

## CONSTRUCCIÓN DE UN TERRAPLÉN REFORZADO CON GEOMALLAS SOBRE SUELOS BLANDOS Y TURBA EN PUNTA ARENAS

Ramón Carrasco Poll  
Ingeniero Civil, Geotecnia Patagonia Ltda.  
rcarrasco@geotecniapatagonia.cl

### **Resumen**

Para acceder a un conjunto habitacional ubicado en el sector Nor-Poniente de la ciudad de Punta Arenas, era necesario pasar sobre un terreno conformado por suelos compresibles y de muy baja capacidad de soporte (mazacote[9] y turba[2] [5]). Para materializar la construcción de la calle, se proyectó como solución constructiva un terraplén reforzado con Geomallas Biaxiales. Se realizó un análisis de estabilidad y se elaboró un modelo geotécnico simplificado para estimar el asentamiento teórico esperado. Además, para acelerar el proceso de consolidación, se colocó una pre-carga, constituida por una base granular estabilizada, la que sería utilizada a su vez como carpeta de rodadura. En el terraplén, se tomaron lecturas topográficas en superficie y se evaluó su comportamiento en el tiempo. Una vez corroborado el cese de los movimientos verticales del terraplén, se procedió al retiro de la pre-carga y se materializó el proyecto de pavimentación, cumpliendo con el factor de seguridad establecido para su buen desempeño y durabilidad según el diseño propuesto.

**Palabras-Clave:** Terraplén reforzado, Geomalla, Turba

### **Abstract**

In order to access a residential project north-west of the city of Punta Arenas, it is necessary to cross over highly compressible soils with very low bearing capacity. The soil consist of “mazacote” and peat. The implemented solution to build the access road, consists on a biaxial geogrid reinforced embankment. A stability analysis was performed along with a simplified geotechnical model to estimate settlements. As a result of the analyses, a pre-load consisting of a stabilized base was used to accelerate the consolidation process, which would also be used as a road surface. Surveying was performed on the embankment to monitor its consolidation behavior over time. Once the vertical movements of the embankment finished, the pre-load was removed and the paving project started, fulfilling the established safety factor for good performance and durability according to the proposed design.

**Keywords:** Geogrid reinforced embankment, peat

## 1 Introducción

Para la construcción y pavimentación de la prolongación de la calle Los Acacios en la ciudad de Punta Arenas, era necesario pasar sobre un terreno con suelos blandos de muy baja capacidad de portante y altamente compresibles. Para cumplir con el objetivo, se proyectó como solución constructiva, un terraplén reforzado con Geomallas BX-1200 TENSAR [6] y para lo cual, se elaboró un modelo geotécnico simplificado en base a información geotécnica existente del sector [9] y la de un sondaje rotatorio con recuperación de muestras y ensayo SPT. Dada las características especiales de los suelos detectados, los parámetros de ingeniería se estimaron a partir de ensayos de Laboratorio de muestras extraídas del sondaje y de la utilización de correlaciones empíricas y tablas existentes en la bibliografía especializada [1] y Literatura geotécnica de uso habitual. El modelo elaborado en base al perfil estratigráfico obtenido del sondaje, entregó los resultados del asentamiento teórico esperado y una vez construido el terraplén, se tomaron lecturas topográficas en superficie para controlar el descenso del terraplén en el tiempo. Se estimaron tiempos de consolidación teórico y para acelerar el proceso de consolidación, se propuso colocar una base estabilizada que sería utilizada como carpeta de rodadura y a su vez como de pre-carga hasta la fecha propuesta y evaluar su comportamiento en el tiempo. Monitoreado topográficamente el terraplén durante el tiempo establecido, a través de puntos inamovibles del terreno y una vez corroborado que el descenso había cesado (tendencia constante de las mediciones), se retiró la pre-carga y se materializó el proyecto de pavimentación, cumpliendo con el factor de seguridad establecido para su buen desempeño y durabilidad según el diseño propuesto.

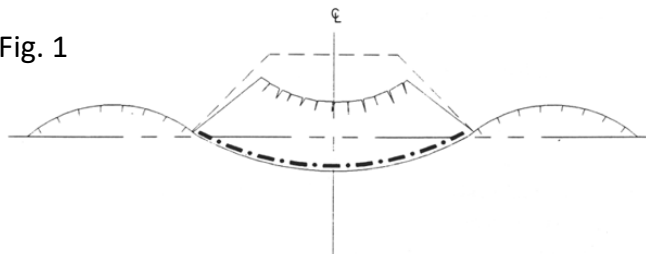
## 2 Descripción de problema

Fundar sobre un terreno pantanoso no es fácil, sobre todo si estamos en presencia de turba, donde la consolidación primaria y secundaria, tienen un efecto importante en las obras que se construyan sobre ésta, con deformaciones grandes en la primera y con asentamientos menos importantes en la segunda, pero su efecto puede estar presente durante mucho tiempo después de materializado el proyecto. Los asentamientos dependen básicamente de la magnitud de la carga, la compresibilidad de los suelos y de la geometría de la estructura. Para disminuir los asentamientos lo único que se puede variar es la geometría, sin embargo, esto afecta directamente la estabilidad global.

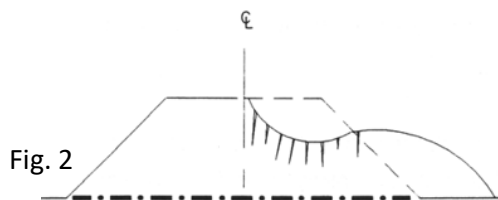
Del punto de vista del diseño, los aspectos más importantes que se deben considerar al proyectar un terraplén sobre suelos blandos son [7]:

a) La capacidad portante

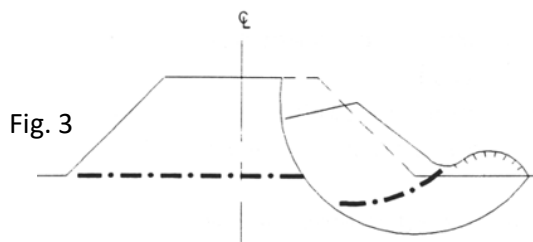
Fig. 1



b) El desplazamiento lateral.



c) Estabilidad global de taludes (falla Rotacional).



Un terraplén sin refuerzo, necesita de un terreno competente para fundar y que los taludes sean en lo posible muy planos para tener una estabilidad global adecuada e incluso en algunos casos recurrir a sobrecargas como las bermas de estabilización.

Sin embargo, cuando el terreno es muy blando, requiere de una plataforma de trabajo estable y una solución para esta condición, es utilizar geomallas biaxiales, las cuales proporcionan entre otras funciones: un refuerzo en la subrasante y una mejor distribución de las cargas aplicadas al terreno (sistema de transferencia de carga); una disminución de la pérdida de soporte debido a las cargas de construcción (Ola de lodo) y evita la sobreexcavación ya que se instala directamente sobre la vegetación existente disminuyendo los tiempos y costos de construcción. [8]

### 3 Antecedentes geotécnicos

Para la caracterización geotécnica del terreno, se realizó un sondaje aproximadamente en el punto medio del atravesado. El perfil estratigráfico y las propiedades del suelo, estimadas a partir de la utilización de correlaciones empíricas, tablas existentes en la bibliografía especializada [1] y Literatura geotécnica de uso habitual, se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 –Sondaje N°1-Propiedades estimadas del suelo

Sondaje	Profundidad (m)	Espesor (m)	Tipo de suelo	N <sub>SPT</sub> Promedio	γ (ton/m <sup>3</sup> )	φ (°)	c (ton/m <sup>2</sup> )
N°1	0.00-1.95	1.95	Suelo de Relleno, compuesto por gravas y bolones. (GP)	---	2.1	40	-
	1.95-4.50	2.55	Suelo de relleno, compuesto por arenas limosas. (SM)	30	1.8	35	-
	4.50-7.80	3.30	Turba, suelo orgánico. (PT)	2	1.3 [1]	-	3 [1]
	7.80-10.15	2.35	Arenas limosas. (SM)	16	2.2	30	-
	10.15-25.00	14.85	Suelo fino arcilloso. (CL)	8	1.7	-	5

#### 4 Sección propuesta, análisis de estabilidad global y medición de asentamientos

Para el análisis de estabilidad, se propuso la siguiente sección típica del terraplén. Fig. 4

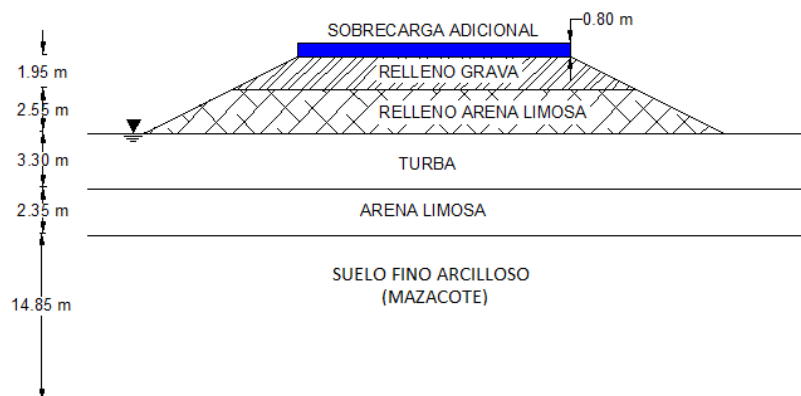


Fig. 4 – Sección final del terraplén(con precarga)

La estabilidad de taludes, fue realizada mediante el análisis de equilibrio límite según Método Modificado de Bishop Software GSLOPE 2002, EMIN Sistemas Geotécnicos S.A. (\*)

Los parámetros de suelo utilizados en el análisis considerando el terraplén reforzado con geomallas se indican en la Tabla 2. La sobrecarga de tránsito considerada fue de 1.2 ton/m<sup>2</sup> y las propiedades de la geomalla BX-1200 TENSAR, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 2 – Propiedades del suelo con refuerzo (\*)

Capas o Estratos	Espesor [m]	Peso Unitario $\gamma$ [t/m <sup>3</sup> ]	Angulo Fricción $\phi$ [°]	Cohesión $c$ [t/m <sup>2</sup> ]	$S_u$ [t/m <sup>2</sup> ]
Sobrecarga de tránsito	-	1.2	-	-	
Sobrecarga Adicional	0.80	2.1	40		
Relleno Estabilizado	1.95	2.1	40	0	
Arena Limosa	1.15	1.8	35	0	
Arena Limosa MSL 1 y 2	1.4	1.8	35	1 [3]	
Turba	3.30	1.3	-	-	3 [1]
Arena Limosa	2.35	2.2	30	0	-
Arcilla Limosa	14.85	1.7	-	-	5

Tabla 3 – Propiedades geomalla BX-1200 TENSAR (\*)

Esfuerzo Ultimo KN/m MARV	F.S para daño	Factor de Reducción Por Creep Largo Plazo 75 años	Esfuerzo T (disponible) [kN/m]	
28.8	1	3.56	estático	8.11
			sísmico	28.8

Para la falla global se consideró un F.S. =1.3 (Caso Estático) y F.S.=1.1 (Caso Pseudoestático)

Los resultados del análisis de estabilidad global para el terraplén reforzado, se muestran en las Fig. 5 y Fig. 6.

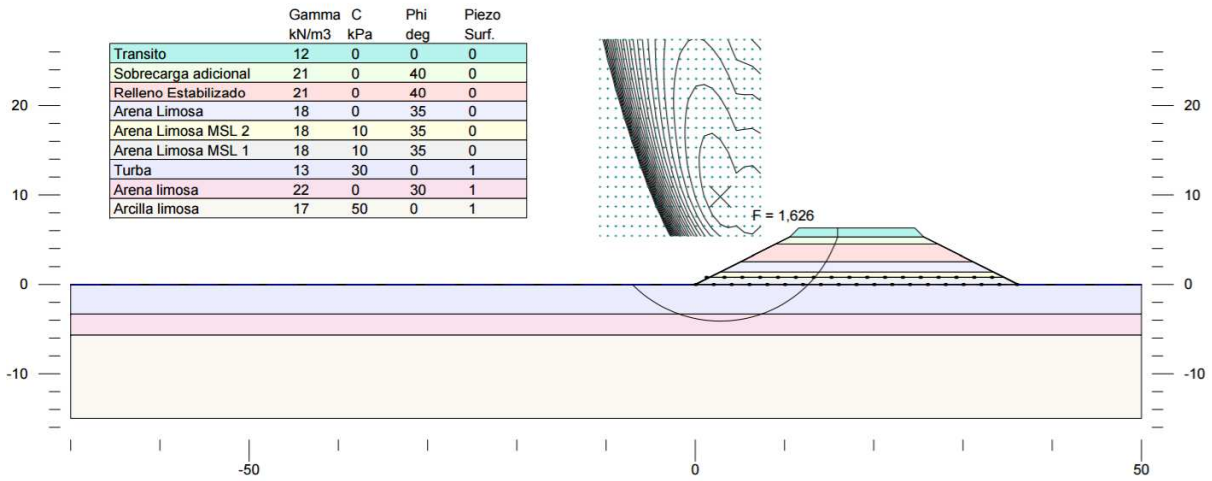


Fig. 5 – Estabilidad de talud reforzado (caso estático) (\*)

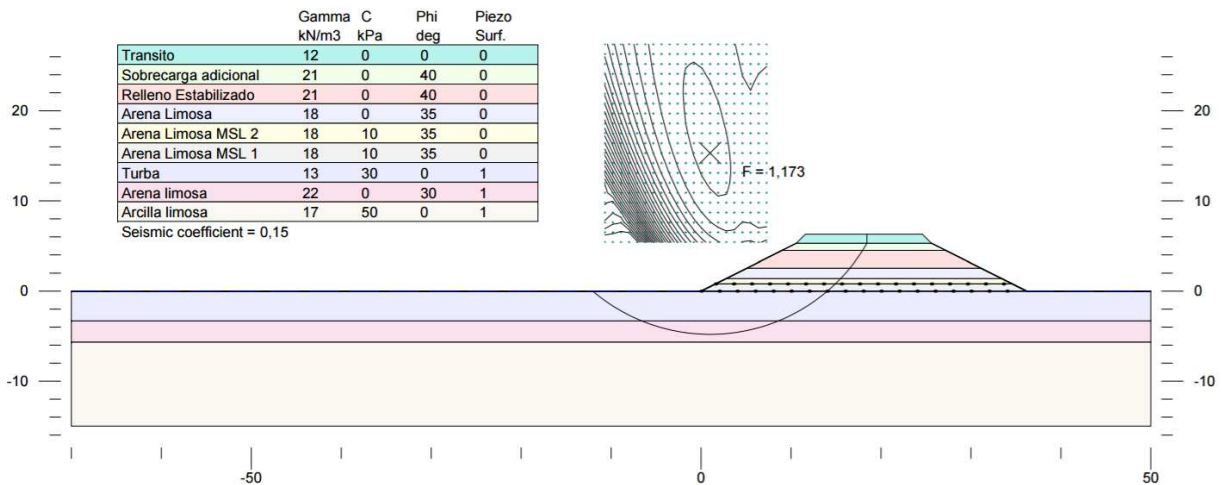


Fig. 6 – Estabilidad de talud reforzado (caso pseudoestático) (\*)

Las mediciones de asentamientos o descensos del terraplén reforzado, se muestran en las Fig. 7 y Fig. 8.

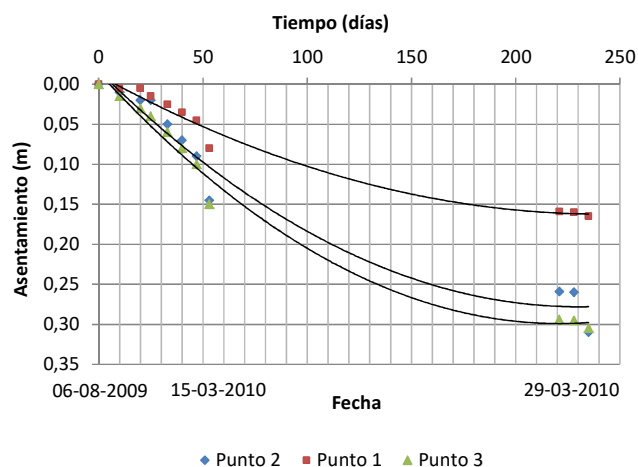


Fig. 7 – Mediciones del asentamiento en terreno los primeros 235 días

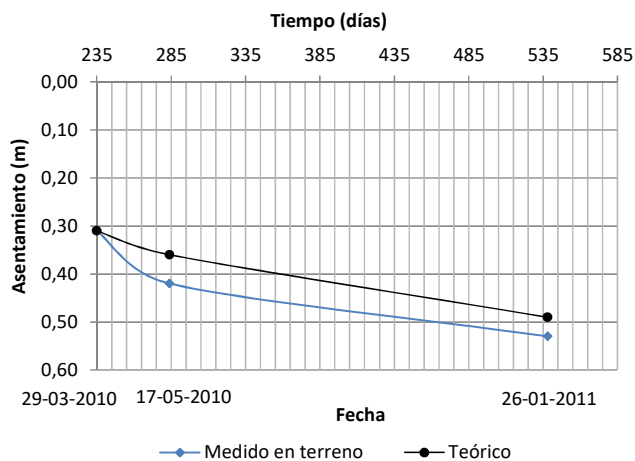


Fig. 8 – Asentamiento medido en terreno y teórico a partir de los 235 días

## 5 Método Constructivo

Como parte de la preparación del terreno, fue necesario cortar a ras de la superficie, arbustos y malezas que pudiesen dañar la geomalla o afectar su adecuada instalación (Foto 1). [4]



Foto 1. Preparación del terreno



Foto 2. Instalación primera capa de BX-1200

Posteriormente se colocó la primera capa de geomalla BX-1200 TENSAR directamente sobre la vegetación existente y de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Como se mencionó anteriormente, su función principal es mejorar o aumentar la capacidad de soporte donde se fundará el terraplén y a su vez repartir uniformemente las cargas generadas por las maquinarias y vehículos que transiten sobre éste. (Foto2)



El relleno de acuerdo a exigencias del fabricante, debía ser una arena gruesa y limpia, sin embargo, considerando la existencia de un banco de arena en el lugar, se aceptó utilizar una arena limosa “SM” con un promedio de 15% bajo malla 200. Sobre esta arena limosa y a 80 cm de la primera capa, se colocó una segunda capa de geomalla BX-1200 TENSAR para reforzar el cuerpo del terraplén, evitar fallas de talud y alcanzar la altura y espesores de rellenos requeridos (Foto 3). Como confinamiento lateral y sólo en los bordes, se utilizó un geotextil estabilizador de suelos. (Foto 4)



Foto 3. Instalación segunda capa de BX 1200 TENSAR    Foto 4. Instalación geotextil estabilizador de suelos

Luego, se colocó sobre la arena limosa, un relleno de material integral de 1.95 m de espesor, para alcanzar cota de rasante y que sería utilizado inicialmente para el tránsito local de vehículos livianos. (Foto 5)



Foto 5. Relleno de material integral

Foto 6. Calle terminada (03/06/2016)

Finalmente, se puso una base de material estabilizado como carpeta de rodadura y que actuó a su vez como de pre-carga para acelerar el proceso de consolidación y asentamientos esperados. Una vez monitoreado topográficamente el terraplén en el tiempo establecido y corroborado que el descenso había cesado (tendencia constante de las mediciones), se retiró parte de la pre-carga y se materializó el proyecto de pavimentación. A prácticamente 6 años de su materialización, no se observan a la vista grietas o daños y la calle Los Acacios mantiene un funcionamiento normal. (Foto 6)

## 6 Conclusiones

a) Después de evaluar varias alternativas para fundar el terraplén y descartando entre ellas, la solución profunda o de pilotes por un tema de costo y tiempo de materialización. Finalmente, se optó por construir un terraplén reforzados con geomalla biaxiales, cuyos beneficios o principales funciones fueron:

- Se eliminó la partida de sobreexcavación al trabajar directo sobre la vegetación existente.
- La primera capa de geomalla BX-1200 TENSAR, provee un refuerzo en la subrasante, mejorando la distribución de las cargas aplicadas al terreno (sistema de transferencia de carga).
- Su fácil instalación permitió trabajar de manera rápida y expedita acelerando el proceso constructivo, permitiendo un ahorro en tiempo y costo de la obra.
- Si bien es cierto, no se evitó la “ola de lodo”, debido principalmente a una inadecuada colocación de importantes volúmenes de relleno en vez de capas, como indicaba la especificación técnica, y no contar con un sistema de drenaje vertical y horizontal; las geomallas ayudaron a disminuir en parte, la potencial pérdida de soporte debido a las cargas que se aplicaron durante la construcción del terraplén.
- Las geomallas al intersectar el o los planos de falla, mejora la estabilidad global y por ende los factores de seguridad asociados.

b) De acuerdo al análisis de estabilidad global, considerando los parámetros de suelos definidos para el terraplén reforzado, los factores de seguridad en el caso estático y pseudoestático, fueron de 1.63 y 1.17, respectivamente, cumpliendo los valores establecidos en el análisis de estabilidad global.

c) El asentamiento real medido en terreno al cabo de 235 días fue de 0.31 m. A partir de este dato, se recalcularon las propiedades geotécnicas estimadas para la turba, obteniendo a los 284 días un asentamiento teórico de 0.36 m cercano al asentamiento real de 0.42 m medido en terreno. A los 538 días, el asentamiento teórico calculado fue de 0.49 m, próximo al asentamiento total medido en terreno de 0.53 m. Finalmente, a 1.3 años de instalada la pre-carga y después de algunas mediciones del asentamiento sin variación en torno a los 0.61 m, correspondiente al asentamiento del 90% de la consolidación primaria, se decidió remover en parte la pre-carga hasta el nivel de subrasante y proceder a la pavimentación de la calle.

d) Por otro lado, es importante señalar, que la alternativa analizada tuvo como principio fundamental el proporcionar una solución constructiva para el terraplén, es decir, materializarlo en terreno de manera rápida, segura y cumpliendo los factores de seguridad, bajo supuestos teóricos que no siempre se ajustan bien a la realidad, dada las características especiales de la turba, geometría de la estructura, superficies irregulares, variaciones de nivel freático, etc.



e) Finalmente, si bien es cierto, el tiempo de espera para poder pavimentar la calle superó los 2.7 años, el acceso estuvo operativo prácticamente desde que finalizó la construcción del terraplén, permitiendo el tránsito normal de vehículos y manteniendo un comportamiento satisfactorio y estable a la fecha.

## Referencias

- [1] Brouwer, J.J.M. In-situ soil testing; 2007. p. 130, Appendix B.
- [2] G. Mesri and M. Ajlouni. "Engineering Properties of Fibrous Peats". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2007
- [3] Mark H. Wayne, David J. White and Jay Kwon, Ph.D. "Evaluaciones de campo y laboratorio de una Capa Base recuperada Mecánicamente Estabilizada utilizada en la construcción de la US 12 Marmarth, North Dakota". 2011.
- [4] Méndez, A. "Uso de refuerzos Tensar para mejoramiento de caminos y subrasantes". EMIN Sistemas Geotécnicos S.A.
- [5] Cordo O, Girardi C, Gonzalez C. "Diseño de Terraplenes sobre suelos turbosos y propuestas para su construcción". San Juan, EICAM – UNSJ.
- [6] Vega R, Sosa R, Ramírez A, Narezo I, Pico R. "Geogrid-reinforced roadway embankment on soft soils: A case study". Soft Soil Engineering – Chan&Law(eds): 2007.
- [7] Vega R, Sierra D. "Mejoramiento en capacidad portante y refuerzo a terraplén sobre suelos blandos saturados utilizando geomallas poliméricas". Lima, Perú. Geoamericas 2012.
- [8] Presentación Tensar Earth Technologies, Inc. Sept. 1999.
- [9] Carrasco, R. Informes de Mecánica de Suelos y Ensayos de Laboratorio. Geotecnia Patagonia.