



TECNOLOGÍAS
EXCLUSIVAS S.A.

BOLETÍN TÉCNICO N° 002-01

***Guía de Diseño para el Mejoramiento
de Subrasantes bajo Carga Dinámica
con Geogrillas TENSAR***



Guía de Diseño para el Mejoramiento de Subrasantes bajo Carga Dinámica con Georillas TENSAR

INTRODUCCIÓN

Este Boletín Técnico provee los procedimientos de diseño para el uso de Georillas Biaxiales TENSAR con el fin de mejorar la capacidad portante efectiva de suelos muy blandos.

En general, los pavimentos rígidos y flexibles, los balastos de las vías de tren y las fundaciones de edificios se diseñan en base a un valor de capacidad portante de la subrasante que fue determinado a través de un estudio de suelos. Es más, la mayoría de los métodos de diseño son aplicables hasta algún valor mínimo de resistencia de la subrasante. Por lo tanto, cuando las condiciones del suelo de fundación son mucho más débiles que los valores mínimos de diseño, se hace necesario mejorar la capacidad de la subrasante mediante algún tipo de estabilización o mediante la excavación y relleno con material más competente (ver Boletín Técnico N° 001-01).

Las Georillas TENSAR ofrecen medios muy convenientes y económicos para mejorar la capacidad portante aparente de un suelo de subrasante a través del confinamiento y refuerzo del relleno o material granular colocado sobre la misma (ver Figura 1).

La función del relleno reforzado es la de distribuir las cargas superficiales y reducir las tensiones en la subrasante a un nivel que no exceda la capacidad portante del suelo para una falla local por corte.

La presente guía de diseño ilustra acerca de cómo calcular los espesores de relleno necesarios (reforzados y sin reforzar) para cualquier combinación de subrasantes débiles y cargas de construcción. El relleno reforzado, entonces, se convierte en la nueva subrasante para las estructuras de ingeniería propuestas.

Se encuentra fuera de las fronteras de este documento el proveer recomendaciones de diseño para

las estructuras de ingeniería propuestas (por ejemplo, las capas de asfalto o base granular de un pavimento flexible) a construir encima de la subrasante a reforzar. Cuando se lo requiera, pueden encontrarse las guías de diseño para este tipo de estructuras (pavimentos y fundaciones) en las Notas Técnicas de TENSAR.

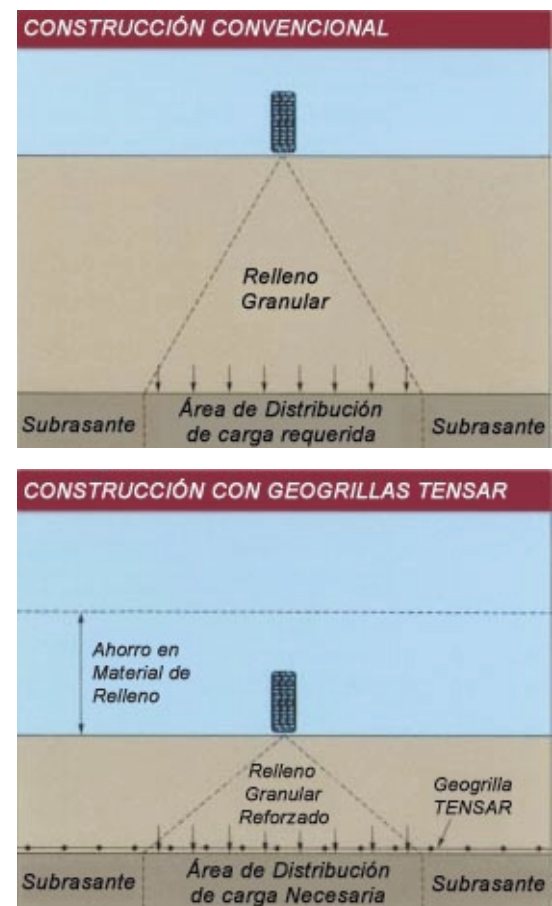


Figura 1

Construcción Convencional Vs. Construcción c/Georilla TENSAR BX

Este Boletín también provee una guía para la estimación de los ahorros en los costos producidos por la ayuda de esta tecnología y criterios para la decisión acerca de la necesidad o no de un geotextil en la estructura.



APLICACIONES TÍPICAS

Las Geogrillas TENSAR pueden utilizarse para reforzar rellenos de tierra sobre terreno blando y proveer una subrasante estable debajo de cualquiera de las siguientes estructuras:

- Pavimentos Flexibles
- Pavimentos Rígidos
- Caminos sin Pavimentar
- Balasto de Vías de Ferrocarril
- Áreas Industriales
- Plataformas de Maniobra/Trabajo de Equipos
- Plataformas de Estacionamiento
- Fundaciones de Edificios

GUÍA BÁSICA PARA EL DISEÑO

El suelo de una subrasante puede fallar bajo carga de dos maneras: a través de una falla localizada por corte o por la falla de la capacidad portante profunda. La falla localizada por corte, o punzonamiento, ocurre generalmente con la forma de una deformación severa en terrenos blandos saturados cuando la carga excede la resistencia al corte de la subrasante. La subrasante por debajo de un relleno sin reforzar fallará por punzonamiento al llegar a un nivel de tensión de alrededor de la mitad de la capacidad portante última del suelo.

El refuerzo de capas de relleno con Geogrillas TENSAR sobre suelos blandos puede prevenir la falla localizada por corte de la subrasante y, por lo tanto, incrementar significativamente su capacidad portante. Además, las Geogrillas TENSAR refuerzan el relleno granular mediante el confinamiento de las partículas, rigidizando la capa de base y permitiendo una mejor distribución de carga. El efecto combinado de prevenir la falla por punzonamiento y de reforzar permite la colocación y compactación de capas de relleno (o bases) sobre condiciones de subrasantes relativamente inestables.

Actualmente, en la práctica se utilizan las ecuaciones de Boussinesq para estimar la tensión máxima aplicada a la subrasante ubicada directamente por

debajo del área cargada. El espesor del relleno, entonces, se calcula de manera tal de prevenir la falla por capacidad portante de la subrasante, usando el criterio de falla establecido por Rodin.

Rodin analizó los mecanismos de falla de suelos finos bajo cargas de ruedas. En su análisis, la falla por capacidad portante se debe a la deformación plástica del suelo y puede ser predecida por la ecuación:

$$q = 6,2 \cdot c$$

Donde "q" es la capacidad portante última del suelo y "c" es la resistencia al corte del suelo basada en el criterio de falla de Coulomb (que describe a la resistencia al corte del suelo en términos de su cohesión).

Sin embargo, en suelos blandos Rodin notó que las cargas de ruedas causaban tensiones de corte horizontales altas que ocasionaban sobretensiones locales en la subrasante, dando como resultado una deformación plástica del suelo. Notó, además, que esta deformación plástica comenzaba cuando:

$$q_U = 3,1 \cdot c_U$$

Donde "q_U" es la capacidad portante sin reforzar para fallas localizadas por corte y "c_U" es la resistencia al corte No Drenada del suelo de la subrasante.

Ahora, las Geogrillas TENSAR proveen una plataforma de trabajo firme y el confinamiento del agregado o relleno para prevenir fallas por corte localizadas en la subrasante. Además, las geogrillas son capaces de tomar las tensiones de corte horizontales generadas por las cargas de ruedas, eliminando su propagación hacia la subrasante. Por lo tanto, con las Geogrillas TENSAR, la capacidad portante de diseño del suelo de la subrasante puede incrementarse hasta el valor:

$$q_r = 6,2 \cdot c_U$$



El factor de mejoramiento de la capacidad portante de 6,2 se atribuye a la resistencia al corte agregada por la grilla, y al mejoramiento en la capacidad de distribución de carga del material de relleno a través del mayor confinamiento, rigidez y refuerzo brindado también por la malla.

El incremento en el factor de capacidad portante producido por el uso de Geogrillas TENSAR, permite reducciones de 30-50% del relleno requerido, dependiendo de la capacidad portante de la subrasante.

Para determinar el espesor de relleno requerido (reforzado o sin reforzar) para limitar las tensiones de carga inducidas en la subrasante al nivel admisible pueden re-escribirse las ecuaciones de Boussinesq (despejando el valor del espesor).

Por otro lado, de acuerdo al tipo de relleno que se usará, será también necesario chequear la capacidad portante del relleno compactado con respecto a las cargas de construcción con el fin de determinar si se necesita un material de mayor calidad para la capa superior del espesor total requerido.

PARÁMETROS DE DISEÑO

El diseño de rellenos reforzados con Geogrillas TENSAR requiere el conocimiento de las siguientes variables:

DATOS NECESARIOS:

- c_U = Resistencia al Corte No Drenada del suelo de la subrasante. Ver Tabla 1.
- c_f = Resistencia al Corte del Material de relleno. Ver Tabla 1.
- P = Carga Dinámica por rueda simple, doble o tandem.
- p = Presión de inflado de las gomas (ruedas simples o duales) o presión de contacto bajo la

carga P (ruedas tandem).

- a = Espaciamiento de ejes (sistemas tandem).
- b = Ancho total de ruedas duales (sistemas tandem).

PARÁMETROS A CALCULAR:

- R = Radio Aparente de Área Cargada.
- q_U = Presión permitida por la subrasante, con relleno sin reforzar (equivalente a la capacidad portante aparente).
- q_f = Presión permitida por la subrasante, con relleno reforzado (equivalente a la capacidad portante aparente).
- z_U = Espesor de relleno o agregado requerido para soportar las cargas dinámicas con relleno sin reforzar.
- z_f = Espesor de relleno o agregado requerido para soportar las cargas dinámicas con relleno reforzado.

PASOS A SEGUIR EN EL CÁLCULO

PASO 1

Determinar la resistencia al corte no drenada, c_U , de la subrasante (ver Tabla 1). Para suelos no cohesivos, determinar el ángulo de fricción interna del material de relleno.

PASO 2

Calcular la capacidad portante admisible, q , en la superficie de la subrasante para el caso de rellenos reforzados y sin reforzar.

Si el suelo es **Cohesivo**:



$$q_U = 3,1 \cdot c_U \quad (\text{Sin reforzar}) \quad (1)$$

$$q_r = 6,2 \cdot c_U \quad (\text{Reforzado}) \quad (2)$$

requerido para prevenir la falla por capacidad del suelo de la subrasante. Para esto, utilizamos la expresión de Boussinesq (de donde despejamos el espesor), es decir:

Si el suelo es **No Cohesivo** :

$$z_U = R / [\{ 1 / (1 - q_U / p)^{0,67} \} - 1]^{0,5} \quad (6)$$

$$q_U = 1/2 \cdot \gamma_1 \cdot B_1 \cdot N_\gamma + 2 \cdot D \cdot N_q \quad (\text{Sin reforzar}) \quad (3)$$

$$q_r = 2,0 \cdot q_U \quad (\text{Reforzado}) \quad (4)$$

PASO 5

Donde:

- B = Ancho o Diámetro del Área Cargada
- γ_1 = Peso Unitario suelo de subrasante
- γ_2 = Peso unitario del relleno
- D = Profundidad del Relleno
- ϕ = Ángulo de Fricción interna del suelo de subrasante
- N_γ, N_q = Coeficientes en función de ϕ (ver Tabla 2).

Repetir el PASO 4, pero ahora para determinar el espesor requerido para el relleno reforzado, " z_r ", sustituyendo la presión portante admisible, " q_r ", para el caso reforzado, en la ecuación (6):

$$z_r = R / [\{ 1 / (1 - q_r / p)^{0,67} \} - 1]^{0,5} \quad (7)$$

PASO 6

PASO 3

Determinar la carga de diseño P, la presión y el área de contacto.

Verificar que la capacidad soporte del relleno sea suficiente como para soportar las cargas impuestas durante la construcción.

Para vehículos con cubiertas de goma, la carga de diseño "P" será la carga por rueda (es decir, 1/2 de la carga por eje) y el radio de contacto aparente "R" de la carga será:

Esta capacidad soporte se calcula como:

$$R = (P/3 \cdot 14p)^{0,5} \quad (5)$$

$$q_f = 3,1 \cdot c_f \quad (8)$$

Donde el valor de la presión de contacto "p" se asume como:

Siendo " c_f " la resistencia al corte del relleno, que puede determinarse de la misma forma que se hizo en el PASO 1 para la subrasante o puede ser estimada usando los gráficos típicos de Clasificación de Suelos, con el valor correlativo dado por la Tabla 1.

- Igual a la presión de inflado de las gomas, para ruedas simples o duales.
- $p = P/(a \cdot b)$ para sistemas Tamdem.

Si la resistencia " q_f " es satisfactoria (es decir que es mayor a la presión de contacto impuesta por la carga), ir directamente al PASO 10.

PASO 4

Calcular el espesor del relleno sin reforzar, " z_U ",

Si, en cambio, la presión en la superficie del relleno va a ser mayor que la que éste es capaz de soportar, será necesario usar un material de mayor capacidad portante para la porción superior del relleno. Este material formará parte del espesor requerido total del relleno y su altura será independiente del refuerzo o no del relleno (siempre y cuan-



do no se considere un segundo refuerzo con geogrilla en la interface entre la base y el relleno).

Como regla práctica, este material superior de la base debería tener un CBR mayor que la décima parte de la presión de contacto ($CBR > p/10$).

PASO 7

Determinar el espesor requerido del material de mayor capacidad portante ("Base Estructural") con el fin de prevenir la falla del relleno subyacente.

Para esto, repetir PASOS 1 a 4 sustituyendo la resistencia al corte del relleno, " c_f " en lugar de la de la subrasante en la ecuación (1).

PASO 8

Sustraer el espesor requerido de la "Base Estructural" calculado en el PASO 7 del espesor total de relleno calculado en los PASOS 4 y 5 (sin reforzar y reforzado respectivamente).

PASO 9

Determinar la carga máxima admisible de construcción sobre cada capa intermedia de relleno y/o sobre la superficie del mismo antes de la colocación del material de la base superior.

Para eso se pueden usar las siguientes ecuaciones:

$$p_a = q / \{ 1 / [1+(R/z)^2] \}^{3/2} \quad (9)$$

$$P_a = p_a \cdot (3,14 \cdot R^2) \quad (10)$$

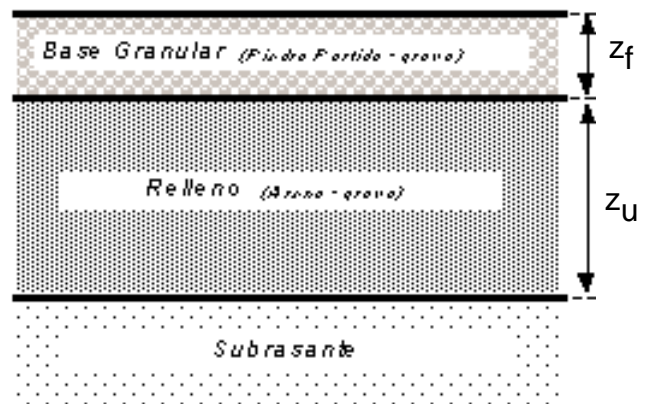
PASO 10

Comparar los costos de los diseños reforzados y sin reforzar.

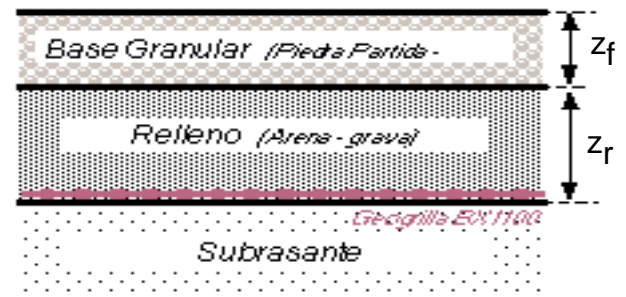
PERFILES RESULTANTES

En definitiva, los perfiles resultantes del diseño para el área de trabajo serán de la siguiente manera:

Relleno No Reforzado:



Relleno Reforzado:





CRITERIOS PARA USO DE GEOTEXTIL POR DEBAJO DE LA GEOGRILLA

El uso de geotextiles será necesario sólo en el caso en el que la granulometría del material de relleno no esté bien graduada y presente diferencias importantes con la del material natural de la subrasante. En tal caso, deberá colocarse un geotextil por debajo de la geogrilla para que actúe de "separador" y evite la filtración del material fino de la subrasante entre las partículas del relleno. De todas maneras, cabe aclarar que esa será la única función del geotextil, ya que éste no aportará ningún tipo de refuerzo al suelo, quedando dicha función en forma exclusiva para la geogrilla.

Por otro lado, si se selecciona un material de relleno bien graduado (de manera tal que éste pueda actual como filtro), el poder de separación de las geogrillas Tensar será suficiente y no se necesitará ningún tipo de geotextil. Estaremos en estas condiciones cuando se cumplan los siguientes requisitos:

Para suelo natural normal:

$$(D15 \text{ Relleno}) / (D85 \text{ Subrasante}) < 5$$

Para suelo natural con arcilla plástica:

$$(D15 \text{ Relleno}) / (D85 \text{ Subrasante}) < 10$$

Además, si el material es de alta plasticidad, también deberá verificarse que:

$$(D50 \text{ Relleno}) / (D50 \text{ Subrasante}) < 25$$

Si las granulometrías cumplen con estos requisitos, entonces la colocación de geotextil será innecesaria.

ANÁLISIS ECONÓMICO (Paso 10)

El análisis económico involucrará el estudio de costos comparativos entre las alternativas de relleno

con o sin refuerzo. La alternativa con refuerzo dará como resultado menores espesores de relleno y, por lo tanto, menores costos en excavación y colocación del material (que, a su vez, quizás deba ser importado de otras partes debido a no contar con buenos suelos en el sitio de la obra, con el consiguiente sobrecosto dado por el flete), pero, por otro lado, sumará el costo de la Geogrilla (para el refuerzo) y del eventual geotextil (en caso de que haya granulometrías muy diferentes entre subrasante y relleno).

Para analizar, entonces, la ventaja económica del refuerzo con geogrillas Tensar se deberán tener en cuenta los siguientes factores:

- 1.- Necesidad y magnitud de excavación (es decir, si el relleno se colocará sobre el terreno natural o si se excavará, y cuánto, una porción de la subrasante para colocarlo allí).
- 2.- Costo del Material de Relleno (por m^3).
- 3.- Costo del Flete del Material de Relleno (en caso de que deba ser importado, por m^3).
- 4.- Costo de Colocación del Material de Relleno (por m^3).
- 5.- Costo de Excavación (por m^3)
- 6.- Costo de Geogrilla (por m^2)
- 7.- Costo de Geotextil (en caso de resultar necesario, por m^2)

Calculando, entonces, los ahorros en volumen de movimiento de tierra (excavación + relleno) por unidad de área producidos gracias al refuerzo con geogrilla TENSAR, podemos estimar la reducción de costo en este ítem. Luego, si a este valor le restamos el costo de la Geogrilla y del eventual Geotextil (si es que se necesita), obtendremos el ahorro neto producido por el refuerzo por unidad de área de trabajo.



TABLA 1

Correlación de Valores de Resistencia al Corte de Suelos Cohesivos

RESISTENCIA AL CORTE		ENSAYOS		CONSISTENCIA ESTIMADA
psi kg/cm ²	SPT (N° Golpes/Pie)	Penetración c/ Cono	CBR	
< 1,7 < 0,12	< 2	< 0,24	< 0,4	Muy Blando (se escurre entre los dedos cuando se lo aprieta)
1,7-3,5 0,12-0,24	2-4	24-48	0,4-0,8	Blando (es moldeado con una leve presión de los dedos)
3,5-6,9 0,24-0,48	4-8	48-96	0,8-1,6	Mediano (es moldeado con una presión fuerte de los dedos)
6,9-13,9 0,48-0,96	8-15	96-192	1,6-3,2	Denso (Se marca con los pulgares, pero es penetrado con gran esfuerzo)
13,9-27,7 0,96-1,91	15-30	192-384	3,2-6,4	Muy Denso (se marca con la uña del pulgar)
> 27,7 > 1,91	> 30	> 384	> 6,4	Duro (se marca con dificultad con la uña del pulgar)

TABLA 2

Valores de Coeficientes N_γ y N_q para determinar Capacidad Portante en Suelos No Cohesivos

ϕ	N_γ	N_q
15	1.0	2.6
20	1.0	3.3
25	2.0	4.8
30	3.9	7.0
35	7.5	10.2