

MURO DE GRAN ALTURA REFORZADO CON GEOMALLAS EN LA PLATAFORMA LOGÍSTICA DE ALFENA

GREAT HEIGHT EMBANKMENT, REINFORCED WITH GEOGRIDS, IN THE ALFENA LOGISTIC PLATFORM

Diego Pereda, Jesus Ignacio; *Huesker Geosintéticos SA*, Noain, Espanha, idiego@huesker.es
Piolanti, Enrico; *Enrico Piolanti Lda*, Setúbal, Portugal, info@enrico-piolanti.pt

RESÚMEN

En el presente artículo se describen los principales criterios de concepción y ejecución adoptados en las soluciones de muros reforzados con geomalla, realizados en la construcción de la Plataforma Logística de Alfena, localizada en el término municipal de Valongo, Portugal. Teniendo en cuenta las limitaciones existentes, en particular las condiciones geológico-geotécnicas, geométricas y topográficas, fue necesario la definición de soluciones de estabilización de los taludes de excavación y, sobretodo, la definición de soluciones de muros de gran altura reforzados con geomallas. Finalmente, se presentan y analizan las metodologías de control y los principales resultados de la instrumentación y observación de los muros reforzados.

ABSTRACT

In this article are described the criteria for the design and implementation adopted on the reinforcing solutions of the embankments for the construction of the Alfena Logistic Platform in Valongo, Portugal. Taking into account the main existing constraints, in particular the geological and geotechnical, geometric and topographical conditions, it was necessary to define different solutions for excavation and, above all, the definition of great height embankment solutions, reinforced with geogrids. Finally, the embankment control methods are presented and analysed, as well as the main instrumentation and observation results.

1 - INTRODUCCIÓN

La Plataforma Logística de Alfena (Valongo) consiste en la construcción de dos plataformas, inferior y superior, con cotas de proyecto de 228 y 255 m respectivamente, donde serán construidos varios edificios y almacenes. Debido a la existencia de grandes desniveles, para la plataforma inferior presenta un desnivel máximo de 34 m y para la plataforma superior de 27 m, ha sido necesario ejecutar varios muros de contención.

Se han adoptado dos soluciones para la ejecución de los anteriores muros: gavión armado en el lado de la A41 y sistema TERRA LINK a los lados de la A41 y de Chronopost, ambas soluciones reforzadas con geomallas FORTRAC®. La diferencia entre los dos sistemas de muro anteriores reside en el tipo de cara vista adoptado; de esta manera el sistema TERRA LINK permite la vegetalización de la misma, mientras que los gaviones al ser un sistema casi vertical permiten una optimización del espacio disponible debido a la cercanía del límite de la propiedad en esa zona. En el Cuadro 1 se recogen las áreas de cara vista de los muros utilizados, así como las cantidades de geomallas utilizadas en la construcción de los dos sistemas.

Cuadro 1- Sistemas y cantidades

Sistemas de Muro Reforzado	Área de Cara vista	Cantidades de geomallas FORTRAC®
Gaviones Armados	1307 m ²	15.814 m ²
Terra Link (Inferior)	10.234 m ²	175.975 m ²
Terra Link (Superior)	5.670 m ²	86.700 m ²

En obras de este tipo, estas soluciones de muro reforzado con geomallas son las únicas posibles por ser de rápida ejecución, flexibles, de bajo impacto ambiental, económicas y las únicas capaces de solventar desniveles elevados. Las soluciones rígidas en hormigón no son recomendables para estos casos por ser demasiado caras, de alto impacto ambiental y técnicamente complejas debido a las elevadas cargas concentradas.

Los muros reforzados con geomallas son estructuras que se componen de tongadas de material de relleno compactado envueltas por una geomalla que tiene una alta resistencia a tracción. Estos muros pueden presentar una pendiente variable en la cara vista. La vegetación, caso de que este sea el acabado que se desea, se consigue como resultado del crecimiento de las semillas que han sido hidrosebradas sobre la cara vista del muro o talud.

La ejecución de un muro reforzado con geomallas, consiste en la ejecución de tongadas de suelo compactado que están envueltas por las geomallas de refuerzo. Gracias a estas geomallas de refuerzo el talud o muro resultante tiene una pendiente casi vertical. En el extremo de la tongada que conforma la cara vista del muro, se extienden unas geomallas cuya función es evitar que la tierra se pierda por el frente del muro. Estas geomallas de protección contra la erosión deben retener el suelo y deben permitir que la vegetación pueda crecer a su través.

Las fuerzas desestabilizadoras del muro se transmiten por cortante al geosintético y éste entra en tracción; la resistencia a tracción del geosintético debe ser capaz de absorber el esfuerzo de tracción horizontal generado durante la vida útil de la estructura. Además, la geomalla debe estar anclada a la zona estable del terreno, para que se pueda transmitir éste esfuerzo horizontal. Éste anclaje se consigue gracias al rozamiento entre el relleno y el geosintético.

2 - VENTAJAS DE MUROS REFORZADOS CON GEOMALLAS

Las ventajas que supone la ejecución de un muro vegetalizado son las siguientes:

1. Mayor integración paisajística del muro y menor impacto medioambiental que con otros sistemas. Caso de que desee un acabado vegetal, la vegetación puede crecer en la cara vista del muro y el aspecto final del mismo será coherente con el aspecto final del entorno que rodea al muro. Para conseguir que la hierba crezca en la cara vista, la parte exterior de cada tongada se debe rellenar con tierra vegetal, tierra que tenga capacidad nutritiva suficiente para permitir el crecimiento de la vegetación. Estos muros pueden tener una pendiente variable entre 60 y 80°, con el fin de que la integración en el entorno sea óptima (Figura 1).



Figura 1 - Muro vegetalizado en el puerto de Etxegarate, totalmente integrado en el paisaje

2. Menores cargas transmitidas al subsuelo. Estos muros no tienen una zapata tradicional que transmita esfuerzos puntuales altos. El muro es en definitiva un terraplén y las cargas transmitidas son menores, ya que la superficie de reparto es mayor. Se pueden construir muros en terrenos con baja capacidad portante y sin pilotaje. El sistema admite asentamientos diferenciales. La mayoría de los asentamientos ocurren durante la construcción.

3. Se pueden construir muros de alturas mayores que con otros sistemas. Con muros prefabricados no se pueden superar los 16-18 m de altura. Los muros in situ son extremadamente caros para alturas semejantes. Los muros de escamas de tierra armada presentan diferencias de asentamientos entre la zona de las escamas y la zona reforzada con los flejes metálicos, que también los limitan en altura.

4. No se necesita cimentación tradicional: no tienen "puntera" en la zapata y por lo tanto es posible reducir los costes de expropiación. El muro puede plantearse en el mismo límite de expropiación.

5. Mejor compactación del terreno. Los daños debido a una mala compactación son menores. Se trabaja por tongadas de generalmente 50-100 cm de espesor, dependiendo de la granulometría del relleno, y se controla la densidad de las mismas de una manera muy rigurosa. Los daños posibles que aparecen al cabo de los años son inapreciables.

6. Se pueden utilizar materiales de relleno que no son utilizables en estructuras de suelo reforzado con armadura metálica. No existen limitaciones electromecánicas que produzcan corrosión a los materiales de refuerzo. Los daños que el material de refuerzo ejerce sobre las geomallas están perfectamente cuantificados.

7. Mejor comportamiento a sismo ya que se trata de estructuras flexibles sin puntos débiles.
8. Menor coste en muros grandes. Estos muros vegetalizados son mucho más baratos que cualquier otro sistema de muro.

3 - PROPIEDADES DE LOS GEOMALLAS DE REFUERZO. COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Un aspecto fundamental a la hora de diseñar una estructura de muro reforzado con geomallas se basa en un conocimiento exhaustivo del tipo de material de refuerzo. El proyectista debe conocer los valores siguientes cuando realiza un diseño con geomallas.

3.1 - Interacción entre el suelo y el geosintético

La geomalla debe tener la suficiente adherencia al suelo para que las fuerzas desestabilizantes de la estructura se transmitan a él por cortante. Además, debe tener la suficiente adherencia para fijarse a la zona estable del terreno, y poderle transmitir esa fuerza de tracción (Figura 2).

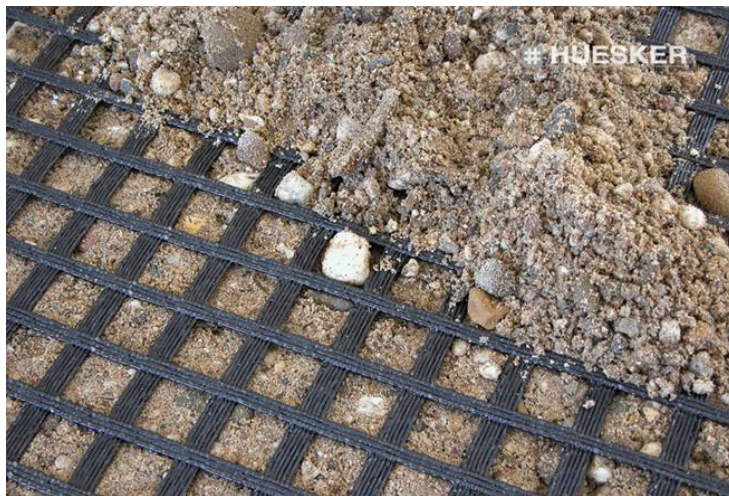


Figura 2 - Ejemplo de Imbricación Geomalla-Terreno

En el análisis de estabilidad, el proyectista tiene que suponer la interacción real suelo-geomalla, definir los coeficientes y los factores de seguridad que se aplicarán a la extracción de la geomalla y al deslizamiento directo.

La información más acertada sobre la interacción suelo-geomalla se obtiene realizando ensayos del producto específico, ASTM D 6706 o DIN 60009:2011-05. El esquema tipo del ensayo de adherencia se recoge a continuación (Figura 3).

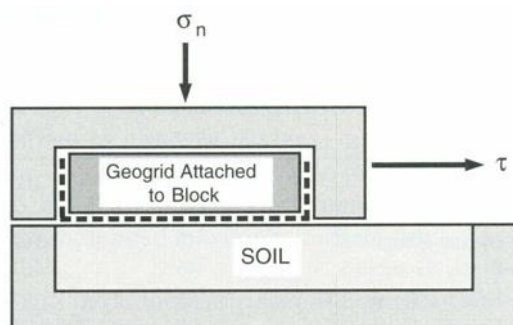


Figura 3 - Esquema tipo ensayo adherencia suelo con geomalla

Caso de que el fabricante de las geomallas no disponga de esta información se deberá tomar los valores propuestos por las diferentes normativas. Los valores que las diferentes normativas proponen para materiales sin homologación, son valores menores y por lo tanto los diseños realizados con estos materiales sin certificar son mayores. En todo caso, es recomendable que el suministrador certifique el valor de este coeficiente para que el proyectista no tenga dudas.

3.2 - Resistencia a tracción

La normativa internacional ISO 10319 define el ensayo para determinar el diagrama tracción-deformación de un geosintético de refuerzo y por lo tanto su resistencia nominal, F_k . Esta resistencia nominal se debe minorar con los 4 coeficientes siguientes para obtener la resistencia de diseño, F_d , que es la que se debe considerar en el análisis de estabilidad del muro reforzado con geomallas.

De acuerdo con la bibliografía, se puede determinar la tensión de diseño de un geosintético (F_d) de la siguiente forma

$$F_d = \frac{F_k}{A_1 \times A_2 \times A_3 \times \gamma} \quad [1]$$

donde:

- F_k [kN/m] tensión nominal o resistencia a tracción a corto plazo
 A_1 [-] factor de seguridad de fluencia
 A_2 [-] factor de seguridad para daño mecánico
 A_3 [-] factor de seguridad para efectos medioambientales
 γ [-] factor de seguridad de fabricación y extrapolación de datos

3.2.1 - Comportamiento a fluencia – factor A_1

La fluencia engloba la pérdida de resistencia de un material de refuerzo debido al paso del tiempo. Cuando un material es sometido a una carga constante en el tiempo, éste experimenta una deformación que va aumentando a medida que pasa el tiempo.

La fluencia depende de la carga aplicada, de la duración de aplicación de la carga, de la materia prima con la que se fabrica la geomalla y de la temperatura. En el Cuadro 2, proveniente de la normativa alemana EBGE0, se indica los valores de referencia del coeficiente reductor por fluencia, A_1 , para diferentes materias primas.

Cuadro 2- Valores del coeficiente reductor por fluencia A_1 para diferentes materias primas

Material	Acrónimo	Valores comunes del coeficiente reductor por fluencia A_1		Mínimo valor A_1 si no existe ensayo a fluencia
		Desde	Hasta	
Aramida	AR	1,5	2,0	3,5
Poliamida	PA	1,5	2,0	3,5
Polietileno	PE	2,0	3,5	6,0
Poliéster	PET	1,5	2,5	3,5
Polipropileno	PP	2,5	4,0	6,0
Acetato de Polivinilo	PVA	1,5	2,5	3,5

Puede observarse como las geomallas fabricadas con Polietileno y Polipropileno, presentan unos factores de reducción por fluencia A_1 muy elevados, lo que indica que para estas materias primas las pérdidas por fluencia son mucho más importantes que para las otras materias primas.

Los ensayos de fluencia de los diferentes materiales de refuerzo tienen como objetivo el poder determinar el comportamiento del material transcurridos los años considerados en su diseño (las estructuras y terraplenes reforzados se diseñan para 60-120 años). Según los resultados y la duración del ensayo, el proyectista debe aplicar unos coeficientes de seguridad que son variables para cada materia prima con la que está fabricada la geomalla.

3.2.2 - Daños durante la instalación– factor A_2

La pérdida de resistencia que el material de refuerzo sufre durante la instalación (Figura 4), se cuantifica por medio de un coeficiente de seguridad de daños mecánicos, A_2 , también específico para cada material.

El valor de este coeficiente de minoración es función del tipo de material de relleno, nivel de compactación, de las características del refuerzo y sobretodo de la existencia o no de una capa protectora sobre la fibra resistente.

Las geomallas tienen un coeficiente menor que los geotextiles tejidos y por ello, es muy peligroso y muy frecuente la adopción de los mismos coeficientes para ambos tipos de refuerzo.

Las geomallas recubiertas de materiales poliméricos tienen una pérdida menor que los geotextiles desnudos.

Su valor debe determinarse por medio de ensayos específicos para cada producto.



Figura 4 – Ejemplo efecto Daños Mecánicos sobre Geomalla

3.2.3 - Daños químicos y biológicos – factor A_3

El material de refuerzo está expuesto al ataque del entorno que lo rodea durante la vida útil de la estructura. Dicho ataque es función del pH del suelo y del polímero que compone el refuerzo.

Este coeficiente A_3 depende por supuesto de las propiedades químicas y biológicas del relleno. Al igual que el coeficiente anterior, su valor es exclusivo para cada tipo de refuerzo y debe determinarse por experimentación.

3.2.4 - Fabricación y extrapolación de datos – factor γ

El valor del factor de reducción por fluencia del material A_1 , se obtiene para cada geomalla y está asociado a una determinada duración de la carga. El factor γ , factor reductor de fabricación y extrapolación de datos permite, valga la redundancia, “extrapolar” el valor obtenido A_1 , asociado a un determinado periodo de tiempo, con la vida de diseño de la estructura reforzada.

4 - DISEÑO DE LA ESTRUCTURA REFORZADA

Una vez determinada la resistencia de diseño de las geomallas, considerando todos los factores de reducción anteriores, se procederá a diseñar la estructura de muro reforzado determinando las características tensodeformacionales de las geomallas necesarias así como la longitud de las mismas. Además de lo anterior será necesario conocer la geometría del muro, así como los parámetros geotécnicos de los materiales naturales presentes.

Los métodos más usuales para determinar el factor de seguridad frente al deslizamiento suelen ser métodos de equilibrio límite, tipo Bishop o Deslizamiento de Bloques.

En el método de Bishop, la fuerza de tracción soportada por las diferentes geomallas de cada tongada se calcula utilizando superficies de deslizamiento circulares. Tras sucesivas iteraciones se busca el círculo de deslizamiento correspondiente al mayor valor de fuerza a tracción. El factor de seguridad de dicho círculo ha de cumplir las especificaciones mínimas de la norma.

En el método de Deslizamiento de Bloques se suponen unas superficies de rotura poligonales.

Actualmente se usan cada vez más frecuentemente programas de elementos finitos, tipo PLAXIS.

PLAXIS es un programa de análisis numérico con el que obtenemos soluciones para las distintas condiciones de equilibrio, compatibilidad, comportamiento estructural y condiciones de contorno, tanto fuerzas como desplazamientos. Este programa genera una malla consistente en elementos finitos conectados entre sí por nodos. Cada uno de estos elementos de discretización se denomina elemento finito.

Este tipo de programas presenta ventajas con respecto a los métodos de equilibrio límite, ya que cuando analiza el factor de seguridad frente al deslizamiento, PLAXIS no establece a priori ninguna forma de rotura, siendo la superficie de deslizamiento final la que se obtiene por la deformación de la sección. Además, si se disponen de valores correctos de deformación de los suelos existentes, proporcionan valores de movimientos y deformaciones en la estructura.

Se adjunta, a continuación, una serie de análisis realizados con los anteriores métodos para los muros de gran altura reforzados con geomallas en la Plataforma Logística de Alfena. Los muros verdes (Sistema Terra Link) presentan alturas de hasta 34 m con una pendiente en la cara vista de 52° y espesor de tongada de 57 cm para la plataforma inferior, y de 27 m con pendiente en cara vista de 65° y espesor de tongada de 66 cm (Figuras 6 y 7). El muro en gaviones armados presenta una altura hasta 25.06m, la cara vista del muro de gaviones reforzado con geomalla tiene 3° de inclinación. En coronación de los muros se ha dispuesto una carga de tráfico de 20 kN/m² (Figura 5).

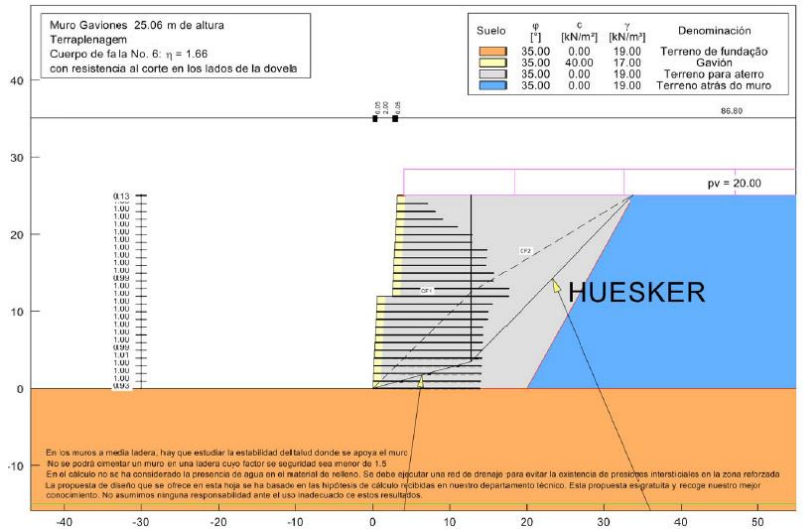


Figura 5 – Ejemplo Diseño Método Bishop y Bloques Muro de Gaviones

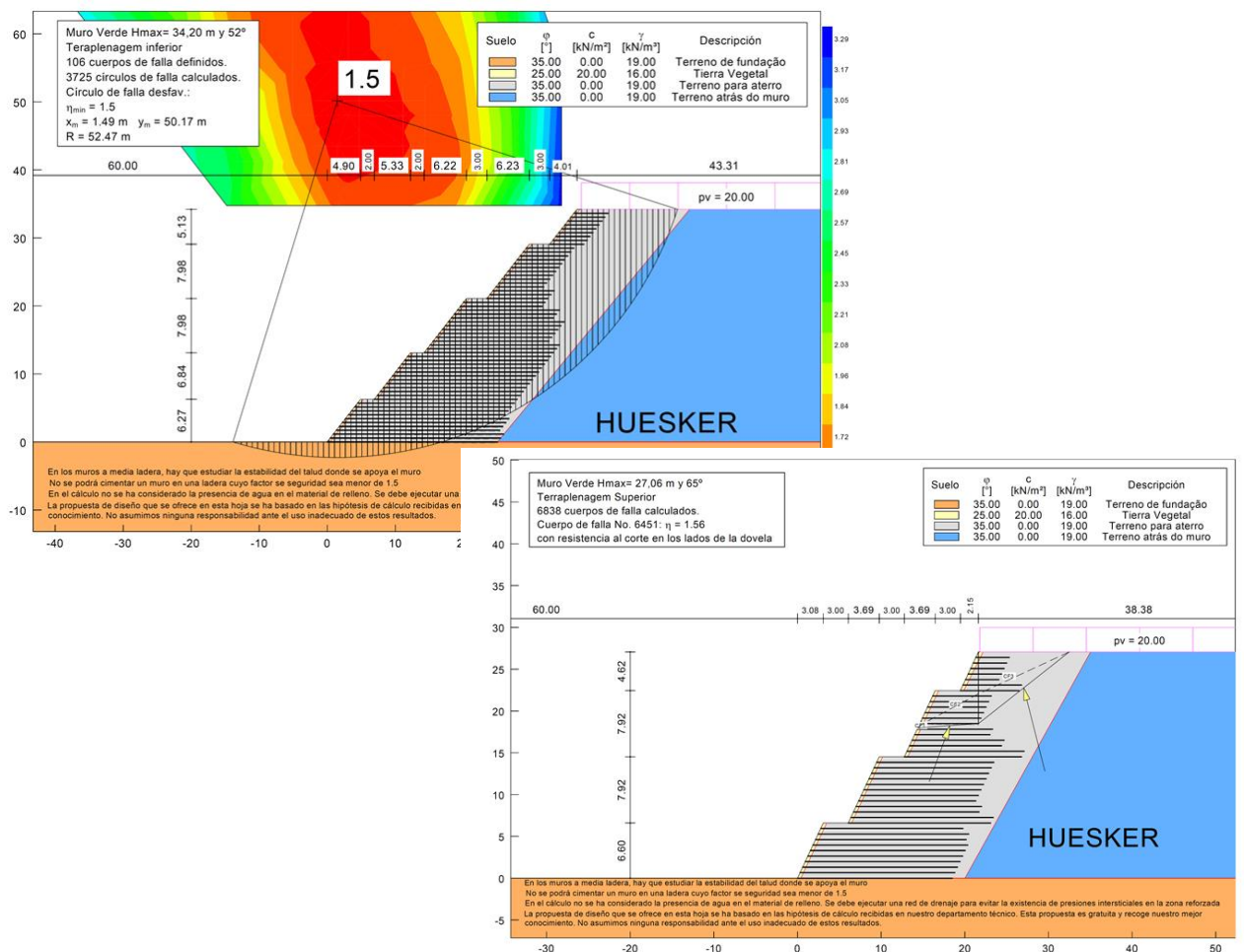


Figura 6 – Ejemplo Diseño Método Bishop y Bloques Sistema Terra Link

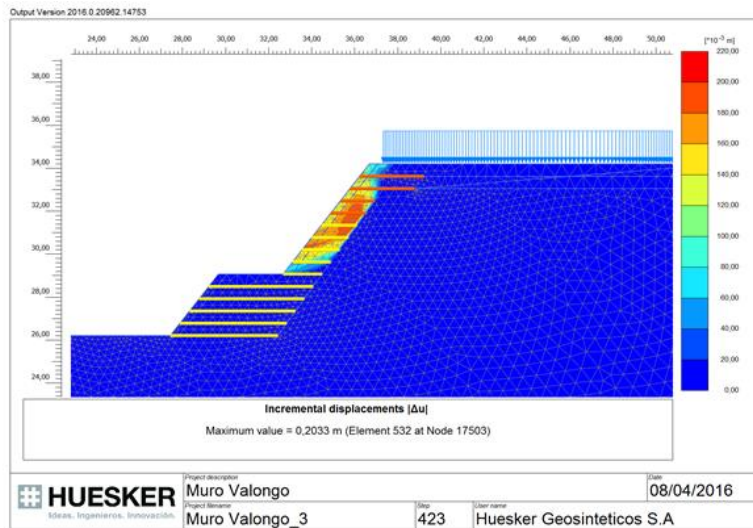


Figura 7 - Ejemplo Diseño mediante PLAXIS Terraplén Inferior Sistema Terra Link

4.1 - Características del muro reforzado con geomallas, sistema TERRA LINK en la cara vista

Los muros verdes reforzados con geomalla y con el sistema TERRA LINK en la cara vista tienen una inclinación de 52° (plataforma inferior) y 65° (plataforma superior) con respecto al plano horizontal y bancadas intermedias con anchura de 3m. El sistema TERRA LINK está fabricado a base de paneles de malla electrosoldada galvanizada de 75x50mm y alambre de 5 mm de diámetro. La capa protectora del alambre es Galfan (aleación eutéctica de zinc-aluminio) (Figuras 8 y 9).

La cara vista del sistema, tiene la función de retener la tierra vegetal colocada entre el terraplén y el paramento. En la parte interior de la cara vista se dispone una geomalla de 3x3mm que tiene la función de retener los elementos más finos, pero al mismo tiempo debe permitir el crecimiento de la vegetación a su través. Después de la ejecución del muro, es aconsejable realizar una hidrosembrá para acelerar el proceso de vegetalización.

Características de los paneles TERRA LINK:

Dimensiones: 2,00 x 0,57 (52°)
 2.00 x 0.66 (65°)
 (Doblado - longitud x altura)
 Malla: 75 x 50 mm

Características de los paneles de alambre:

Diámetro: 5 mm
 Revestimiento en aluminio Zinc (Galfan): 280 g/m²
 (Norma EN 10244-2 clase A)
 Resistencia: 350 a 500 N/mm² (Norma EN 10223-3)

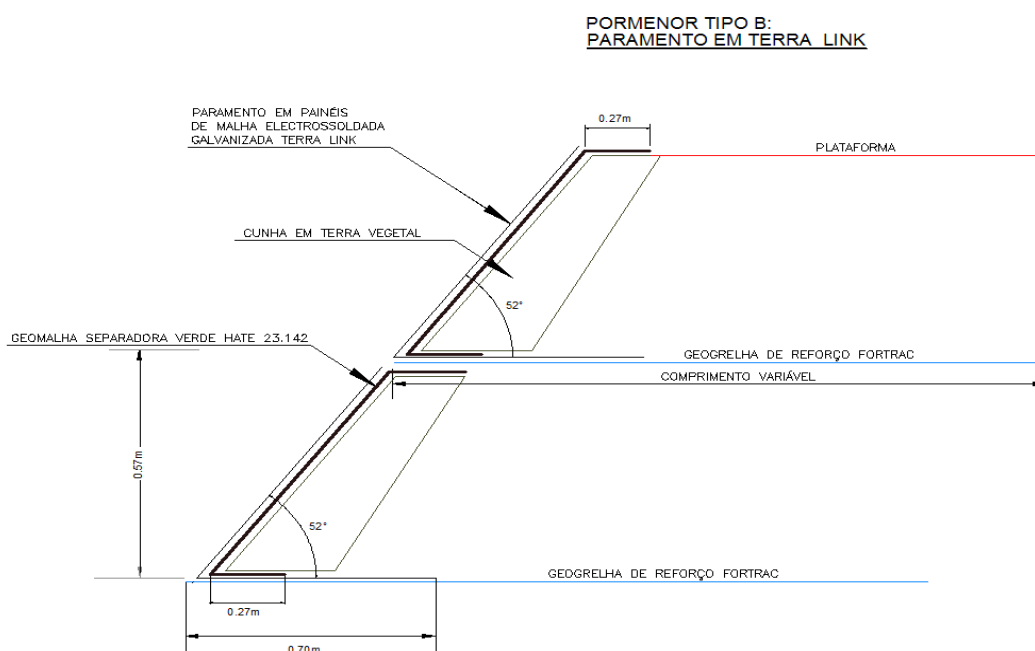


Figura 8 - Detalle de muro reforzado con geomallas y cara vista TERRA LINK con inclinación de 52°

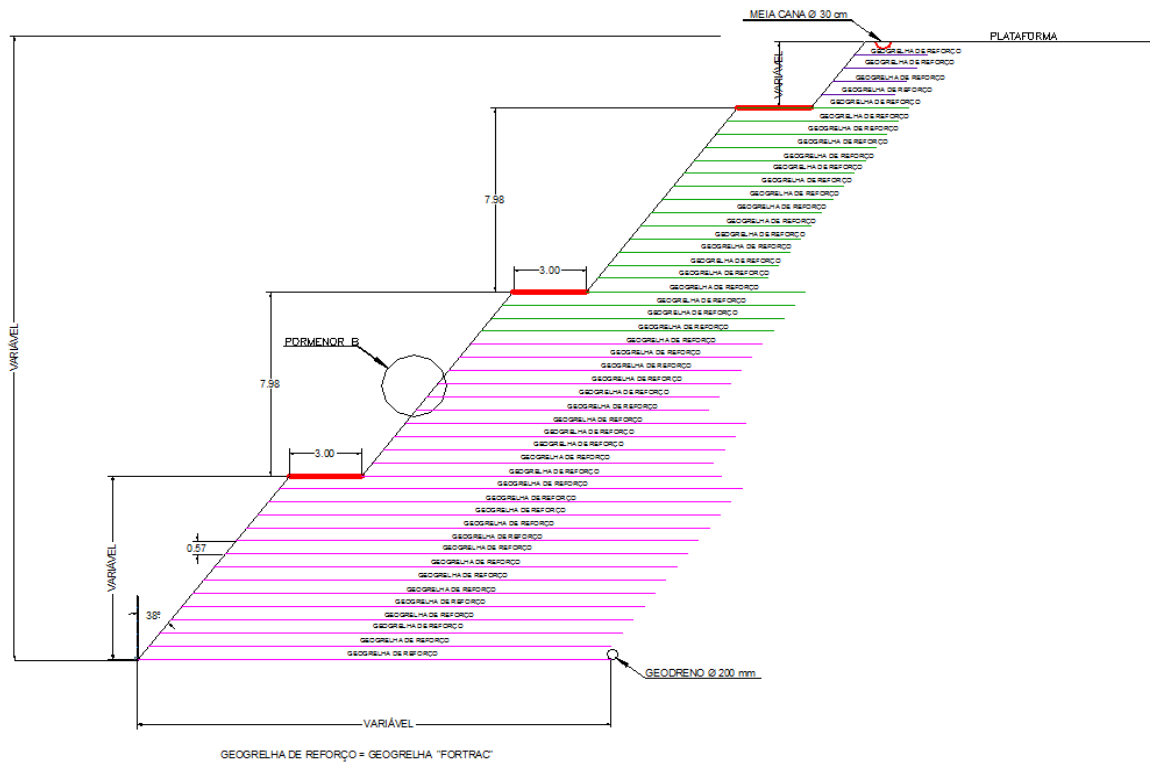


Figura 9 - Sección transversal pendiente cara vista de 52°

4.2 - Características del muro de gaviones reforzado con geomallas

La cara vista del muro de gaviones reforzado con geomalla tiene 3° de inclinación (respecta al plano vertical) y una bancada de 2,00 m cuando la altura es mayor que 18 m. Se realiza con gaviones de malla hexagonal de triple torsión, tipo 80x100 y alambre de diámetro de 2,7mm. La capa protectora del alambre es Galfan. Después de montado el gavión, se llena el mismo con piedra de buena calidad. Se utilizan sobre todo para la ejecución de obras de estabilización de tierras (Figuras 10 y 11).

Características de los gaviones

Longitud: 4.00m
 Ancho: 1,00 m; Altura: 1.00m
 Malla hexagonal tipo: 80x100

Características del hilo de gaviones

Diámetro: 2,7 mm
 Revestimiento Zn-Al: 245 gr/m² (norma EN 10244-2 Clase A)
 Resistencia: 350-500 N/mm² (norma EN 10223-3)

Relleno

Para el relleno de los gaviones se utiliza piedra con peso específico superior a 22 kN, de tamaño entre 10 y 20 cm. Sin embargo puede utilizarse material fuera de los límites anteriores siempre que su cantidad no exceda 10% del volumen total del gavión.

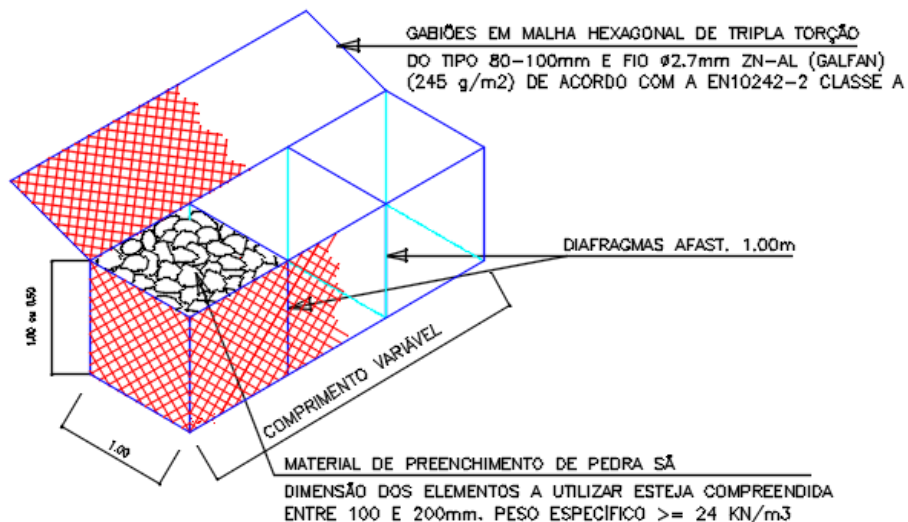


Figura 10: Ejemplo de Gavión

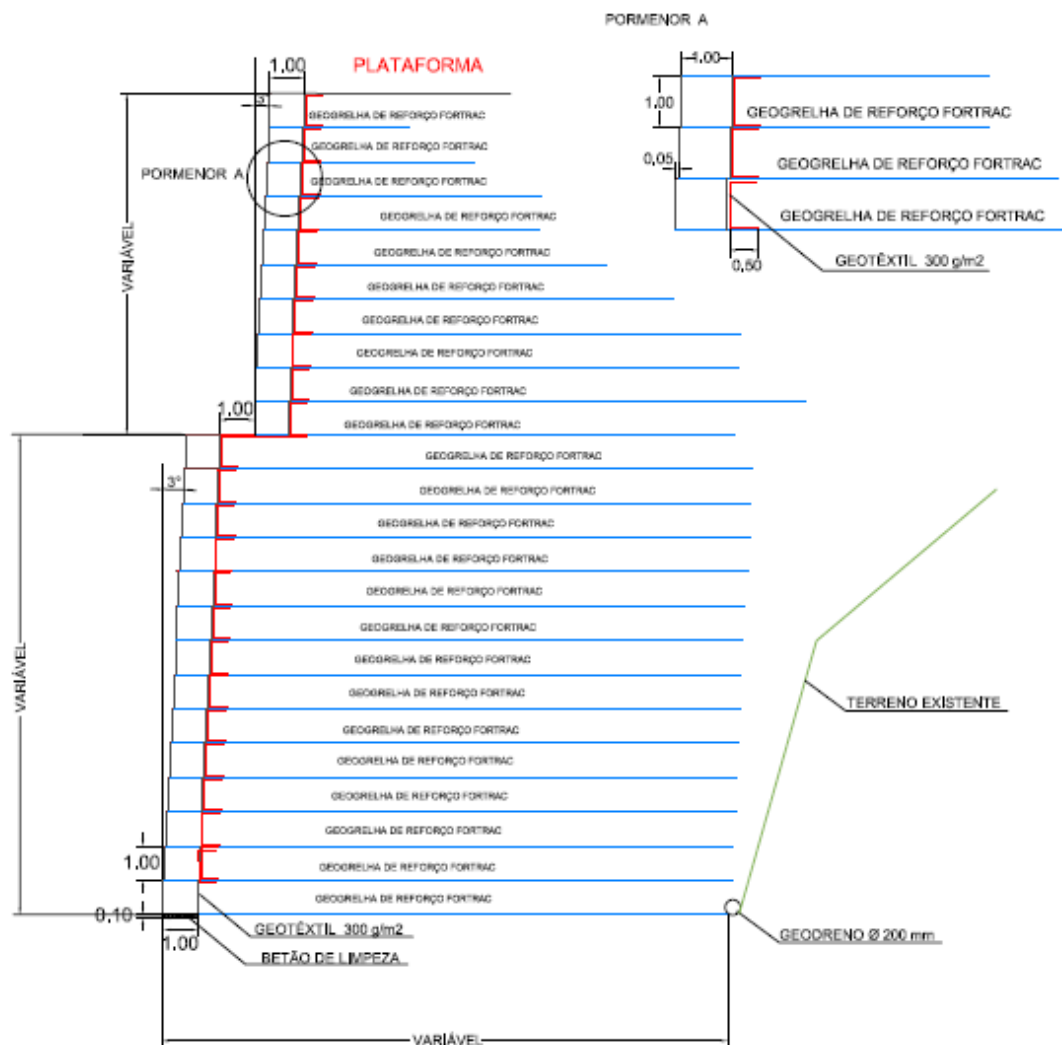


Figura 11: Sección transversal de Muro de Gaviones Reforzado con geomallas

5 - INSTRUMENTACIÓN DE LOS MUROS

En los muros reforzados con geomallas, ya ejecutados en la plataforma inferior, se ha dispuesto un sistema de instrumentación de los mismos. Este sistema está compuesto por 8 inclinómetros, 7 extensómetros y 14 hitos de control en la cara vista del muro de gaviones reforzado. De los 8 inclinómetros a día de hoy, se han ejecutado y se dispone de medidas de los inclinómetros 4 a 8. Los inclinómetros de 1 al 3 no se han ejecutado ya que el muro no ha alcanzado la cota de coronación. A continuación se recoge una planta de ubicación de los anteriores inclinómetros (Figura 12).

Las medidas de los cinco inclinómetros realizados hasta la fecha presentan valores razonables a excepción de los inclinómetros 4 y 6. En estos se observan movimientos cercanos a los 55-60 mm, tal y como se recoge a continuación. Los movimientos detectados no afectan a la totalidad del muro. Como puede observarse en los anteriores inclinómetros, los desplazamientos se producen en los 3-4 m superiores del muro (Figura 13).

Estas deformaciones detectadas, están íntimamente relacionados con las precipitaciones y movimientos del agua. Hay que resaltar el hecho de que la urbanización superior del muro, así como los elementos de drenaje, todavía no se han ejecutado y por lo tanto la obra no está completamente finalizada. Lo anterior pone de manifiesto lo importante que resulta una correcta gestión de las aguas para evitar la saturación del macizo reforzado.

Es lógico pensar que una vez se haya concluido la obra, y se realice una gestión adecuada de las aguas, se detendrán los anteriores desplazamientos. A pesar de los movimientos anteriores, todos los muros reforzados con geomallas se han comportado correctamente y la respuesta de los mismos ha sido óptima.

Los siete extensómetros dispuestos sobre las geomallas han dado un rango de deformaciones de entre 0,3 a 1,8mm. Estos valores se encuentran por debajo de los valores normales para este tipo de estructuras y dan una idea del escaso movimiento que se ha producido en el muro.

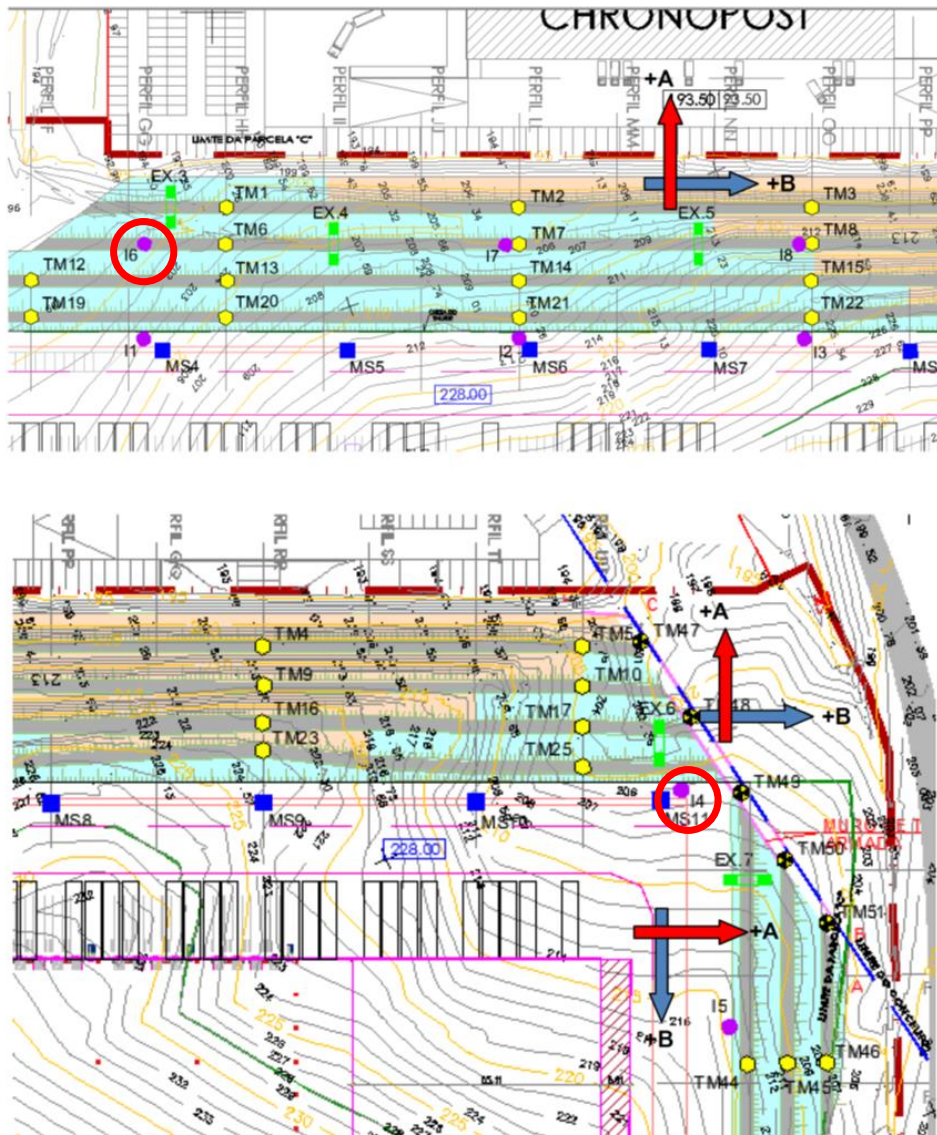


Figura 12 – Planta de inclinômetros

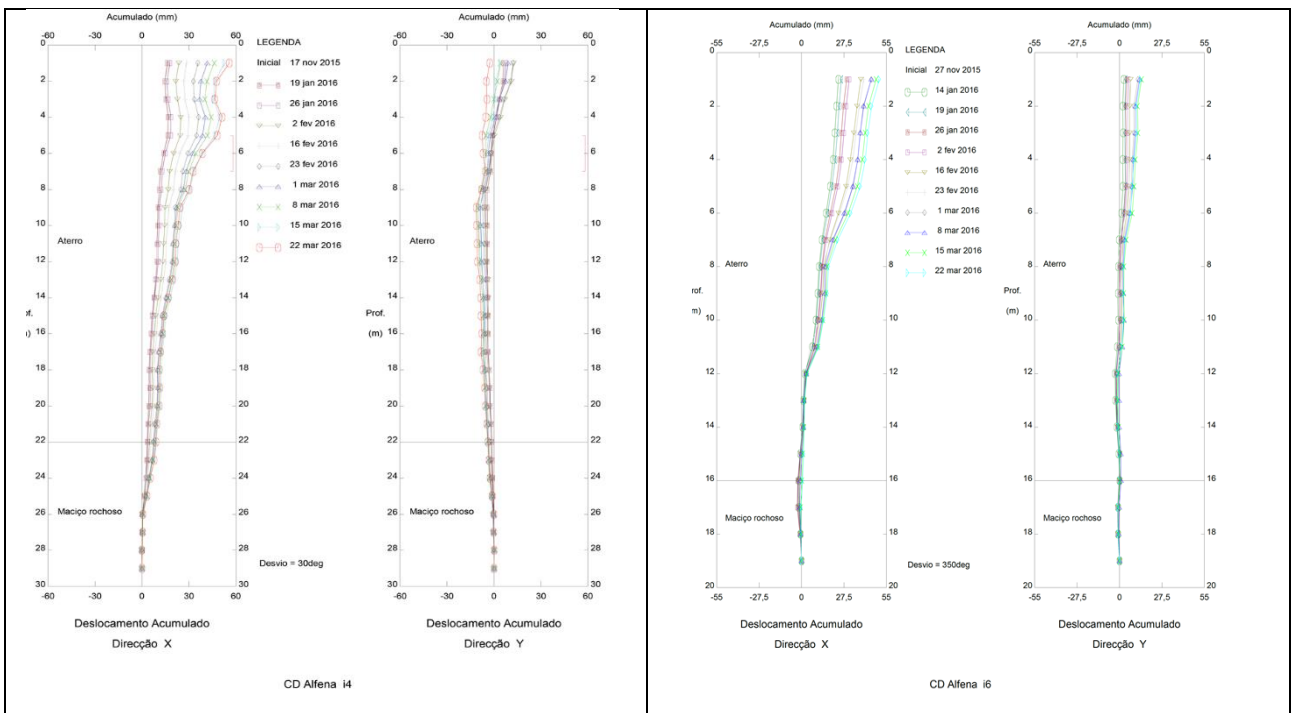


Figura 13 – Resultados Inclinômetros I4 e I6

Finalmente, en lo referente a los catorce hitos de control dispuestos en la cara vista del Muro de Gaviones reforzado, resaltar el hecho de que confirman lo indicado previamente con los inclinómetros. Así los mayores movimientos se detectan en los hitos 13 y 14 situados en la parte superior del muro (Figuras 14 y 15).

De esta manera las mediciones reflejan los mayores movimientos asociados a los mismos periodos de tiempo que en los inclinómetros, con lo que vienen confirmar que todos los movimientos están originados por el agua.

Finalmente hay que resaltar el hecho de que los muros reforzados con geomallas son estructuras flexibles, pueden soportar movimientos sin que se vea comprometida su estabilidad estructural. Este aspecto se puede observar en los diferentes acabados en la cara vista, que pueden presentar deformaciones simplemente estéticas, pero que no tiene ninguna repercusión estructural.



Figura 14 – Hitos de control en cara vista Muro Gaviones Reforzados

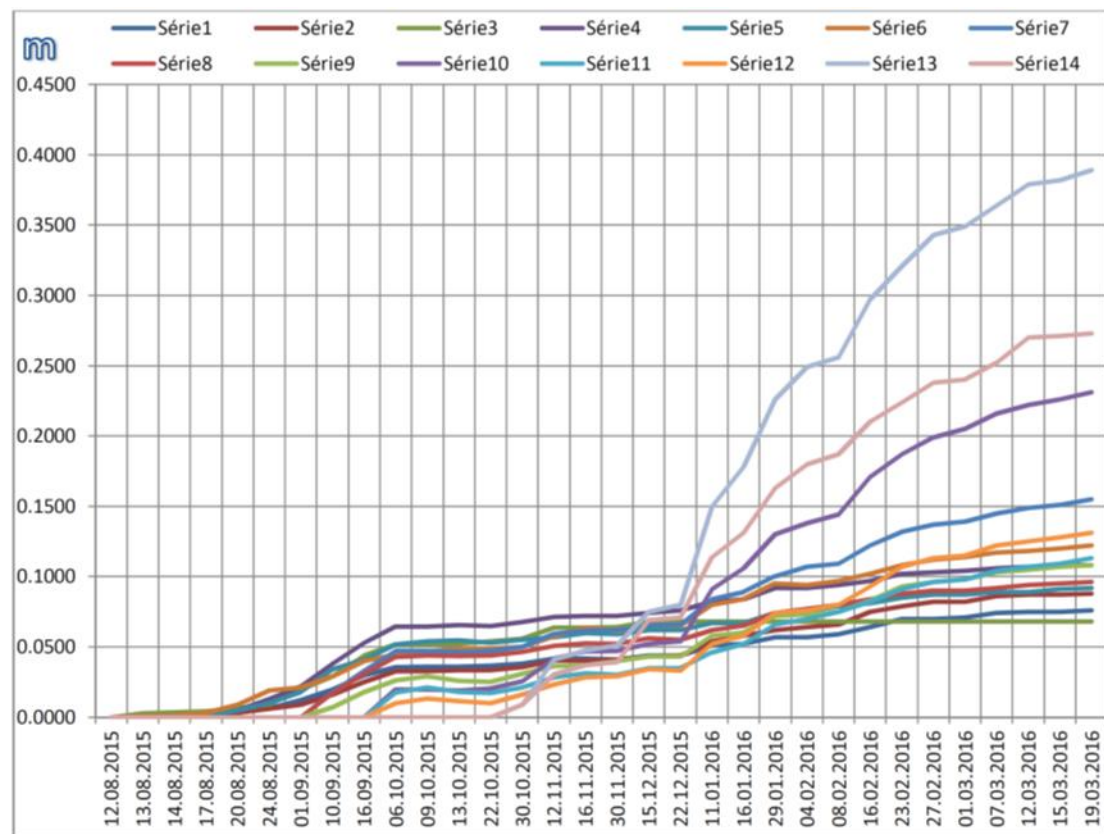


Figura 15 – Movimientos Hitos de control en cara vista Muro Gaviones Reforzados

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer en el presente artículo el trabajo desarrollado por la Ingeniera Florbela Silvestre, sin cuya colaboración no hubiera sido posible la realización del mismo ni la ejecución de los anteriores muros reforzados con geomallas en la Plataforma Logística de Alfena.

REFERENCIAS

DGGT (2011). *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements –EBGEO*. Ernst & Sohn.

Koerner, R.M. (2012). *Designing with Geosynthetics*. 6th Ed.,Xlibris.