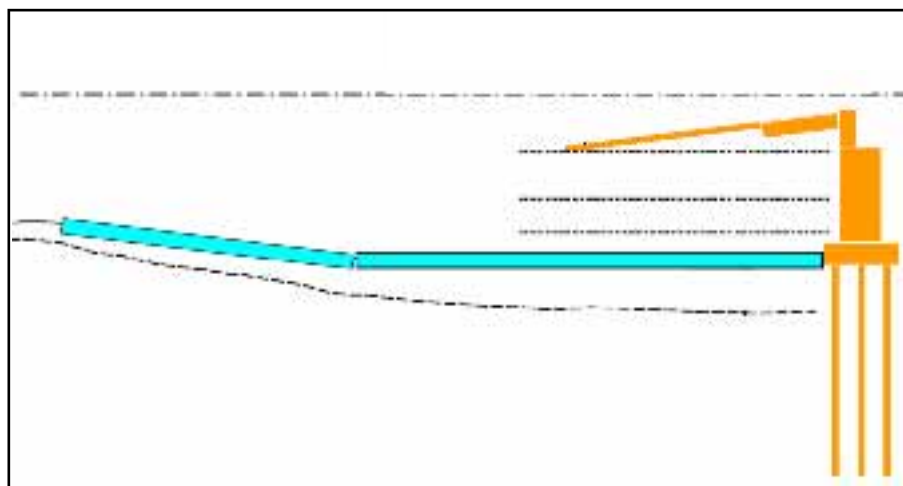


Fig. 16: Detalle de la zona de transición

7. CONCLUSIONES

La utilización del Colchón de Geoceldas Tensar en la base de un terraplén sobre suelos blandos puede proporcionar una solución técnica muy eficiente para un problema difícil:

1. Permite controlar la magnitud de los asentamientos y que éstos sean uniformes y regulares, minimizando los asentamientos diferenciales (esta técnica no elimina el asentamiento)
2. Los beneficios económicos de este tipo de solución comparado con otros tratamientos como pilotes u otras técnicas de mejora de terrenos son enormes.
3. La construcción de un Colchón de Geoceldas proporciona una ventaja adicional ya que toda la maquinaria de construcción puede pasar por encima del colchón evitando los típicos problemas y dificultades de trabajar directamente sobre suelos blandos. Sólo es necesario que el personal encargado de la construcción del Colchón de Geoceldas camine directamente sobre los suelos blandos permitiendo que la superficie sea alterada lo menos posible.

8. REFERENCIAS

1. Jenner C G, Turinic L, Baslik R. Use of cellular Geocell Mattresses as embankment foundations. Proceedings of the Second BGA International Conference on Foundations. Dundee, Junio, 2008.
2. Matys M, Turinic L, Baslik R. Geosynthetic reinforced high railway embankment: design and monitoring. Proceedings of EuroGeo 3, the Third European Geosynthetics Conference, Munich, Marzo, 2004.
3. Duffin J P, Jenner C G. Elstow Waste Transfer Station. The Application of a Geocell for Building Foundations on a Landfill Site. EuroGeo 2. Bolonia, 2000.
4. Jenner C G, Bush D I, Basset R H. The use of slip line fields to assess the improvements in bearing capacity of soft ground given by a cellular foundation mattress installes at the base of an embankment. Proceedings of the Symposium, Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka, Japón, 1988.
5. British Standards Institution. BS 8006:1995 y BS8006:2009. Strengthened / reinforced soils and other fills. Code of practice. BSI. Londres, 1995 y 2009.
6. Johnson W, Mellor P B. Engineering plasticity. Ellis Horw ood Ltd. Chichester, 1983.
7. Symes M F. Written discussion contribution. Proceedings of Poly mer grid reinforcement (Thomas Telford). Londres, Marzo 1984.
8. Payne I R. Building a Dartford road embankment on jelly. Highw ays and Transportation. Diciembre, 1993.