

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA INFLUENCIA DE LOS  
DIFERENTES TIPOS DE MORTERO Y SUBSTRATOS DE  
ALBAÑILERÍA EN LA ADHERENCIA CON GEOMALLAS**

**ANEXOS**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presentan los bachilleres:

**Renato Armando Cárdenas Linares**

**Jimmy Jorge Luna Coral**

**ASESOR: Ing. Daniel Torrealva Dávila**

Lima, junio de 2017

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 – FICHA TÉCNICA GEOMALLA BIAxIAL BX 4100

ANEXO 2 – FICHA TÉCNICA GEOMALLA TRIAXIAL TRIAX 160

ANEXO 3 – CÁLCULO DE RESISTENCIA ÚLTIMA DE LA GEOMALLA TRIAXIAL

ANEXO 4 – CÁLCULO DE LONGITUD DE ANCLAJE EFECTIVA

# ANEXO 1

## FICHA TÉCNICA

### GEOMALLA BIAxIAL BX4100

#### Para mejoramiento de subrasantes blandas y refuerzo de capa base

Las geomallas son elementos elaborados con resinas selectas de polipropileno, las cuales son química y biológicamente inertes y muy resistentes a procesos degenerativos de los suelos; son resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, a fin de resistir cargas dinámicas aplicadas en cualquier dirección en el plano de la geomalla.

La geomalla es una estructura integral, con un peso molecular y características moleculares que imparten:

- Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra los esfuerzos mecánicos desarrollados durante la instalación.
- Alta resistencia a la deformación provocada por fuerzas aplicadas durante su uso
- Alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra las sollicitaciones ambientales de largo plazo.

La geomalla estructural acepta la fuerza aplicada mediante trabazón mecánica con:

- Suelo compactado o materiales de relleno.
- Secciones contiguas de la misma malla cuando está traslapada y embebida en suelo compactado o materiales de relleno.
- Conectores mecánicos rígidos como horquillas, pines o ganchos.

La geomalla estructural posee suficiente rigidez a la flexión para ser capaz de lograr una instalación eficiente sobre suelos pobres o húmedos; y suficiente rigidez torsional para resistir movimientos de rotación en el plano provocados por los suelos compactados o los materiales de relleno, cuando están sujetos a fuerzas de desplazamiento lateral tales como las causadas por un vehículo en movimiento.

La geomalla estructural posee completa continuidad de todas las propiedades a través de su estructura y es apropiada para el refuerzo interno del suelo compactado o materiales de relleno a fin de mejorar su capacidad de soporte en aplicaciones estructurales.

La geomalla estructural presenta las características indicadas en la tabla siguiente:

<b>PROPIEDAD</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR MARV<sup>1</sup></b>
<b>Tamaño de Abertura<sup>2</sup></b>			
MD	ASTM D 4751	mm (Pulg.)	33 (1.3)
XMD	ASTM D 4751	mm (Pulg.)	33 (1.3)
<b>Espesor mínimo de la costilla<sup>2</sup></b>			
MD	ASTM D 1777	mm (Pulg.)	0.76 (0.03)
XMD	ASTM D 1777	mm (Pulg.)	0.76 (0.03)
<b>Capacidad a la Tensión al 2% de Elongación<sup>3</sup></b>			
MD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	4.0 (270)
XMD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	5.5 (380)

Además tiene las siguientes características mecánicas:

<b>PROPIEDAD</b>	<b>METODO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR MARV<sup>1</sup></b>
<b>Capacidad a la Tensión al 5% de Elongación<sup>3</sup></b>			
MD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	8.0 (550)
XMD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	10.5 (720)
<b>Resistencia última a la tensión<sup>3</sup></b>			
MD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	12.8 (880)
XMD	ASTM D 6637-10	kN/m (lb/ft)	13.5 (920)
<b>Eficiencia de las juntas<sup>4</sup></b>	ASTM D7737-11	%	93
<b>Rigidez Flexural<sup>5</sup></b>	ASTM D 7748-12	mg-cm	250,000
<b>Estabilidad de las Aperturas<sup>6</sup></b>	GRI GG9	m-N/deg	0.28
<b>Resistencia al Daño por instalación<sup>7</sup></b>	ASTM D6637	%SC / %SW / %GP	90/83/70
<b>Resistencia a la Degradación a Largo Plazo<sup>8</sup></b>	EPA 9090 INMERSION	%	100
<b>Resistencia a la Degradación por rayos UV<sup>9</sup></b>	ASTM D4355-05	%	100

**Notas:**

1. Los valores indicados son los valores mínimos promedio de rollo determinados por el método de ASTM D-4759-02 salvo que se especifique lo contrario. Los valores mínimos promedios de rollo (MARV) son valores estadísticos iguales a los valores promedio menos dos veces la desviación estándar.

2. Dimensiones nominales.
3. Determinado de acuerdo con la norma ASTM D6637 – 10 Método A.
4. La capacidad de transferencia de carga se determina de acuerdo a la norma ASTM D7737-11 usando un 10% de la velocidad mínima de esfuerzo.
5. La resistencia a la carga flexural se mide sobre la base de la norma ASTM-D7748-12, usando una muestra de 2 costillas de ancho, con costillas transversales cortadas al ras con los bordes externos de las costillas longitudinales, y longitud lo suficientemente larga para permitir el desarrollo de la prueba.
6. La resistencia al movimiento rotacional en el plano es medida aplicando un momento de 20 kg-cm en la junta central de un espécimen de 9" x 9" restringido en su perímetro, de acuerdo a la metodología GRI GG9.
7. La pérdida de capacidad de carga o integridad estructural debido a los daños de construcción en arena arcillosa (SC), arena bien gradada (SW) y piedra chancada clasificada o agregado pobremente gradado (GP). El material será ensayado de acuerdo con ASTM D5818-06 y la capacidad de carga medida de acuerdo con ASTM D6637-01.
8. La pérdida de capacidad debido a ataque químico o biológico se mide sobre la base de la prueba de inmersión EPA 9090.
9. La resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural se mide sometiendo a la muestra a 500 horas de luz ultravioleta y un ambiente agresivo de acuerdo a ASTM D4355-05
10. Las iniciales MD denotan la dirección principal de la geomalla (dirección de extrusión de la máquina) y XMD la dirección transversal del espécimen.
11. Para mayor información sobre los procesos de ensayos y normas mencionadas puede visitar los siguientes websites: [www.astm.org](http://www.astm.org); [www.drexel.edu/gri](http://www.drexel.edu/gri) o [www.epa.gov](http://www.epa.gov).

## ANEXO 2

### FICHA TÉCNICA

#### GEOMALLA TRIAX 160

##### Para mejoramiento de suelos blandos y refuerzo de bases granulares

Las geomallas TRIAX 160 son elementos elaborados a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno, perforadas y estiradas uniformemente en tres direcciones formando costillas con un alto grado de orientación molecular y uniones integrales de alta rigidez.

La geomalla presenta una apertura triangular, un peso y características moleculares que imparten alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra los esfuerzos mecánicos desarrollados durante la instalación, alta resistencia a la deformación provocada por fuerzas aplicadas durante su uso y alta resistencia a la pérdida de capacidad de carga o integridad estructural contra las sollicitaciones ambientales de largo plazo.

Las geomallas son química y biológicamente inertes y resistentes a procesos degenerativos de los suelos; son resistentes al desgaste, rasgaduras y punzonamiento, y soportan cargas dinámicas aplicadas por el tráfico de construcción en cualquier dirección dentro de su plano.

La geomalla TRIAX 160 genera una transmisión radial (360°) de esfuerzos al suelo de fundación, mediante trabazón mecánica con suelo compactado o materiales de relleno.

La geomalla posee suficiente rigidez a la flexión para lograr una instalación eficiente sobre suelos pobres o húmedos; y suficiente rigidez torsional, con un mínimo de 6 costillas por unión, para resistir movimientos de rotación en el plano provocados por los suelos compactados o los materiales de relleno, cuando están sujetos a fuerzas de desplazamiento lateral tales como las causadas por un vehículo en movimiento.

La geomalla posee completa continuidad de todas las propiedades a través de su estructura y es apropiada para el refuerzo interno del suelo compactado o materiales de relleno a fin de mejorar su capacidad de soporte en aplicaciones estructurales.

La geomalla estructural TRIAX 160 presenta las características indicadas en la tabla siguiente:

Propiedades	Longitudinal	Diagonal	Transversal	General
Distancia entre costillas paralelas, mm (in) <sup>(2)</sup>	40 (1.60)	40 (1.60)	-	
Profundidad al centro de la costilla, mm (in) <sup>(2)</sup>	-	1.6 (0.06)	1.4 (0.06)	
Ancho al centro de la costilla, mm (in) <sup>(2)</sup>	-	1.0 (0.04)	1.2 (0.05)	

Forma de la costilla				rectangular
Forma de la apertura				triangular
<b>Integridad Estructural</b>				
Eficiencia en las juntas <sup>(3)</sup> %				93
Rigidez radial a bajas deformaciones, <sup>(4)</sup> (kN/m @ 0.5% deformación)				300
Rigidez radial a bajas deformaciones, <sup>(4)</sup> (lb/ft @ 0.5% deformación)				20,580

Con respecto a la durabilidad, la geomalla TRIAX 160 cumple los siguientes valores:

Propiedades	Longitudinal	Diagonal	Transversal	General
<b>Durabilidad</b>				
Resistencia a la degradación química <sup>(5)</sup>				100%
Resistencia a la degradación por luz ultravioleta y condiciones ambientales <sup>(6)</sup>				70%

**Notas:**

1. Los valores indicados son los valores mínimos promedio de rollo determinados por el método de ASTM D4759-02 salvo que se especifique lo contrario. Los valores mínimos promedios de rollo (MARV) son valores estadísticos iguales a los valores promedio menos dos veces la desviación estándar.
2. Dimensiones nominales.
3. La capacidad de transferencia de carga se mide vía ASTM D6637-10 y ASTM D7737-11 y es expresada como un porcentaje de la resistencia a la tensión última.
4. El esfuerzo radial se determina a partir de los esfuerzos de tensión medidos en cualquier eje del plano para pruebas en concordancia con la ASTM D 6637-10.
5. La resistencia a la pérdida de capacidad de carga cuando la geomalla es sometida a ambientes agresivos químicamente se obtiene mediante el ensayo de inmersión de acuerdo con la EPA 9090.
6. La resistencia a la pérdida de capacidad de carga cuando la geomalla es sometida a 500 horas de luz ultravioleta y ambientes agresivos, se obtiene de acuerdo a las pruebas ASTM D 4355-05.

## ANEXO 3

### CÁLCULO DE RESISTENCIA ÚLTIMA DE GEOMALLA TRIAXIAL

Debido a que no existen normas internacionales para ensayar a tracción una geomalla triaxial por metro de ancho, no se puede conocer una fuerza de falla de una sección de geomalla de manera directa. Por lo tanto se tuvo que calcular la fuerza de falla de una sección de geomalla triaxial en base a la fuerza de falla de la composición de sus costillas.

En el 2014, el profesor Daniel Torrealva y su asesora Helga Tipismana ensayaron en costillas longitudinales y diagonales de la geomalla triaxial de acuerdo a la norma ASTM D6637-11 “*Determining Tensile Properties of Geogrids by the Single or Multi-Rib Tensile Method*” y se obtuvieron los siguientes resultados:

- ✓ Tensión última promedio (longitudinal): 0.622 kN
- ✓ Tensión última promedio (diagonal): 0.565 kN

La figura A.1 muestra la distribución de costillas de la geomalla triaxial, la figura A.2 muestra la orientación de los ejes tanto longitudinal y diagonal como el eje diagonal.

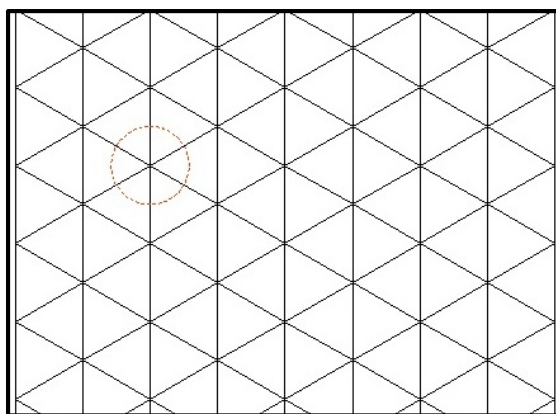


Figura A.1 – Distribución de las costillas de la geomalla triaxial

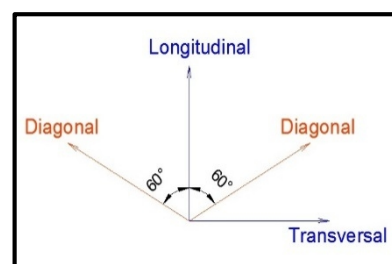


Figura A.2 – Orientación de los ejes para los los a las costillas

Para simplificar los cálculos se ha asumido que los nodos de la geomalla fallan de manera simultánea. Este sería un límite superior ya que la probabilidad que fallen simultáneamente es remota, ya que en la práctica los nodos y costillas fallan de manera aleatoria.



Se analiza un nodo de la geomalla triaxial, como muestra la figura A.3, y se calculan las fuerzas resultantes longitudinal y transversal.

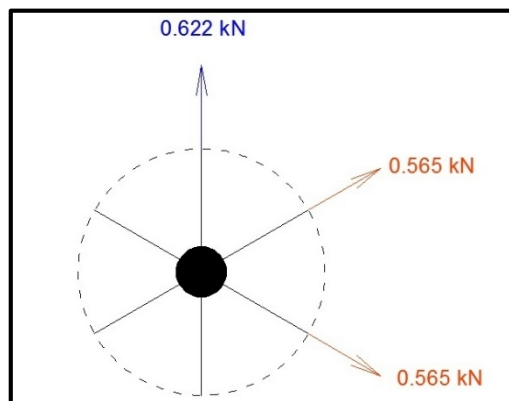


Figura A.3 – Fuerza sobre un nodo de la geomalla triaxial

Cálculo de la fuerza de falla longitudinal de un nodo:

$$F_{lc} = 0.622 + 2 \times 0.565 \times \cos 60^\circ$$

$$F_{lc} = 1.187 \text{ k}$$

Cálculo de la fuerza de falla transversal de un nodo:

$$F_{t1} = 2 \times 0.565 \times \cos 30^\circ$$

$$F_{t1} = 0.9786 \text{ k}$$

Los nodos están distanciados 0.04m, por lo que en un metro de ancho se tendrá 26 nodos. Finalmente, se obtiene la fuerza de falla de la geomalla por metro de ancho multiplicando la fuerza de falla de un nodo por la cantidad de nodos por metro de ancho.

- Tensión última longitudinal: 30.9 kN/m
- Tensión última transversal: 25.4 kN/m

## ANEXO 4

### CÁLCULO DE LA LONGITUD DE ANCLAJE EFECTIVA

En la figura A.1, se aprecia el esquema del espécimen ensayado. Se puede distinguir la fuerza que aplica la máquina universal, la cual debe ser equilibrada por la fuerza de adherencia que se desarrolla en el área de adherencia.

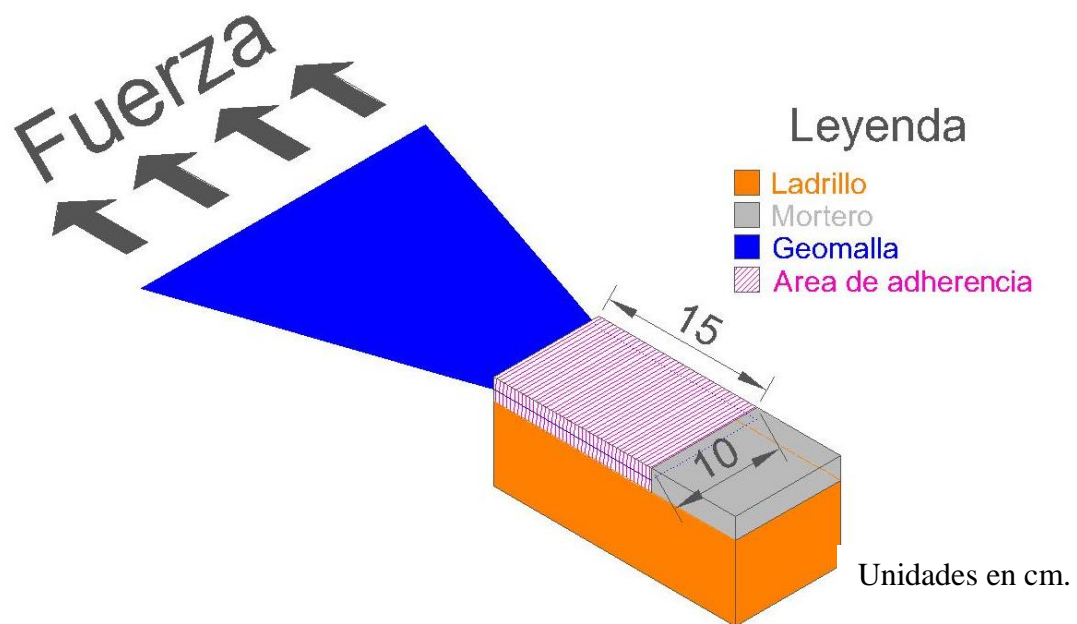


Figura A.1 – Esquema general de espécimen utilizado

Para el cálculo de la longitud de anclaje efectiva, se usará el valor de la fuerza de última  $F_u$  que brindan las especificaciones de fabricantes. Y la fuerza de adherencia será hallada con los especímenes que tuvieron falla tipo III.

$$F_u = \tau * A \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$F_u$  = resistencia última a la tracción de la geomalla (kN/m)

$\tau$  = esfuerzo de adherencia ladrillo-mortero (kPa)

$A$  = Área de adherencia efectiva ( $m^2$ )

Conversión: 1 kPa = 1000 N/ $m^2$

Desarrollando la ecuación 1: Se multiplica el  $F_u$  por el ancho de geomalla (0.10m.), se reemplaza la variable Área (A) por el producto del ancho del ladrillo por longitud de anclaje (0.10 x L), luego, se simplifica la ecuación se despeja la longitud de anclaje.

$$F_u * 0.10 = \tau * 0.10 * L$$

$$F_u = \tau * L$$

$$L = \frac{F_u}{\tau}$$

A esta fórmula se le incluye el factor de seguridad, ya que para el diseño se necesita aplicar un factor para aumentar la probabilidad de que la longitud de anclaje sea mayor a la óptima y garantizar que la geomalla desarrolle su capacidad máxima sin que se desprenda del ladrillo, por lo que la ecuación final sería la siguiente:

$$L = \frac{F_u}{\frac{\tau}{FS}}$$

Donde:

L = longitud de anclaje efectiva (m)

$F_u$  = resistencia última a la tracción de la geomalla (kN/m)

$\tau$  = esfuerzo de adherencia ladrillo-mortero (kPa)

FS = Factor de Seguridad