



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE
CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN
SEGMENTADOS**

Alejandro Manuel Lainez Navarro

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE
CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN
SEGMENTADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEJANDRO MANUEL LAINEZ NAVARRO
ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
SECRETARIO	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGEMENTADOS DE
CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN
SEGMENTADOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de octubre de 2016.



Alejandro Manuel Lainez Navarro



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 22 de agosto de 2018

Ingeniero
José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador del Área de Construcciones Civiles y Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN SEGMENTADOS**, presentado por el estudiante Alejandro Manuel Lainez Navarro, quién se identifica con el número de registro académico 201314328.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente

Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089
Asesor

Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
29 de octubre de 2018

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

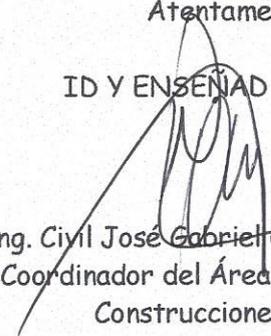
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN SEGMENTADOS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Alejandro Manuel Lainez Navarro quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y el Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Alejandro Manuel Lainez Navarro PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN SEGMENTADOS da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2019

/mmm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala

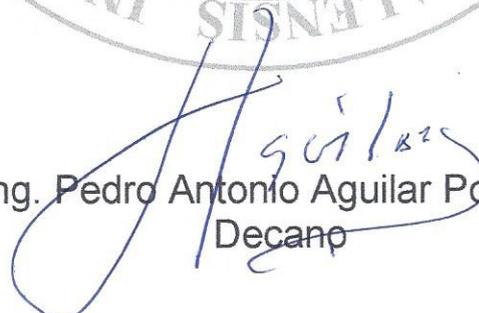


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.97.2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil del trabajo de graduación titulado: **“PROPUESTA DE MEJORA EN LA CONEXIÓN ENTRE BLOQUES SEGMENTADOS DE CONCRETO Y REFUERZO GEO SINTÉTICO, EN MUROS DE CONTENCIÓN SEGMENTADOS”** presentado por el estudiante universitario: **Alejandro Manuel Láinez Navarro** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Febrero de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el que permite todo mis logros y es la fuente de la sabiduría; gracias por permitirme llegar a la finalización de esta etapa.
- Mis padres** Victor Manuel Lainez Elias e Hilda Yolanda Navarro Bautista, por todo el apoyo incondicional que me otorgaron, haciendo de este éxito posible.
- Mi abuelo paterno** Leonzo Lainez Zacarias (q.d.e.p), quien por su partida no pudo ver mi logro pero sé que está con nuestra familia en el corazón.
- Mi abuela paterna** Maria Elias, a ella que ha sido un ejemplo de perseverancia sobre la adversidad.
- Mis tíos paternos** Armando, Gloria, Leonardo Lainez, Brenda Gonzales; ya que con sus muestras de apoyo me impulsaron a ser una mejor persona a nivel personal y académico.
- Mi hermana** Liz Maricel Lainez Navarro, con sus consejos y apoyo incondicional este logro fue capaz de realizarse.

Mis primos

Abigail, Armando, Gabriela Lainez; ya que ellos han sido parte de toda mi vida, brindándome su apoyo incondicional.

Mis amigos cercanos

Benjamin Hernández, Andy Salas, Brian Morales, Amadeus Hernández, Gilberto Rosales; los cuales fueron de gran importancia en mi trayectoria académica y de vida, compartiendo experiencias que marcaron mi vida de forma positiva.

Ingeniero asesor

Mario Rodolfo Corzo Ávila, quien fue un apoyo muy importante en mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera y brindarme la oportunidad de crecer de forma académica, profesional y personal.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi formadora académica, la cual me inculcó los conocimientos no solo teóricos y prácticos, sino la ética con la cual debe ser ejercida la profesión y la responsabilidad que conlleva.
Mis amigos de la Facultad	Por su apoyo en cada etapa de la carrera, la cual culmina en mi graduación.
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila	Por su asistencia en la realización del trabajo de graduación, el cual fue de mucha ayuda además de enriquecedor a nivel académico, espiritual y personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Muros de contención segmentados en la historia.....	1
1.2. Sistema muro contención segmentado.....	3
1.2.1. Definición.....	3
1.2.2. Componentes del sistema	3
1.2.2.1. Unidad segmentada de concreto	3
1.2.2.2. Geomalla	5
1.2.2.3. Lock	6
1.2.3. Especificaciones generales	6
1.2.3.1. Uso	6
1.2.3.2. Configuración.....	7
1.2.3.3. Características.....	9
1.2.3.4. Forma de trabajo	9
1.2.4. Conexión unidad segmentada – refuerzo	10
1.2.4.1. Definición.....	10
1.2.4.2. Importancia de la conexión	10
1.2.4.3. En el diseño de muro.....	10

1.2.5.	Conexiones convencionales.....	12
1.3.	Factor de conexión unidad segmentada – refuerzo geosintético.....	13
1.3.1.	Definición.....	13
1.3.2.	Método de cálculo.....	13
2.	METODOLOGÍA.....	15
2.1.	Ensayo de la conexión entre unidades de concreto y geomalla.....	15
2.1.1.	Norma NCMA SRWU-1.....	15
2.1.1.1.	Descripción del sistema para el ensayo.....	15
2.1.1.2.	Parámetros por considerar.....	25
2.1.1.3.	Forma de evaluación.....	26
2.2.	Descripción de configuraciones de conexión a evaluar.....	27
2.2.1.	Configuraciones tradicionales.....	27
2.2.1.1.	Modificación física de geomalla.....	27
2.2.1.2.	Grava.....	28
2.2.2.	Configuración propuesta.....	29
2.2.2.1.	Modificación en unidad segmentada de concreto.....	29
2.3.	Carga vertical óptima.....	31
2.3.1.	Fase inicial.....	32
2.3.2.	Carga vertical óptima.....	34
2.3.3.	Nota.....	37
3.	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	39
3.1.	Datos obtenidos en ensayos con geomalla modificada.....	42
3.1.1.	Gráfica carga vs. desplazamiento.....	44

3.1.2.	Determinación de carga de trabajo.....	45
3.1.3.	Determinación de carga de servicio.....	50
3.1.4.	Carga última	50
3.2.	Datos obtenidos en ensayos con grava.....	51
3.2.1.	Gráfica carga vs. desplazamiento.....	52
3.2.2.	Determinación de carga de trabajo.....	54
3.2.3.	Determinación de carga de servicio.....	59
3.2.4.	Carga última	59
3.3.	Datos obtenidos en ensayos con unidad segmentada modificada	60
3.3.1.	Gráfica carga vs. desplazamiento.....	60
3.3.2.	Determinación de carga de trabajo.....	62
3.3.3.	Determinación de carga de servicio.....	67
3.3.4.	Carga última	67
3.4.	Factor de conexión	67
3.4.1.	Configuración con malla modificada	68
3.4.2.	Configuración con grava	69
3.4.3.	Configuración con unidad segmentada modificada	70
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81
	APÉNDICES	83
	ANEXOS	85

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gran muralla china	2
2.	Esquema de un zigurat	2
3.	Bloque segmentado de concreto	4
4.	Geomalla	5
5.	<i>Lock</i>	6
6.	Configuración general del sistema	8
7.	Conector mecánico dot del sistema mesa	12
8.	Marco de carga	16
9.	Plancha de acero 1 x 1 m	17
10.	Perfiles de acero	17
11.	Bloques para ensayos	18
12.	Vista trasera del muro	19
13.	Vista expuesta del muro	19
14.	Perfil para aplicar carga uniforme al refuerzo	20
15.	Geomalla ensamblada en perfil	20
16.	Piezas de apoyo para perfil	21
17.	Gatos hidráulicos	21
18.	Bomba hidráulica	22
19.	Manguera doble	22
20.	Neopreno	23
21.	Lingotes de acero	23
22.	Deformímetro	24

23.	Vista del sistema armado.....	25
24.	Modificación física de geomalla	28
25.	Posición refuerzo en el sistema	29
26.	Vena que se inserta en ranura	30
27.	Colocación refuerzo en modificación	30
28.	Configuración incluyendo <i>lock</i>	31
29.	Interacción entre elementos, distintas cargas y combinaciones	33
30.	Carga vertical – desplazamiento, con las cargas vertical y horizontal	35
31.	Carga horizontal – desplazamiento.....	36
32.	Carga horizontal vs. desplazamiento	44
33.	Identificación ecuaciones	45
34.	Energía absorbida.....	47
35.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento.....	48
36.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento.....	49
37.	Carga horizontal vs. desplazamiento	53
38.	Identificación de ecuaciones	54
39.	Energía absorbida.....	56
40.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento.....	57
41.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento.....	58
42.	Carga horizontal vs. desplazamiento	61
43.	Identificación de ecuaciones	62
44.	Energía absorbida.....	64
45.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento.....	65

46.	Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento	66
47.	Comparación de configuración de conexión, carga – desplazamiento...	72
48.	Comparación de configuración de conexión, carga – desplazamiento...	74

TABLAS

I.	Especificaciones del bloque	4
II.	Datos del ensayo.....	34
III.	Datos de ensayo, para ejemplo de cálculos	39
IV.	Datos de ensayo, para ejemplo de cálculo de carga horizontal	41
V.	Datos preliminares	42
VI.	Datos finales.....	43
VII.	Datos de energía por desplazamiento.....	46
VIII.	Datos preliminares	51
IX.	Datos finales.....	52
X.	Datos de energía por desplazamiento.....	55
XI.	Datos finales.....	60
XII.	Datos de energía por desplazamiento.....	63
XIII.	Carga última en ensayo y carga de fábrica de malla.....	68
XIV.	Carga última en ensayo y carga de fábrica de malla.....	69
XV.	Carga última de ensayo y carga de fábrica de malla.....	70
XVI.	Resumen de datos	75
XVII.	Factor de conexión en cada configuración.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C_{serv}	Carga de servicio
C_{trab}	Carga de trabajo
C_{horiz}	Carga horizontal
C_{ult}	Carga última
C_{vert}	Carga vertical
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería
R²	Coeficiente de determinación
CR	Factor de reducción o conexión
RF_c	Factor de reducción para tener en cuenta factores ambientales.
CR_s	Factor de reducción por pérdida de resistencia en conexión debido a falla por extracción de la conexión.
CR_u	Factor de reducción por pérdida de resistencia en conexión debido a falla por rotura del refuerzo.
FS	Factor de seguridad global, la cual tiene en cuenta incertidumbres en la estructura geométrica, propiedades de rellenos, cargas externas aplicadas, el potencial de sobre-esfuerzo local.
kJ	Kilo Joule
kN	Kilo Newton
kg	Kilogramo

PSI	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
m	Metro
mm	Milímetro
N	Newton
Pulg	Pulgada
T_{ac}	Resistencia a largo plazo de la conexión unidad segmentada – refuerzo
C_{lot}	Resistencia última a la tensión del refuerzo

GLOSARIO

Carga horizontal	Carga ocasionada por la acción de empuje de los gatos hidráulicos, que provoca el desplazamiento del refuerzo.
Carga de servicio	Carga en la cual el desplazamiento es igual a 19 mm.
Carga de trabajo	Carga en la cual el material está siendo forzado a trabajar.
Carga última	Carga registrada cuando se considere que el sistema haya fallado.
Carga vertical	Carga que confina el sistema provocando la fricción entre bloque y refuerzo. Evita el desplazamiento del refuerzo.
Deformímetro	Instrumento que muestra las diferencias de posición que puede presentar un elemento.
Desplazamiento	Cantidad de diferencia entre una posición inicial y una posición final.
Geosintético	Material fabricado de polímeros. Su uso en el suelo tiene la finalidad de reforzar, proteger, controlar la erosión, drenar o separar.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se estudiará el comportamiento mecánico de la conexión entre bloques de concreto segmentado y refuerzo geosintético.

Se ensayaron tres tipos de conexiones: una tradicional con grava, otra con cambios físicos en la malla de refuerzo y la propuesta de mejora, la cual consiste en un cambio físico al bloque de concreto.

Esto se realiza con la finalidad de determinar si existe una mejora en el comportamiento mecánico de la conexión.

Al finalizar este estudio se obtuvo una mejora en el comportamiento mecánico de la conexión.

OBJETIVOS

General

Comparar el comportamiento de la conexión entre las dos configuraciones convencionales y la propuesta de mejora de conexión entre bloques y refuerzo geo sintético.

Específicos

1. Determinar la carga última, de servicio y de trabajo, de las tres configuraciones de conexión.
2. Analizar la curva carga vs. desplazamiento de las tres configuraciones de conexión.
3. Determinar si la configuración propuesta aporta una mejora al sistema.

INTRODUCCIÓN

La conexión entre bloque – refuerzo, en muros de contención segmentados, utilizan la fricción entre elementos como fuerza restrictiva para evitar el desplazamiento.

El método de conexión más utilizado confina el refuerzo entre bloques y grava; otra, menos usual, modifica físicamente el refuerzo.

Al observar el comportamiento mecánico de estas configuraciones de conexión se realizó una modificación física al bloque, mejorando el comportamiento mecánico. Con esto se obtiene un mayor grado de fiabilidad del desempeño del muro de contención.

El equipo para la realización del ensayo se fabricó en la sección de estructuras y cumple con todos los parámetros establecidos en la norma NCMA SRWU-1.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

A continuación se resume los antecedentes de los muros de contención.

1.1.1. Muros de contención segmentados en la historia

El sistema de muros de contención se remonta al año de 1960, cuando la utilización de bloques interconectados fue introducida, pero no fue hasta el año de 1985, aproximadamente, que la utilización de este sistema consiguió su auge al adicionarle el uso de suelo reforzado para su construcción.

A pesar de que el sistema no lleva más de sesenta años en el mercado, la idealización de un sistema de retención de suelo, que se basara solamente en muros segmentados, se remonta a construcciones tales como la Gran Muralla China. Esta utilizaba bloques de arcilla y arena; en algunas partes también se mezclaba grava y caña o ramas, cubiertas por materiales que se encontraban en los alrededores de la construcción del tramo del muro.

Figura 1. **Gran Muralla China**



Fuente: VIGNONI, Anabel. 10 curiosidades en la Muralla China.

<https://www.mdzol.com/nota/714680-10-curiosidades-en-la-muralla-china/>. Consulta: 2 de noviembre de 2016.

También están los zigurats en Babilonia, los cuales utilizaban bloques de adobe en el interior y como capa bloques de ladrillo cocido. Los zigurats no eran huecos, por lo cual las paredes estaban diseñadas para retener suelo.

Figura 2. **Esquema de un Zigurat**



Fuente: GON. Los Zigurat: bastiones de la Mesopotamia. <https://sobrehistoria.com/los-zigurat-bastiones-de-la-mesopotamia/>. Consulta: 2 de noviembre de 2016.

1.2. Sistema muro contención segmentado

Los muros de contención se emplean en diversas situaciones, estabilización de taludes, como elemento meramente estético, etc. Por esto es de importancia el grado de confiabilidad de la estructura.

1.2.1. Definición

El muro de contención segmentado es un tipo de muro de tierra estabilizada, con la inclusión de refuerzo para mejorar las propiedades del suelo y una fachada (unidades segmentadas), esto para proteger el refuerzo de agentes externos que degraden sus capacidades mecánicas.

Para el tipo de muro estudiado, la fachada está constituida de bloques de concreto prefabricados y refuerzo extensible (geomalla).

1.2.2. Componentes del sistema

Estos componentes son los que se emplearán en el sistema y en el ensayo, para reproducir las condiciones de trabajo a las que se verá sometida la conexión bloque-refuerzo.

1.2.2.1. Unidad segmentada de concreto

A continuación se detallan las características físicas y mecánicas del elemento segmentado.

Tabla I. **Especificaciones del bloque**

Alto	20 cm
Ancho	34 cm
Largo	50 cm
Peso Unidad	85 lb
Inclinación	6°
Resistencia Compresión	100 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia, con base en hoja informativa del sistema Nuraghe.

En la siguiente figura se muestra la forma del elemento segmentado.

Figura 3. **Bloque segmentado de concreto**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

1.2.2.2. Geomalla

Tipo de geosintético a utilizar. Se trata de capas de geomalla uniaxial material extensible, lo cual permite su deformación y soportar grandes cargas, que se colocarán para soportar los esfuerzos de tensión provocados por el empuje lateral del suelo.

Figura 4. Geomalla



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

1.2.2.3. Lock

Es un elemento que se utiliza como trabe mecánico entre los bloques (horizontal y vertical) e inclusive, como trabe en la conexión entre bloque y el refuerzo geosintético.

Figura 5. **Lock**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

1.2.3. Especificaciones generales

Las especificaciones presentan la forma en que se emplea el sistema en construcciones y su comportamiento ante la acción de cargas.

1.2.3.1. Uso

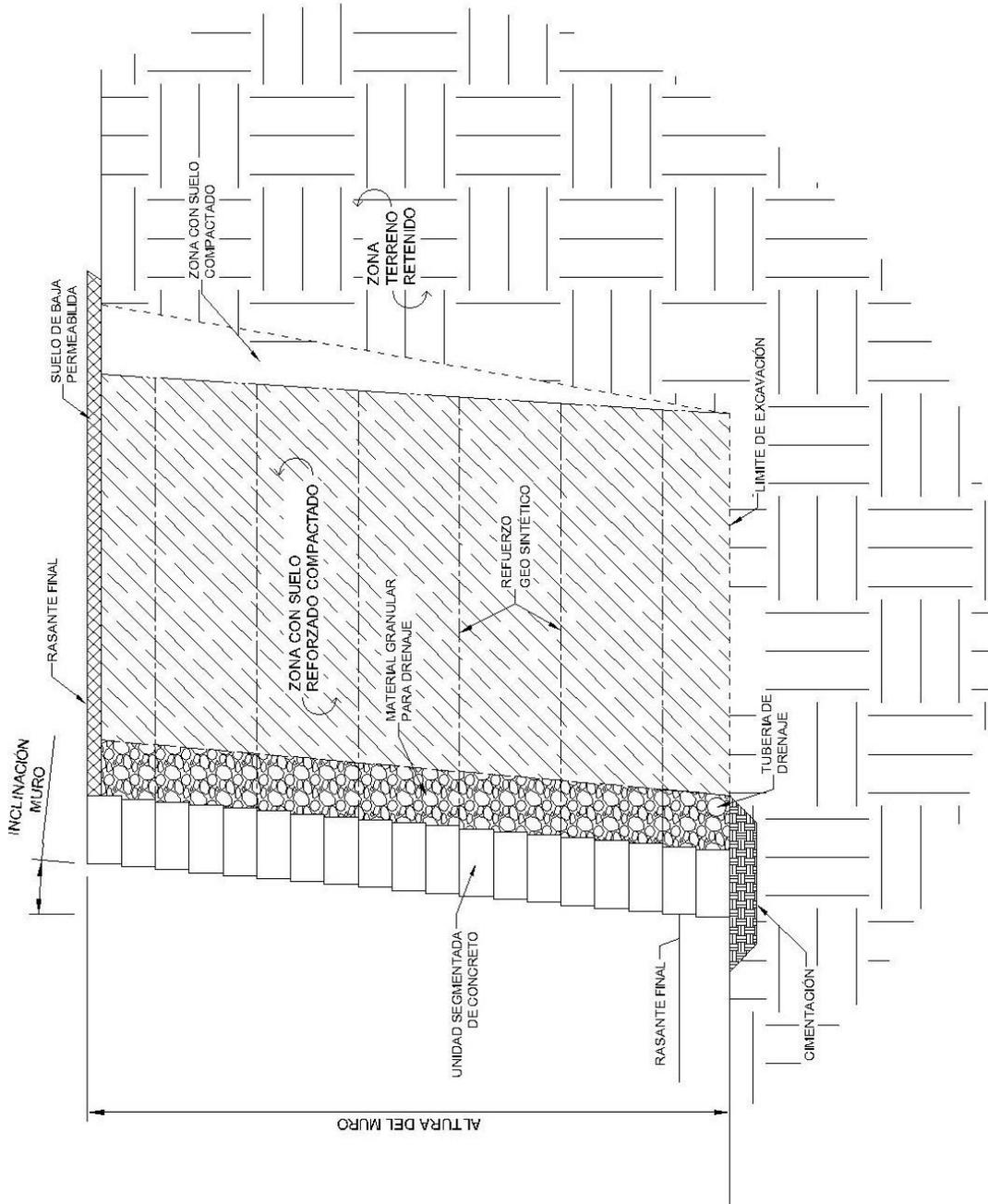
Las aplicaciones del muro segmentado son muy variadas, así como los materiales que se utilizan y sus formas. El sistema de muro en estudio se denomina Nuraghe, el cual puede ser utilizado como:

- Estabilización de taludes de relleno en carreteras
- Estabilización de cualquier talud
- Paso inicial para puentes

1.2.3.2. Configuración

Como todo tipo de muro, se compone de las unidades segmentadas, el refuerzo y el suelo para estabilizar.

Figura 6. Configuración general del sistema



Fuente: elaboración propia, empleando programa AUTOCAD.

1.2.3.3. Características

Las características son exclusivas de este sistema, ya que pueden variar en diferentes sistemas ya que no se utilizan los mismos materiales para su construcción.

- Estructura flexible

Por la interacción suelo-estructura, se caracteriza por comportarse de forma flexible, ya que permite deformaciones provocadas por las cargas que actúan en el muro.

- Muros de suelo mecánicamente estabilizado

Esto es por la tipología que tiene el sistema. Consiste en mejorar las propiedades del suelo, a través de la inclusión de refuerzo.

- Muro de contención

Su finalidad es contener una masa de suelo y evitar posibles deslizamientos.

1.2.3.4. Forma de trabajo

La parte más importante es el refuerzo, ya que este resiste los esfuerzos que se presentan dentro del muro. Integra la fachada con la masa de suelo y hace que el sistema trabaje en conjunto.

1.2.4. Conexión unidad segmentada – refuerzo

La conexión es de importancia, en ella se da la interacción bloque – geomalla la cual tiene un rol importante en la confiabilidad que se tenga de la estructura del muro.

1.2.4.1. Definición

Unión entre unidad segmentada y refuerzo, ya sea de forma mecánica o por fricción, del refuerzo embebido en la fachada.

Esta conexión se diseña a largo plazo, una vida aproximada de 75 años.

1.2.4.2. Importancia de la conexión

La estabilidad interna del muro se debe al refuerzo. La conexión entre bloque segmentado y refuerzo juega un papel muy importante, ya que la resistencia que debe tener el refuerzo para asegurar la estabilidad interna, para resistir los esfuerzos aplicados a lo largo de la vida de diseño del muro, deben ser calculados donde el esfuerzo es máximo y en la conexión entre la unidad segmentada-refuerzo.

1.2.4.3. En el diseño de muro

Al igual que todo tipo de muro de contención, se realizan todas las comprobaciones necesarias (deslizamiento, volcamiento, capacidad soporte del suelo).

Otro paso importante es el diseño de la conexión entre la fachada y el refuerzo; esto se hace para asegurarse que el esfuerzo a tensión que resiste la conexión, a largo plazo, es superior al esfuerzo debido a las presiones actuantes sobre el muro.

La resistencia a largo plazo de la conexión es con la cual se debe determinar si la conexión resiste las cargas actuantes.

La resistencia a largo plazo de la conexión unidad segmentada-refuerzo (T_{ac}) está definida como:

Si el modo de falla de la conexión en el ensayo es por extracción del refuerzo:

$$T_{ac} = \frac{C_{ult} * CR_u}{FS}$$

Si el modo de falla de la conexión en el ensayo es por rotura del refuerzo:

$$T_{ac} = \frac{C_{ult} * CR_s}{FS * RF_c}$$

Donde:

T_{ac} = Resistencia a largo plazo de la conexión

FS = Factor de seguridad

RF_C = Factor de reducción para tener en cuenta diversos factores como los ambientales.

CR_U o CR_S = Factor de reducción (factor de conexión) para tener en cuenta la pérdida de resistencia debida a falla de la conexión, dependiendo de la forma de falla.

1.2.5. Conexiones convencionales

En el mercado existen diversos tipos de conexiones como con conectores de diversos materiales, por fricción, etc.

Figura 7. **Conector mecánico DOT del sistema Mesa**



Fuente: Tensar Mesa. Sistemas de muros de contención. Pág. 7.

Para el sistema en estudio, solo nos interesa la conexión por fricción y una que modifica físicamente el refuerzo, porque el sistema solo trabaja por fricción.

De aquí surge la idea de mejorar la conexión por medio de un trabe mecánico entre el la unidad segmentada y el refuerzo.

1.3. Factor de conexión unidad segmentada – refuerzo geosintético

Valor que representa una relación entre cargas y determina la capacidad de la conexión a resistir cargas. A continuación se presentan la definición y método de cálculo del factor.

1.3.1. Definición

Es un factor de seguridad o reducción, el cual tiene como objetivo asegurar la estabilidad del muro, ya que reduce el esfuerzo último teórico que puede ser aplicado a la conexión bloque-refuerzo. Este esfuerzo debe ser mayor al esfuerzo provocado por las cargas que actúan debido a la masa de suelo estabilizado.

1.3.2. Método de cálculo

Según las especificaciones de AASHTO para diseño de muros (resumen de *Standard Specifications for Highway Bridges – AASHTO – HB 17*, capítulo 5, sección 5.8)

Define el factor como:

$$CR_{UoS} = \frac{C_{ult}}{C_{lot}}$$

Donde:

CR= Factor de reducción (factor de conexión) para tener en cuenta la pérdida de resistencia debida a falla de la conexión dependiendo de la forma de falla.

C_{ult} = Carga a la que falla la conexión

C_{lot} = Resistencia ultima a la tensión del refuerzo.

2. METODOLOGÍA

2.1. Ensayo de la conexión entre unidades de concreto y geomalla

A continuación se detalla los aspectos fundamentales del ensayo.

2.1.1. Norma NCMA SRWU-1

Tiene como objetivo reproducir las condiciones del sistema en campo a escala completa. Por razones de equipo se utilizará un sistema que sea equivalente al planteado en la norma.

2.1.1.1. Descripción del sistema para el ensayo

Como base de apoyo se utiliza el marco de carga, ubicado en el área de prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII.

Se hace énfasis en que este sistema de ensayo fue desarrollado por completo por el área de prefabricados del CII, cumpliendo con todos los parámetros por considerar, los cuales se detallan en la norma.

Figura 8. **Marco de carga**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Sobre este se arma el sistema de apoyo con el cual se reproducirán las condiciones del ensayo. El sistema de ensayo consiste en:

Una platina de acero de 1X1 m, centrada en el marco, la cual cumple con la función de apoyo para los bloques.

Figura 9. **Plancha de acero 1 x 1 m**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Se coloca un perfil de acero a una altura determinada, el cual se utiliza como apoyo para los gatos hidráulicos.

Figura 10. **Perfil S de acero**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Se colocan paraleles de madera entre el sistema y el marco de carga, para distribuir las fuerzas al marco de carga.

Se utilizarán tres unidades segmentadas intactas, y una dividida en dos partes iguales, las cuales se colocan centradas en la platina. La restante se coloca intercalada con las mitades a ambos lados.

Figura 11. **Bloques para ensayos**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 12. **Vista trasera del muro**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 13. **Vista expuesta del muro**



Fuente: área de Prefabricados, CII-USAC, zona 12.

La geomalla, de longitud de ensayo de 1 metro, se colocará un extremo trabada en un perfil, diseñado para que su rigidez impida deformaciones excesivas. El perfil puede desmontarse para colocar una nueva muestra de geomalla para cada ensayo.

Figura 14. **Perfil para aplicar carga uniforme al refuerzo**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 15. **Geomalla ensamblada en perfil**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

El otro extremo se coloca centrado, respecto al marco, entre las dos capas de bloques. Su método de conexión variará según la configuración de conexión que se ensayará.

Se colocan dos piezas de madera para sostener el perfil y se le coloca un gato hidráulico en cada extremo.

Figura 16. **Piezas de apoyo para perfil**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 17. **Gatos hidráulicos**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Se conectan los dos gatos hidráulicos a una bomba manual, a través de una manguera doble.

Figura 18. **Bomba hidráulica**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 19. **Manguera doble**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Se colocan en la parte superior de los bloques dos franjas de neopreno y dos lingotes de acero, para distribuir la carga aplicada en la parte superior de las unidades segmentadas de concreto (peso propio de viga del marco de carga).

Figura 20. **Neopreno**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 21. **Lingotes de acero**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Finalmente, se coloca un deformímetro en la parte posterior del perfil, para registrar los desplazamientos que tendrá el refuerzo debido a la carga aplicada.

Figura 22. **Deformímetro**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 23. **Vista del sistema armado**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

2.1.1.2. Parámetros por considerar

La norma menciona parámetros que se debe considerar sobre las unidades segmentadas de concreto y el refuerzo geosintético:

- Los bloques segmentados de concreto por utilizar serán de tamaño completo, no se usarán prototipos ni modelos de los mismos.

- Los bloques segmentados podrán ser reutilizados en otros ensayos, si no presentan erosión, abrasión o fisuras en la superficie de concreto entre ensayos.
- Para cada ensayo, se utilizará una muestra virgen de refuerzo geosintético.
- La longitud mínima de la muestra de refuerzo geosintético, es de 36 pulgadas (910 mm).
- La distancia libre desde la parte posterior de los bloques al perfil de aplicación de carga, debe ser de 8 pulgadas (200 mm).

2.1.1.3. Forma de evaluación

Se describe dos criterios de evaluación de la resistencia de la conexión:

- **Criterio de esfuerzo de conexión última:** se basa en el esfuerzo máximo a tensión de la conexión. Se registra cuando ocurre el deslizamiento entre bloque-geomalla.
- **Criterio de esfuerzo de conexión en estado de servicio:** se basa en la deformación máxima permisible del refuerzo geosintético, la cual no afectará el desempeño del muro en servicio. Se registra la carga de tensión, a una determinada cantidad de desplazamiento permitida del refuerzo, la cual se especifica para satisfacer el criterio de desempeño

del muro; si no se especificara deberá utilizarse un valor de 19 mm (1,9 cm).

Para obtener el factor de conexión se utilizarán los dos criterios de carga de servicio y de trabajo. Los datos se plotearán en gráficas de carga horizontal (kN/m) vs desplazamiento (mm), para su respectivo análisis.

2.2. Descripción de configuraciones de conexión a evaluar

A continuación se describen las características de cada configuración de conexión a evaluar.

2.2.1. Configuraciones tradicionales

Son las utilizadas para realizar la conexión en los muros segmentados.

2.2.1.1. Modificación física de geomalla

Esta configuración consiste utilizar grava para rellenar huecos y realizar un trabe mecánico con la geomalla; además se cortan fibras de la geomalla para dejar un espacio libre donde el *lock* pueda utilizarse como trabe para prevenir la falla del muro a través del desprendimiento de la capa de geomalla de la conexión con los bloques segmentados.

Figura 24. **Modificación física de geomalla**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

2.2.1.2. Grava

Es la configuración más utilizada. La conexión se basa en la fricción que ejerza la grava en la geomalla, auxiliada con la presión normal del peso de los bloques segmentados superiores.

Figura 25. **Posición refuerzo en el sistema**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

2.2.2. Configuración propuesta

Pretende obtener una mejora en la conexión y, por ende, en el factor de conexión, a través de una modificación al bloque y no a la geomalla.

2.2.2.1. Modificación en unidad segmentada de concreto

Consiste en realizar una ranura en el bloque de concreto, en la cual se introducirá la vena de la geomalla para lograr un trabe mecánico, el cual se espera optimice el desempeño de la conexión.

Figura 26. **Vena que se inserta en ranura**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 27. **Colocación refuerzo en modificación**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Figura 28. **Configuración incluyendo Lock**



Fuente: área de Prefabricados, CII USAC, zona 12.

Como parte de la metodología, se diseñó el sistema de carga para realizar de manera más práctica los ensayos en las muestras.

2.3. Carga vertical óptima

En las especificaciones de la norma NCMA SRWU-1, no se menciona ningún tipo de restricción a la carga vertical.

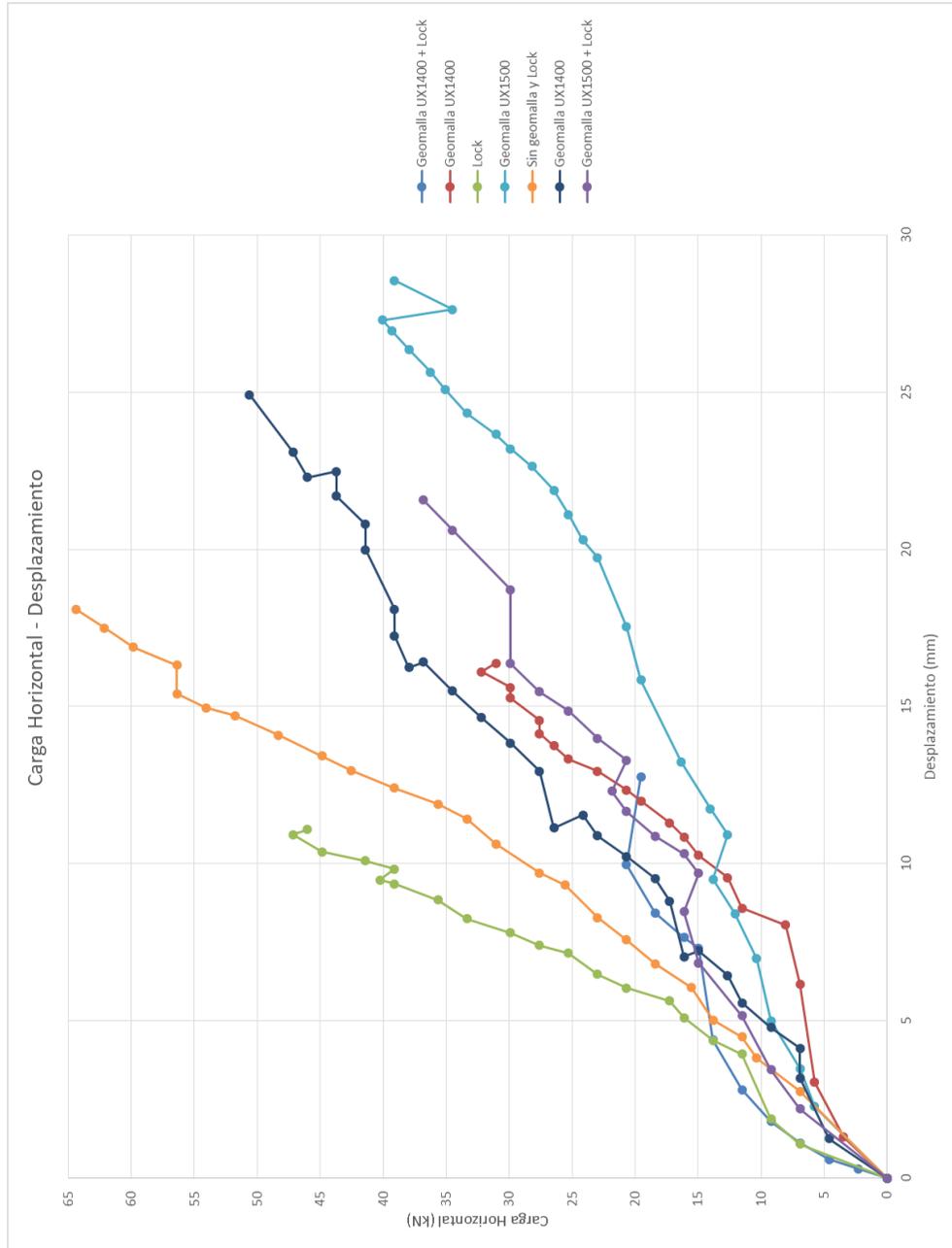
Esta carga reproduce el peso de los bloques apilados sobre el punto en cuestión. Este ensayo se realiza como una determinación del comportamiento mecánico del refuerzo en relación con la carga vertical.

Esto fue calculado en el informe No. EFC 19 de mayo 2016, realizado en el área de prefabricados del CII. El informe se adjuntará en el apartado de Anexos.

2.3.1. Fase inicial

Resumiendo lo presentado en el informe, esta fase se utilizó para observar el comportamiento entre elementos del sistema a diferentes cargas verticales y diferentes combinaciones.

Figura 29. **Interacción entre elementos, distintas cargas y combinaciones**



Fuente: elaboración propia, con base en Gráfica 1 de informe.

Se observa que la malla UX1500 requiere una carga vertical mayor que la malla UX1400 para que logre aportar alguna restricción al desplazamiento entre bloques. Ya que los ensayos se realizaron con malla UX1500 conllevó a realizar el ensayo para determinar la carga vertical óptima.

2.3.2. Carga vertical óptima

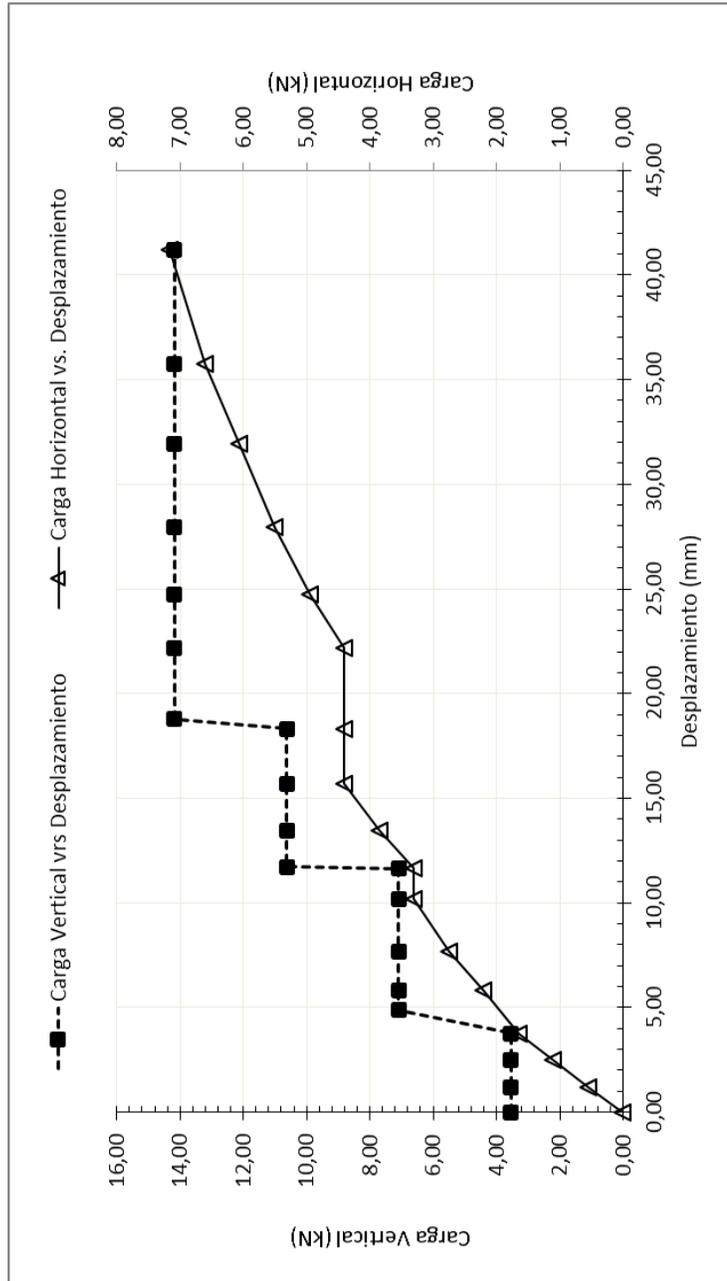
A continuación se presentan los datos obtenidos en el ensayo.

Tabla II. Datos del ensayo

Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN)	Deslizamiento (mm)
3,54	0,00	0,00
3,54	0,55	1,20
3,54	1,10	2,48
3,54	1,65	3,75
7,09	0,00	4,87
7,09	2,20	5,79
7,09	2,75	7,68
7,09	3,30	10,19
7,09	3,30	11,62
10,63	0,00	11,72
10,63	3,85	13,45
10,63	4,41	15,70
10,63	4,41	18,32
14,18	0,00	18,76
14,18	4,41	22,15
14,18	4,96	24,75
14,18	5,51	27,95
14,18	6,06	31,90
14,18	6,61	35,75
14,18	7,16	41,20

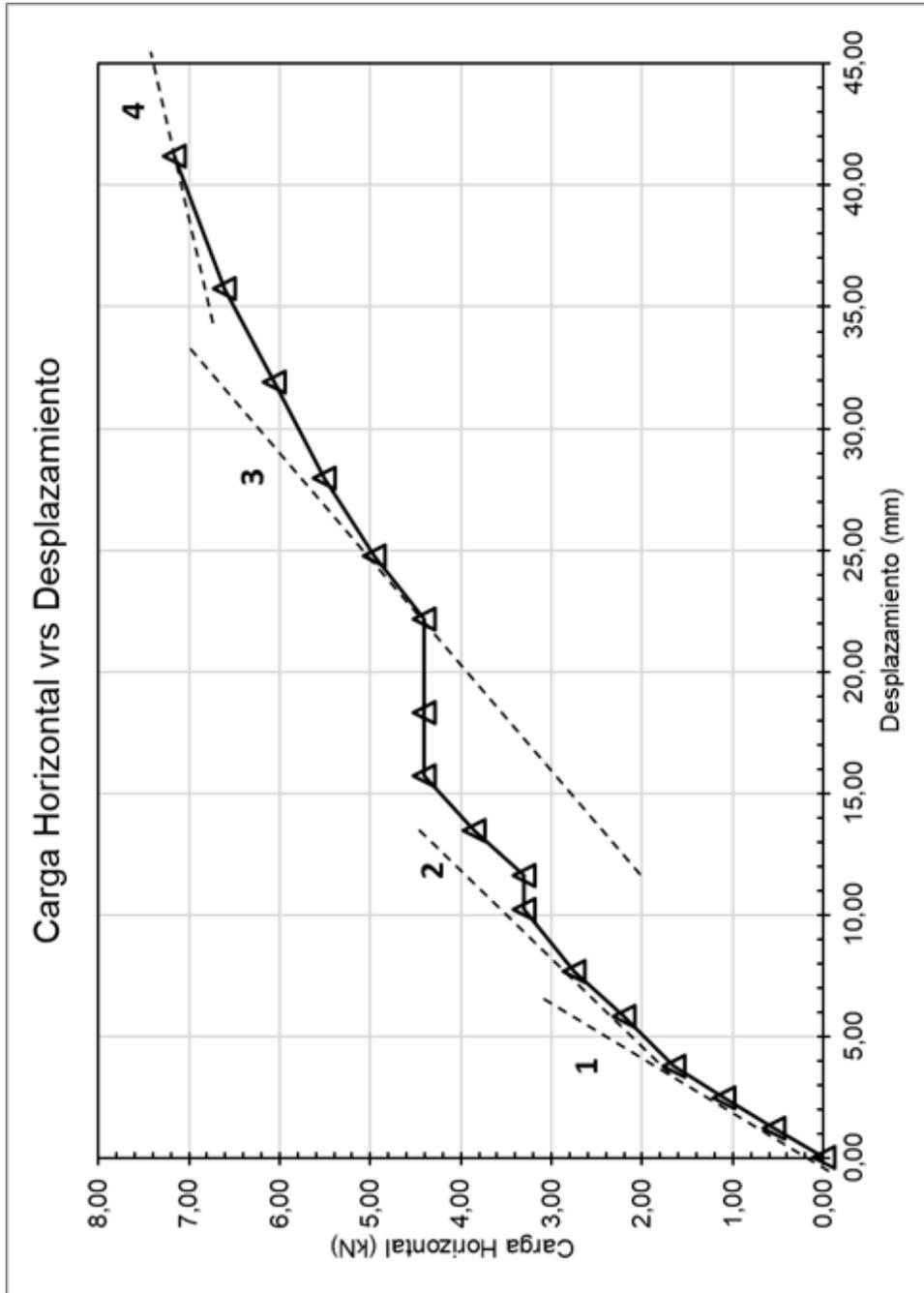
Fuente: elaboración propia, con base en Tabla 1 de informe.

Figura 30. **Carga vertical – Desplazamiento, con las cargas vertical y horizontal**



Fuente: elaboración propia, con base en Gráfica 2 de informe.

Figura 31. Carga horizontal – Desplazamiento



Fuente: elaboración propia, con base en Gráfica 3 de informe.

El análisis realizado en el informe determina una carga óptima de aproximadamente 14 kN. Por disponibilidad de equipo se realiza en cada ensayo una lectura de bomba de 100 kg/cm², equivalente a 1 445 kg y a 14,18 kN.

2.3.3. Nota

En esta sección se cita un informe realizado por la sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, el cual está en el apartado de Anexos.

Cabe recalcar que las discrepancias en denominación de sistemas de unidades de medida, entre el informe, el cual usa el sistema técnico de unidades, y lo presentado a continuación, es por motivos de utilización de sistemas.

Por ello se realiza la conversión a las unidades manejadas en el sistema Internacional.

La designación del refuerzo en el informe es diferente, lo cual se manejará de la siguiente manera, para evitar confusiones.

La malla denominada en el informe 110, es la malla UX1400 en el trabajo de graduación; y la malla denominada en el informe como 115, es la malla UX1500 en el trabajo de graduación.

3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los siguientes cálculos son ejemplos de cómo se calcularon los datos presentados en cada tabla, a partir de datos obtenidos en cada tipo de conexión.

Estos cálculos son para determinar las tres columnas de la tabla presentada en la sección, 3.1.

Tabla III. **Datos de ensayo, para ejemplo de cálculos**

Axial (kg/cm ²)	Horizontal (PSI)	Horizontal (Kg/cm ²)	Horizontal (kN/m)	Reloj Pequeño	Reloj Grande
25	0	0,00	0,00	43	46
100	0	0,00	0,00	43	55
100	50	3,51	2,20	44	52

Fuente: elaboración propia.

- Desplazamiento relativo (mm)

Se calcula con lecturas del deformímetro (como reloj grande y pequeño).

$$DesRel = (RelojPequeño) + (RelojGrande * 0,01)$$

$$DesRel = 43 + (46 * 0,01)$$

$$DesRel1 = 43,46 \text{ mm}$$

$$DesRel2 = 43 + (55 * 0,01)$$

$$DesRel2 = 43,55 \text{ mm}$$

- Desplazamiento (mm)

Se busca cuánto se desplazó realmente el refuerzo. Solo se debe hacer una diferencia, con base en el primer dato de desplazamiento relativo.

$$Desplazamiento_n = (DesRel_n - DesRel_{n-1}) + Desplazamiento_{n-1}$$

Para el primer dato, el desplazamiento será 0, por ser el inicial. Para los siguientes se calcula de la siguiente forma.

$$Desplazamiento = (43,55 - 43,46) + 0$$

$$Desplazamiento = 0,09 \text{ mm}$$

Este desplazamiento es para la segunda fila de datos, ya que como se estableció, el primer desplazamiento se toma como 0.

- Carga vertical (kN)

Es la lectura de la carga axial, solo se procede a convertir de kg/cm^2 a kN.

Datos por considerar:

Área gato hidráulico vertical= $14,45 \text{ cm}^2$

$$C_{vert} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 14,45 \text{ cm}^2 * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ N}}$$

$$C_{vert} = 3,54 \text{ kN}$$

- Carga horizontal (kN)

$$\text{Área gato hidráulico horizontal} = 15,94 \text{ cm}^2$$

Tabla IV. **Datos de ensayo, para ejemplo de cálculo de carga horizontal**

Axial (kg/cm ²)	Horizontal (PSI)	Horizontal (Kg/cm ²)
25	0	0,00
100	0	0,00
100	50	3,51

Fuente: elaboración propia.

Se utilizará la tercera fila de datos para este ejemplo.

$$C_{horz} = (2 * \text{Área} * \text{Horizontal}) * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kN}}{1\,000 \text{ N}} * \frac{1}{\text{long. refuerzo}}$$

$$C_{horz} = 2,20 \text{ kN/m}$$

- Gráficas de energía

Para calcular su energía se procedió a encontrar ecuaciones, en función de su desplazamiento, que describieran a las gráficas de carga horizontal vs. desplazamiento, valiéndose del valor de R^2 para corroborar la exactitud o proximidad de la ecuación a la gráfica.

Luego se integran y se valúan los valores de desplazamiento, lo que da como resultado la energía absorbida en cada punto.

3.1. Datos obtenidos en ensayos con geomalla modificada

A continuación se presentan los datos obtenidos en el ensayo.

Tabla V. Datos preliminares

Axial (kg/cm ²)	Horizontal (PSI)	Horizontal (Kg/cm ²)	Horizontal (kN/m)	Reloj Pequeño	Reloj Grande	Desplazamiento relativo (mm)	Desplazamiento (mm)
25	50	3,51	2,20	2	3	2,03	0
100	150	10,54	6,60	8	9	8,09	6,06
100	200	14,06	8,79	10	11	10,11	8,08
100	250	17,57	10,99	11	12	11,12	9,09
100	300	21,09	13,19	13	14	13,14	11,11
100	350	24,60	15,39	15	16	15,16	13,13
100	400	28,12	17,59	17	18	17,18	15,15
100	450	31,63	19,79	19	20	19,2	17,17
100	500	35,15	21,98	21	22	21,22	19,19
100	500	35,15	21,98	22	23	22,23	20,2
100	500	35,15	21,98	22	23	22,23	20,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos finales**

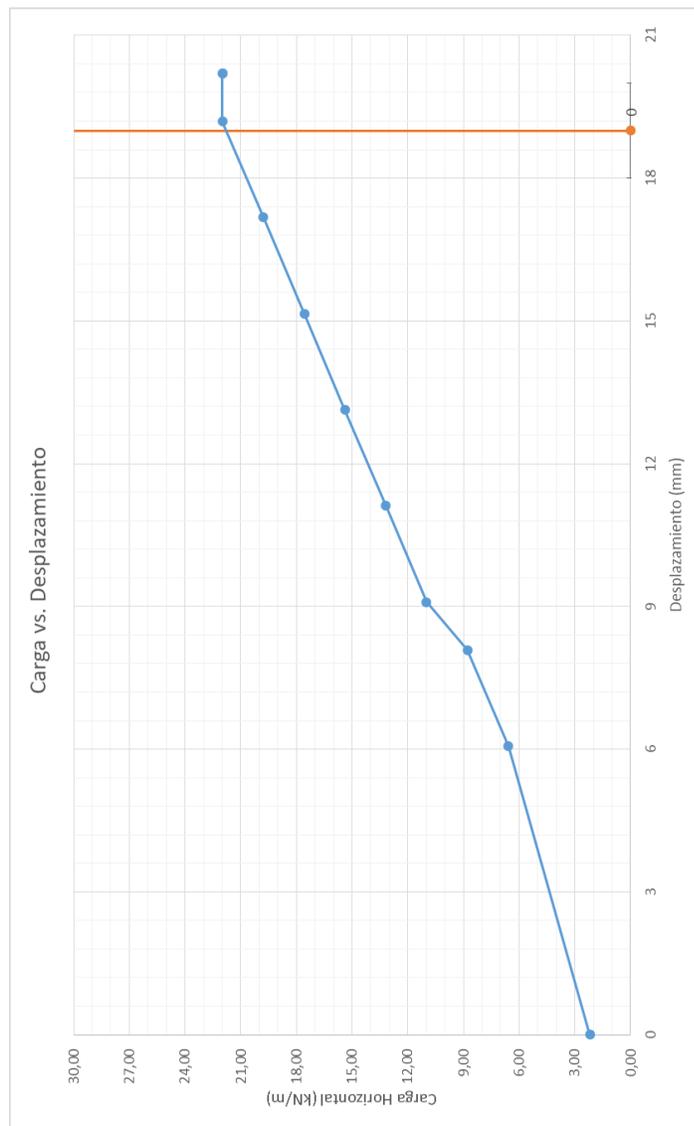
Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN/m)	Desplazamiento (mm)
3,54	2,20	0
14,18	6,60	6,06
14,18	8,79	8,08
14,18	10,99	9,09
14,18	13,19	11,11
14,18	15,39	13,13
14,18	17,59	15,15
14,18	19,79	17,17
14,18	21,98	19,19
14,18	21,98	20,20
14,18	21,98	20,20

Fuente: elaboración propia.

3.1.1. Gráfica carga vs. desplazamiento

Representación gráfica de la relación carga – desplazamiento.

Figura 32. Carga horizontal vs. desplazamiento

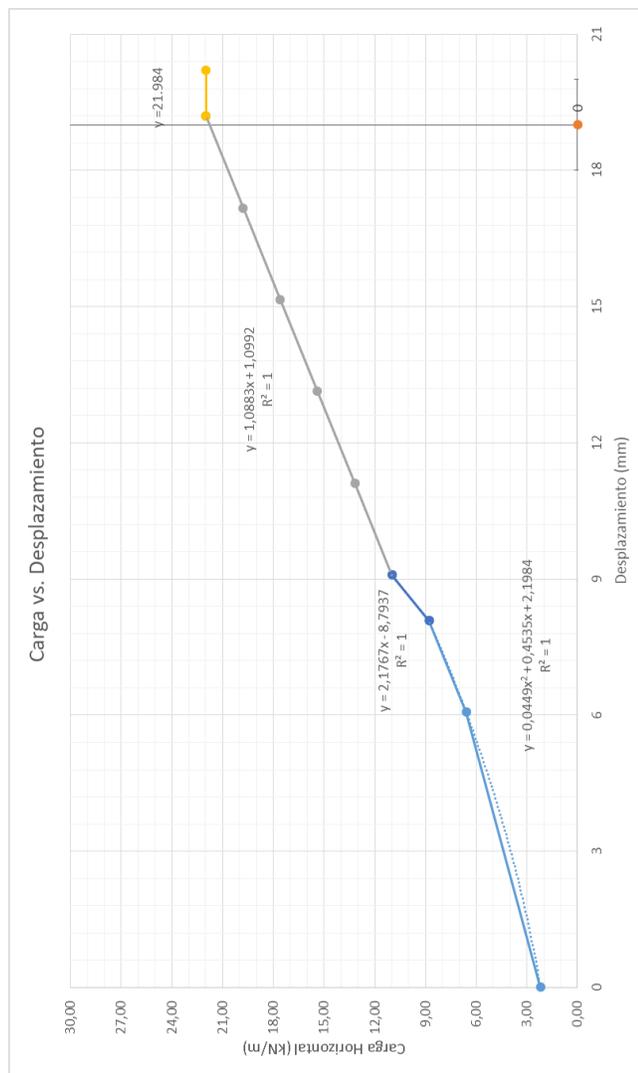


Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Determinación de carga de trabajo

Para su determinación, se estudiará la curva de energía vs. desplazamiento.

Figura 33. Identificación ecuaciones



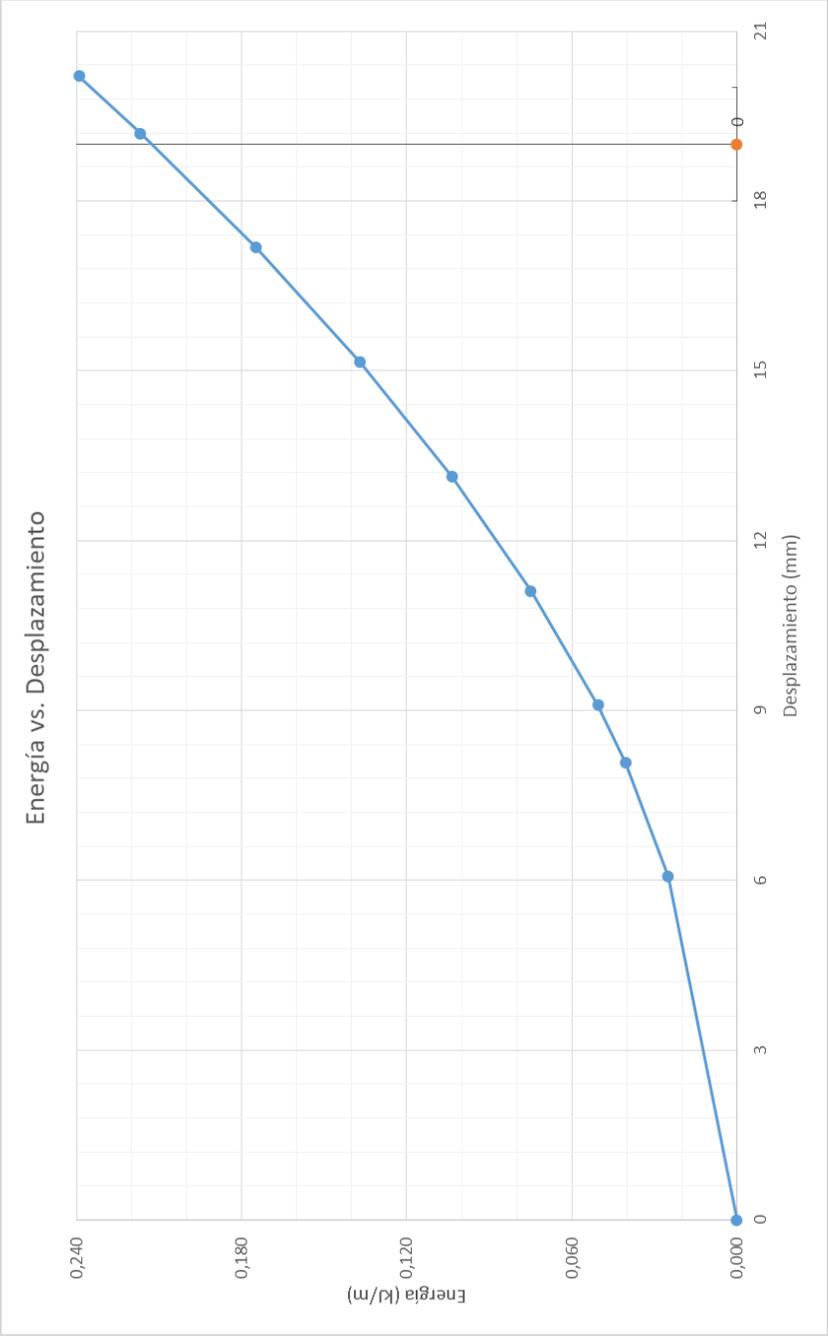
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos de energía por desplazamiento**

Energía (kJ/m)	Desplazamiento (mm)
0,000	0
0,025	6,06
0,040	8,08
0,050	9,09
0,075	11,11
0,104	13,13
0,137	15,15
0,175	17,17
0,217	19,19
0,239	20,2

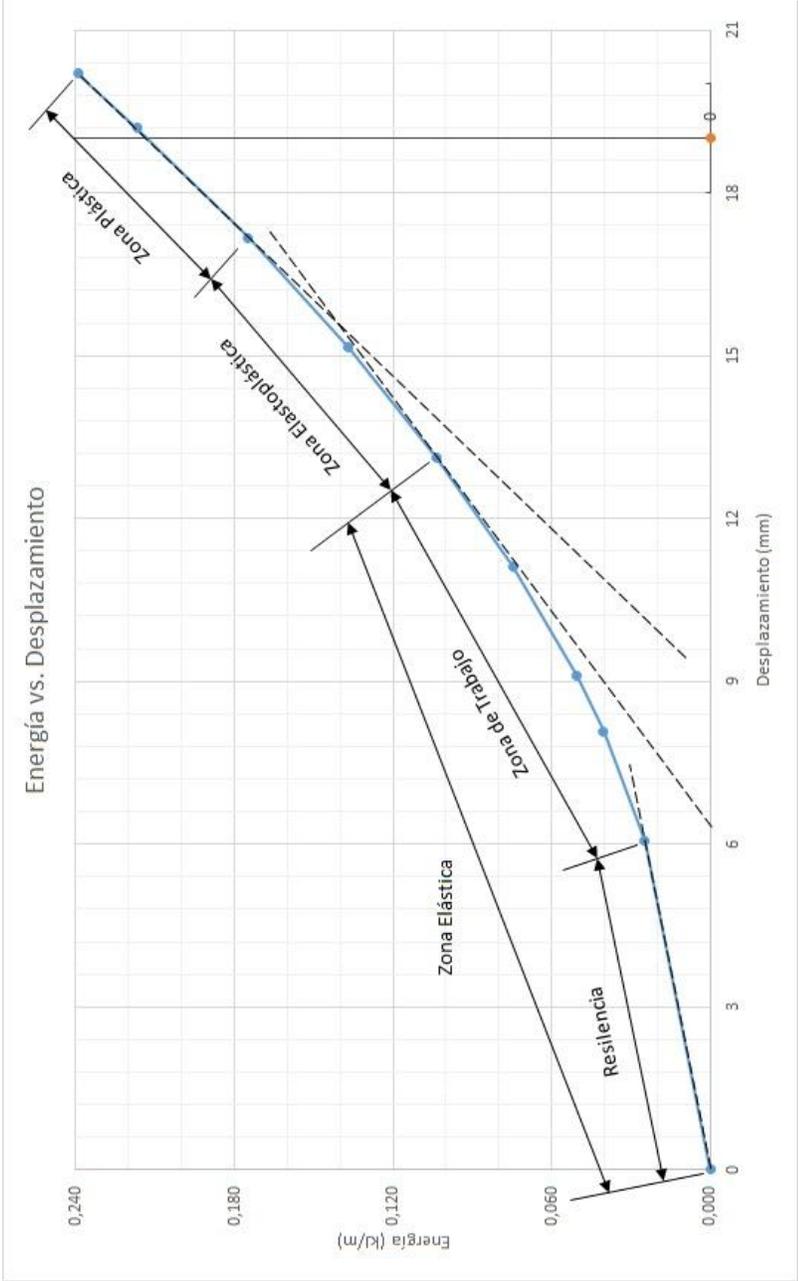
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Energía absorbida



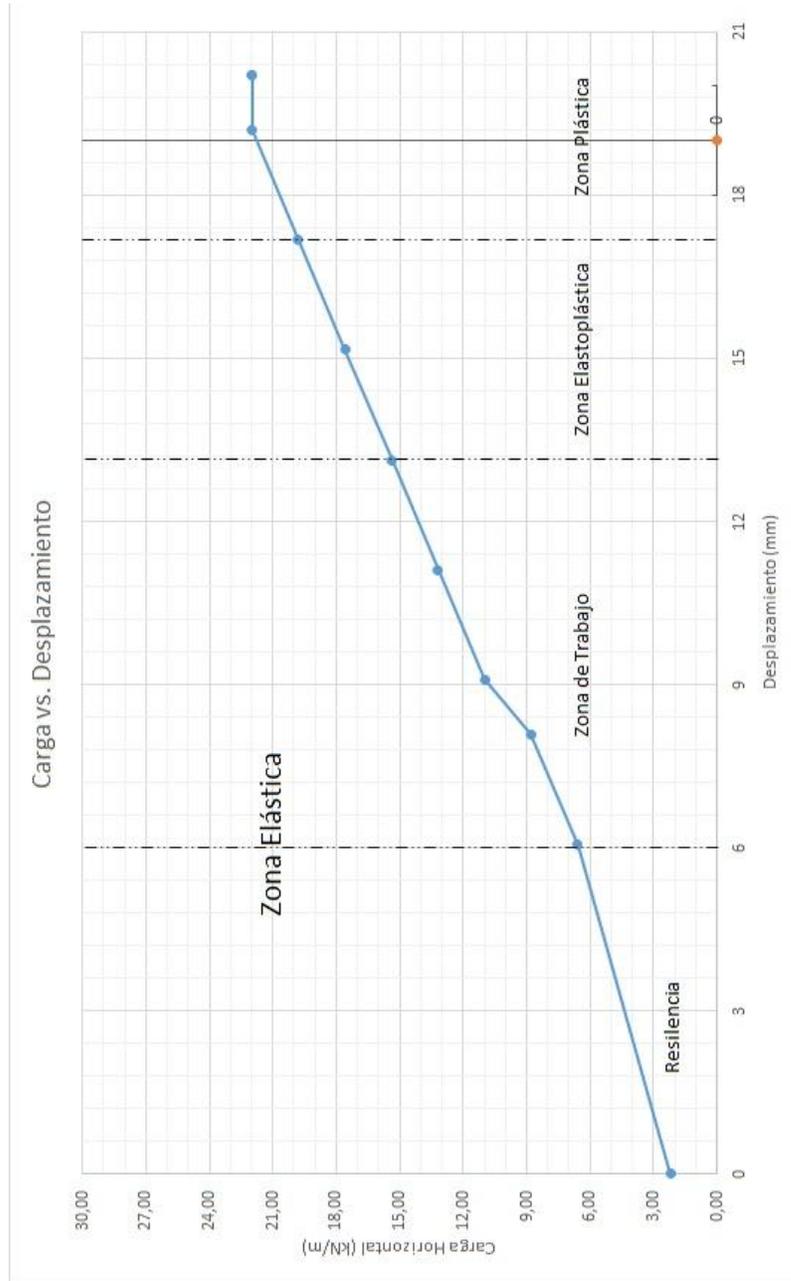
Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento**



Fuente: elaboración propia.

La carga de trabajo se encuentra en la zona de trabajo. Se tomará una carga antes de comenzar la zona elastoplástica; la mayor visiblemente es:

$$C_{trab} = 15 \text{ kN/m}$$

Con un desplazamiento de 13,20 mm.

3.1.3. Determinación de carga de servicio

La carga de servicio se tomará como aquella en la cual se cumple la condición de máximo desplazamiento permisivo, 0,75 plg o 19 mm. Se utilizará la ecuación obtenida (para el cálculo de la energía) para la recta que hace contacto con el límite de desplazamiento indicado en la gráfica.

$$C_{serv} = 1,0883 * X + 1,0992$$

En este caso el desplazamiento es $X=19$ mm

$$C_{serv} = (1,0883 * 19) + 1,0992$$

$$C_{serv} = 21,78 \text{ kN/m}$$

3.1.4. Carga última

La carga última es determinada por la gráfica, la cual es la máxima carga aplicada, o cuando se presenta una falla física (desprendimiento de malla, falla de bloque).

$$C_{ult} = 21,98 \text{ kN/m}$$

3.2. Datos obtenidos en ensayos con grava

A continuación se presentan los datos obtenidos en el ensayo.

Tabla VIII. Datos preliminares

Axial (kg/cm ²)	Horizontal (PSI)	Horizontal (kg/cm ²)	Horizontal (kN/m)	Reloj Pequeño	Reloj Grande	Desplazamiento relativo (mm)	Desplazamiento (mm)
25	0	0,00	0,00	43	46	43,46	0
100	0	0,00	0,00	43	55	43,55	0,09
100	50	3,51	2,20	44	52	44,52	1,06
100	100	7,03	4,40	45	32	45,32	1,86
100	150	10,54	6,60	46	2	46,02	2,56
100	200	14,06	8,79	47	5	47,05	3,59
100	250	17,57	10,99	48	7	48,07	4,61
100	300	21,09	13,19	49	30	49,3	5,84
100	350	24,60	15,39	50	40	50,4	6,94
100	400	28,12	17,59	51	70	51,7	8,24
100	450	31,63	19,79	53	80	53,8	10,34
100	500	35,15	21,98	55	95	55,95	12,49
100	550	38,66	24,18	57	90	57,9	14,44
100	550	38,66	24,18	59	60	59,6	16,14
100	550	38,66	24,18	60	26	60,26	16,8
100	550	38,66	24,18	61	85	61,85	18,39
100	600	42,18	26,38	66	15	66,15	22,69
100	650	45,69	28,58	69	70	69,7	26,24
100	650	45,69	28,58	73	47	73,47	30,01
100	200	14,06	8,79	72	0	72	28,54
100	100	7,03	4,40	70	70	70,7	27,24
100	50	3,51	2,20	68	10	68,1	24,64
100	0	0,00	0,00	65	70	65,7	22,24
100	0	0,00	0,00	62	95	62,95	19,49
0	0	0,00	0,00	60	60	60,6	17,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Datos finales**

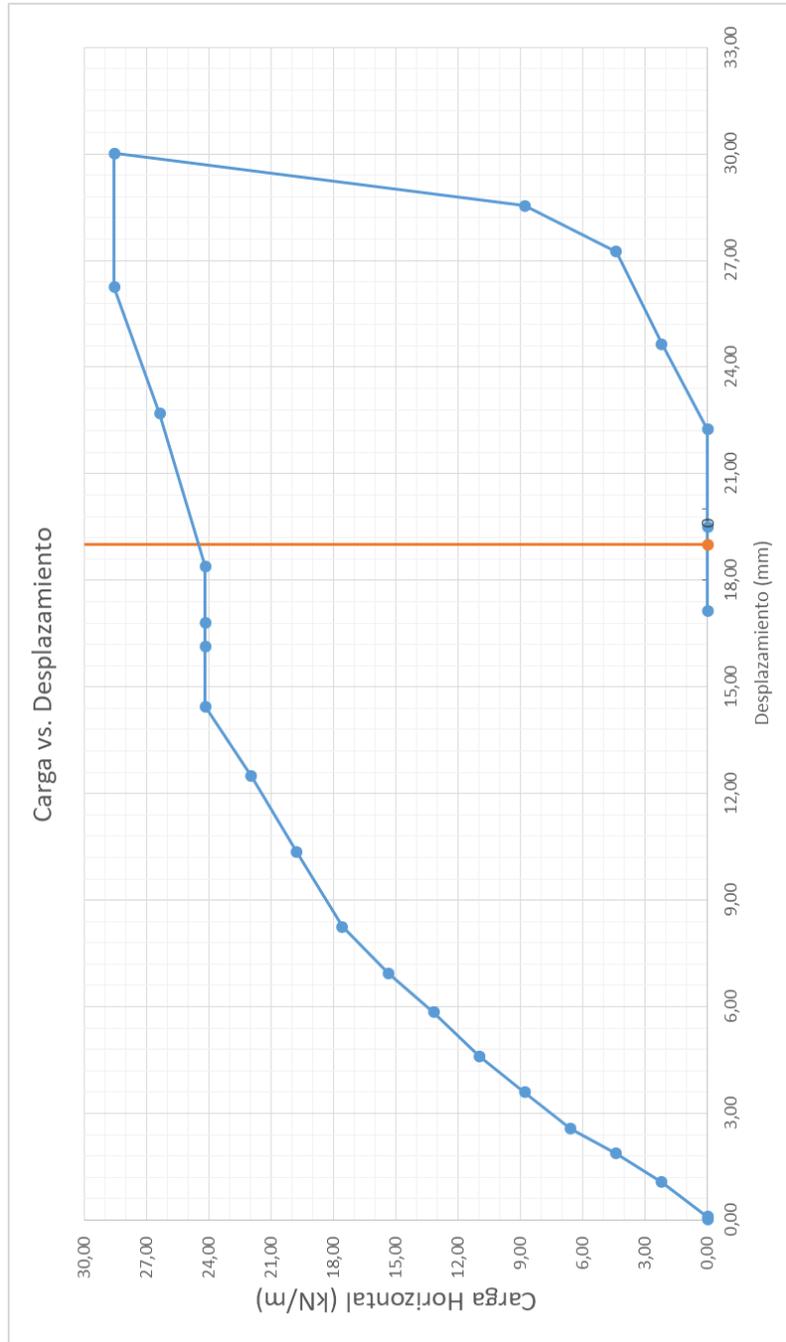
Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN/m)	Desplazamiento (mm)
3,54	0,00	0,00
14,18	0,00	0,09
14,18	2,20	1,06
14,18	4,40	1,86
14,18	6,60	2,56
14,18	8,79	3,59
14,18	10,99	4,61
14,18	13,19	5,84
14,18	15,39	6,94
14,18	17,59	8,24
14,18	19,79	10,34
14,18	21,98	12,49
14,18	24,18	14,44
14,18	24,18	16,14
14,18	24,18	16,8
14,18	24,18	18,39
14,18	26,38	22,69
14,18	28,58	26,24
14,18	28,58	30,01
14,18	8,79	28,54
14,18	4,40	27,24
14,18	2,20	24,64
14,18	0,00	22,24
14,18	0,00	19,49
0,00	0,00	17,14

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. **Gráfica carga vs. desplazamiento**

Se graficarán los datos de carga horizontal (eje de las ordenada) y el desplazamiento (eje de las abscisas).

Figura 37. **Carga horizontal vs. desplazamiento**

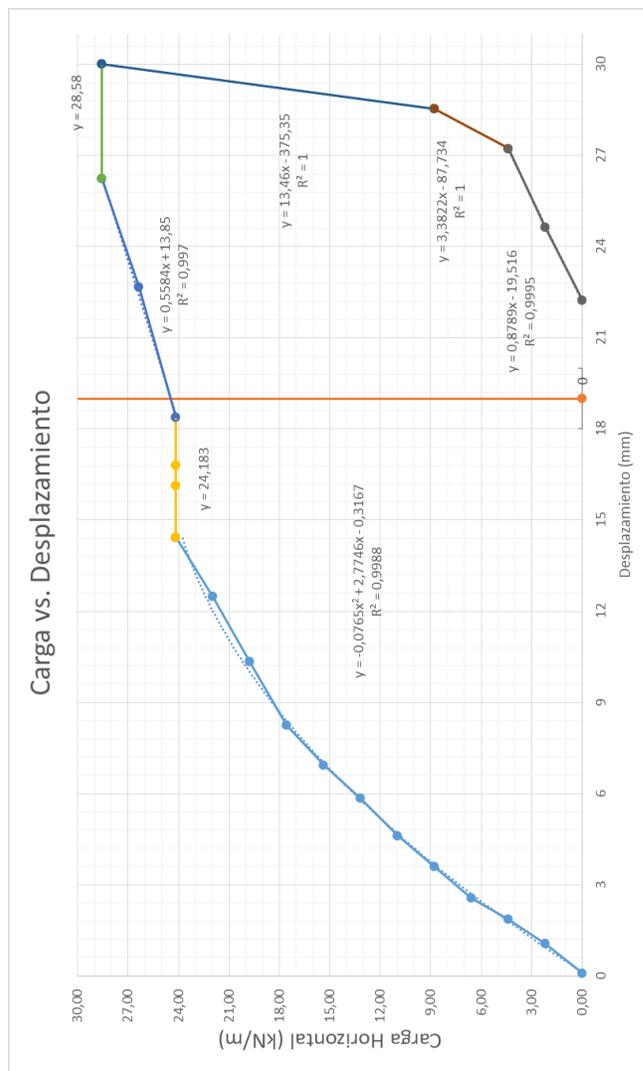


Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Determinación de carga de trabajo

Para su determinación, se estudiará la curva de energía vs. desplazamiento.

Figura 38. Identificación de ecuaciones



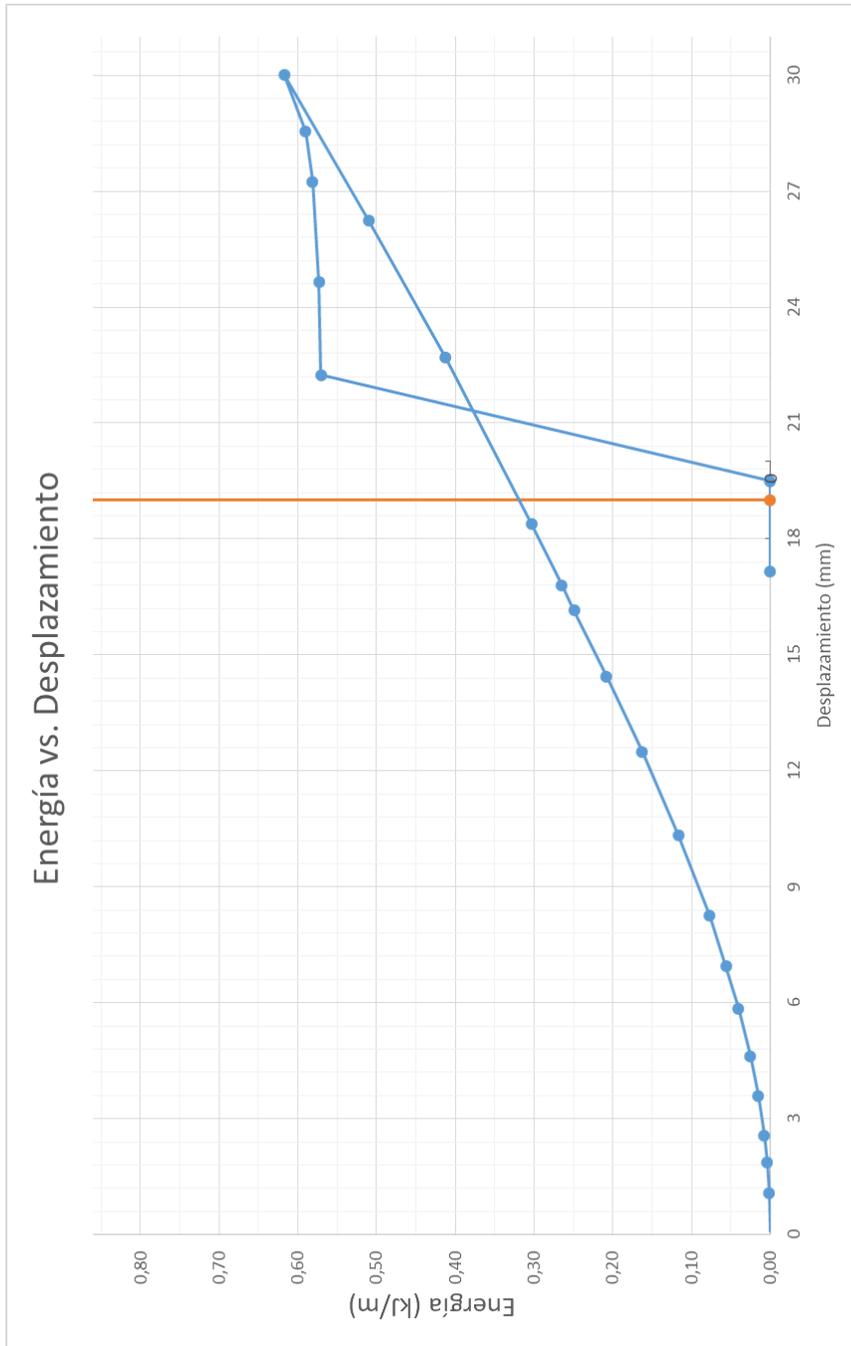
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Datos de energía por desplazamiento**

Energía (kJ/m)	Desplazamiento (mm)
0,000	0,00
0,000	0,09
0,001	1,06
0,004	1,86
0,008	2,56
0,016	3,59
0,026	4,61
0,040	5,84
0,056	6,94
0,077	8,24
0,117	10,34
0,163	12,49
0,208	14,44
0,249	16,14
0,265	16,8
0,303	18,39
0,412	22,69
0,510	26,24
0,618	30,01
0,590	28,54
0,582	27,24
0,573	24,64
0,571	22,24
0,000	19,49
0,000	17,14

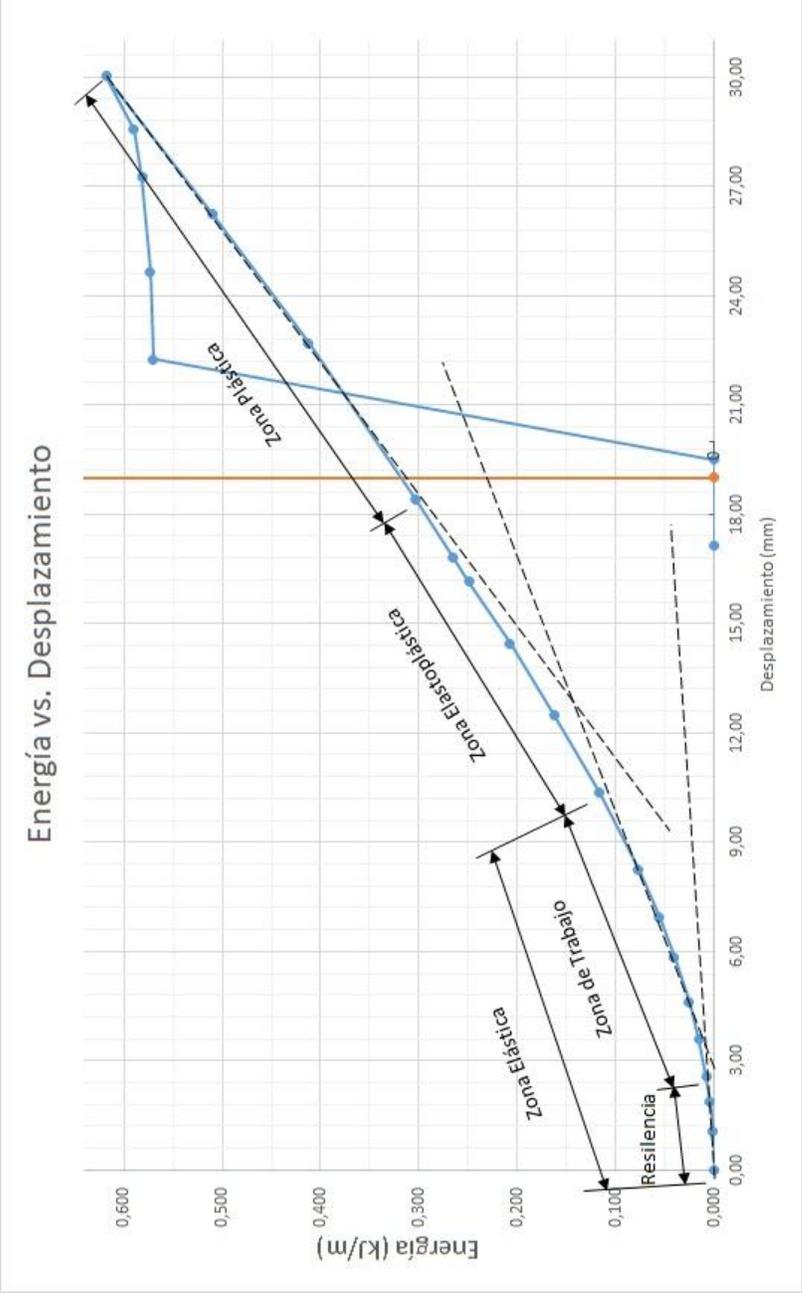
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Energía absorbida**



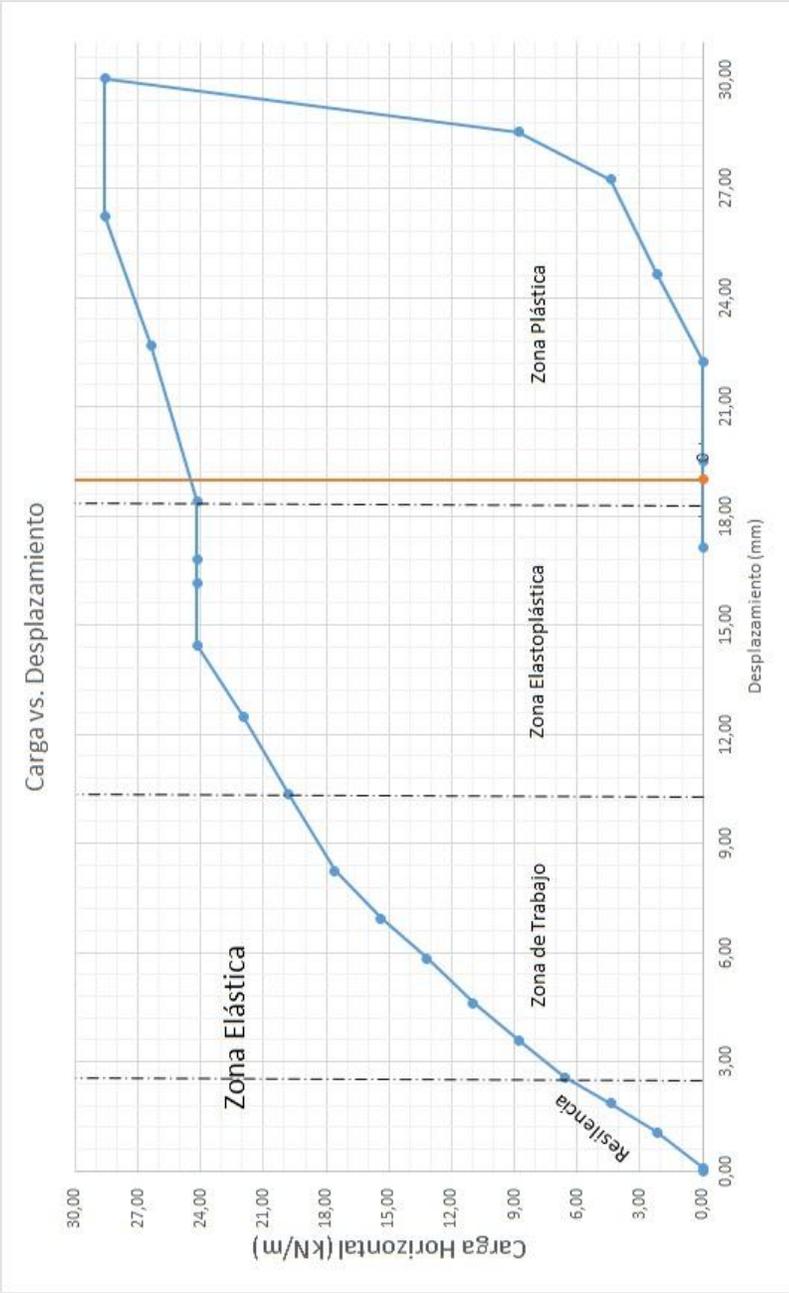
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

La carga de trabajo se encuentra en la zona de trabajo. Se tomará una carga antes de comenzar la zona elastoplástica; la mayor visiblemente es:

$$C_{trab} = 19 \text{ kN/m}$$

Con un desplazamiento de 9,60 mm.

3.2.3. Determinación de carga de servicio

Carga registrada al momento de llegar al máximo desplazamiento señalado en la norma.

$$C_{serv} = 24 \text{ kN/m}$$

Se utilizará esta por el comportamiento mecánico que demuestra la malla, en dicha carga.

3.2.4. Carga última

La carga última es determinada por la gráfica, la cual es la máxima carga aplicada, o cuando se presenta una falla física (desprendimiento de malla, falla de bloque).

$$C_{ult} = 28,58 \text{ kN/m}$$

3.3. Datos obtenidos en ensayos con unidad segmentada modificada

A continuación se presentan los datos finales del ensayo.

Tabla XI. Datos finales

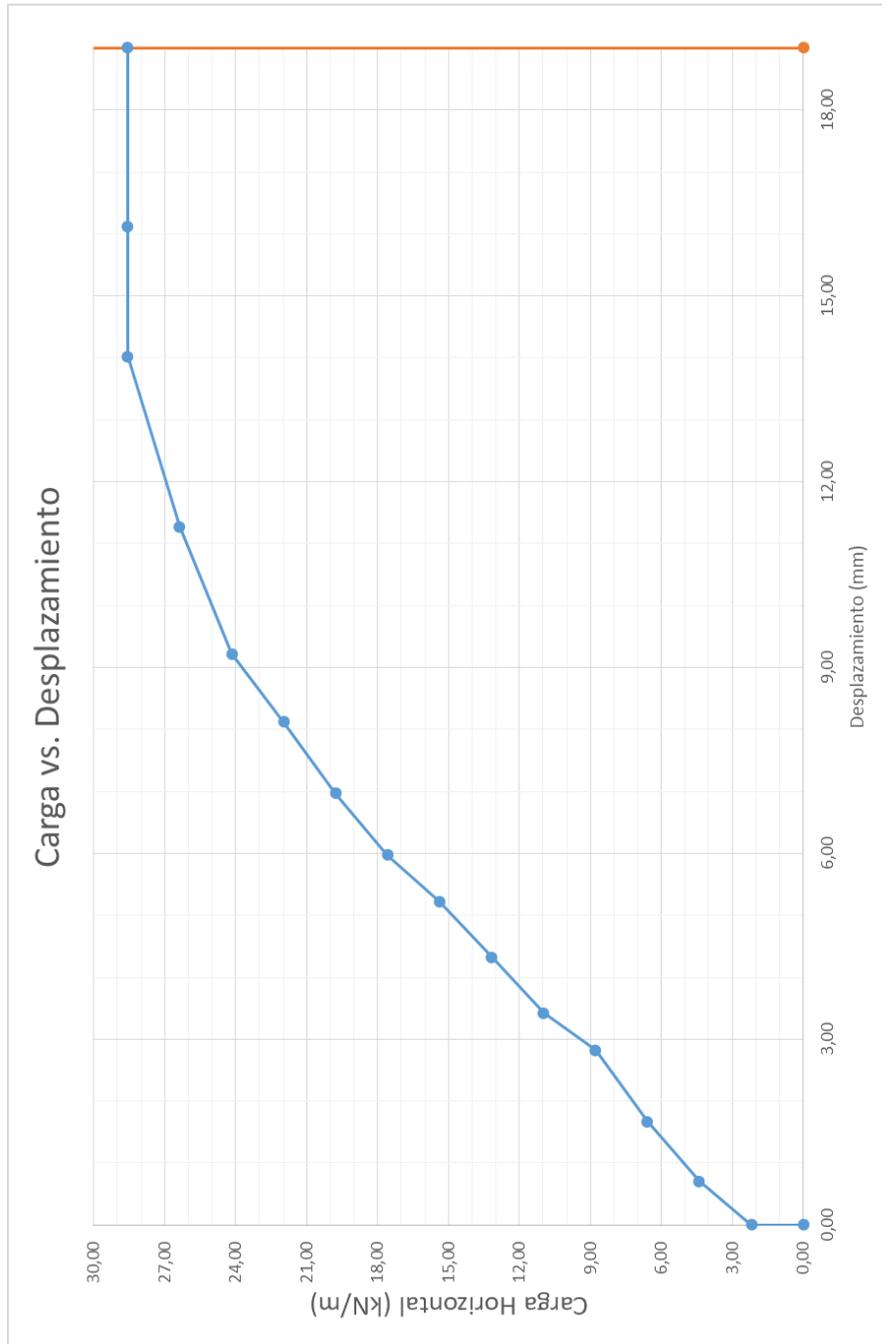
Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN/m)	Desplazamiento (mm)
0	0,00	0,00
14,18	2,20	0,00
14,18	4,39	0,70
14,18	6,59	1,67
14,18	8,79	2,82
14,18	10,99	3,42
14,18	13,18	4,32
14,18	15,38	5,22
14,18	17,58	5,97
14,18	19,78	6,97
14,18	21,97	8,12
14,18	24,17	9,22
14,18	26,37	11,27
14,18	28,57	14,02
14,18	28,57	16,12
14,18	28,57	19,00

Fuente: elaboración propia.

3.3.1. Gráfica carga vs. desplazamiento

Se graficarán los datos de carga horizontal (eje de las ordenada) y el desplazamiento (eje de las abscisas).

Figura 42. **Carga horizontal vs. desplazamiento**

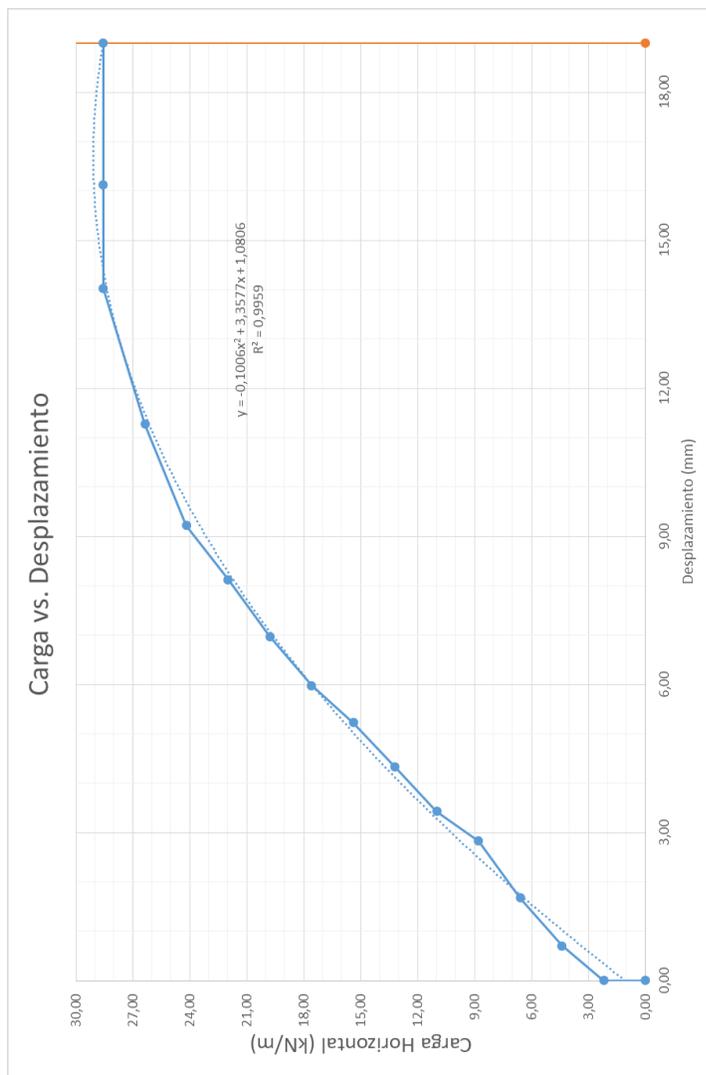


Fuente: elaboración propia.

3.3.2. Determinación de carga de trabajo

Para su determinación, se estudiará la curva de energía vs. desplazamiento.

Figura 43. Identificación de ecuaciones



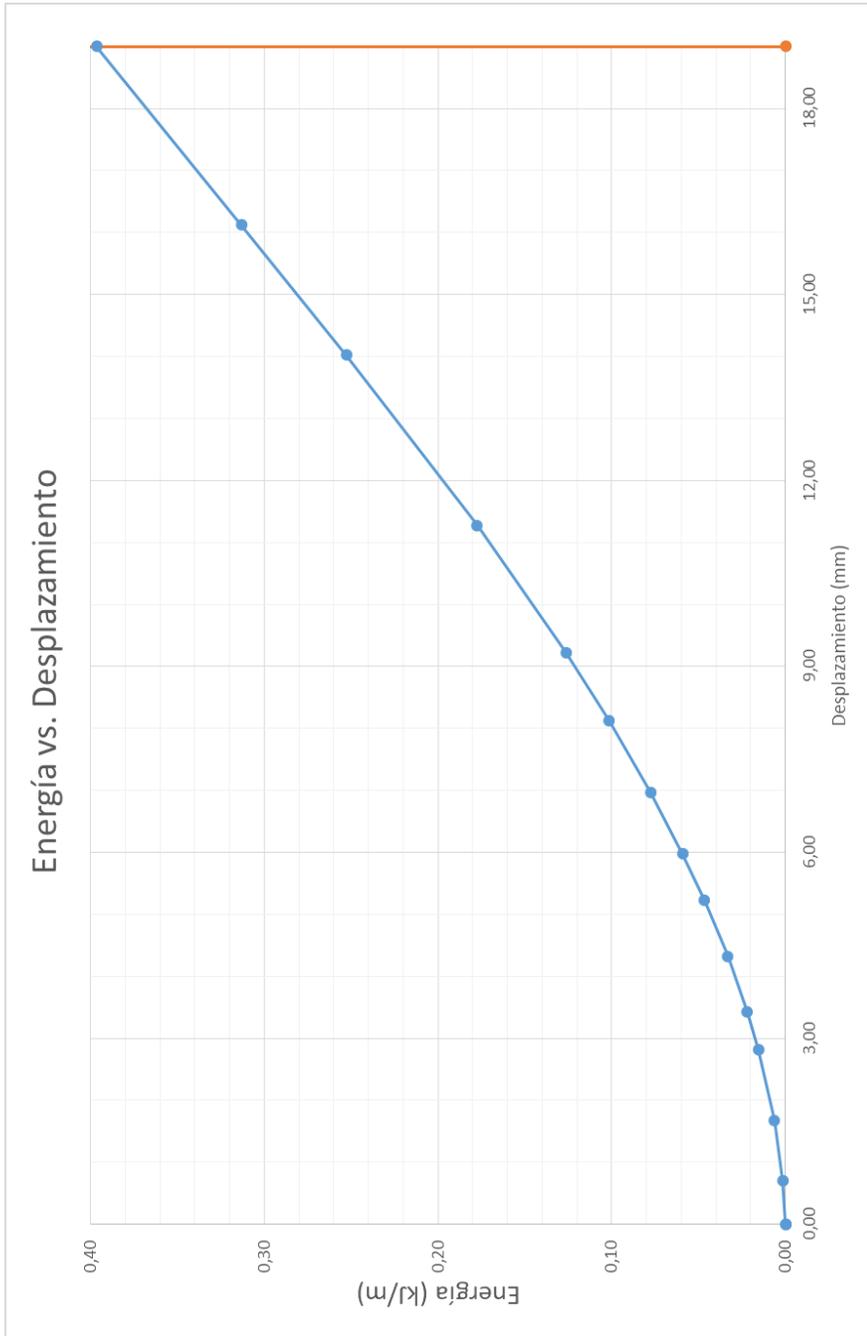
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos de energía por desplazamiento**

Energía (kJ/m)	Desplazamiento (mm)
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,70
0,01	1,67
0,02	2,82
0,02	3,42
0,03	4,32
0,05	5,22
0,06	5,97
0,08	6,97
0,10	8,12
0,13	9,22
0,18	11,27
0,25	14,02
0,31	16,12
0,40	19,00

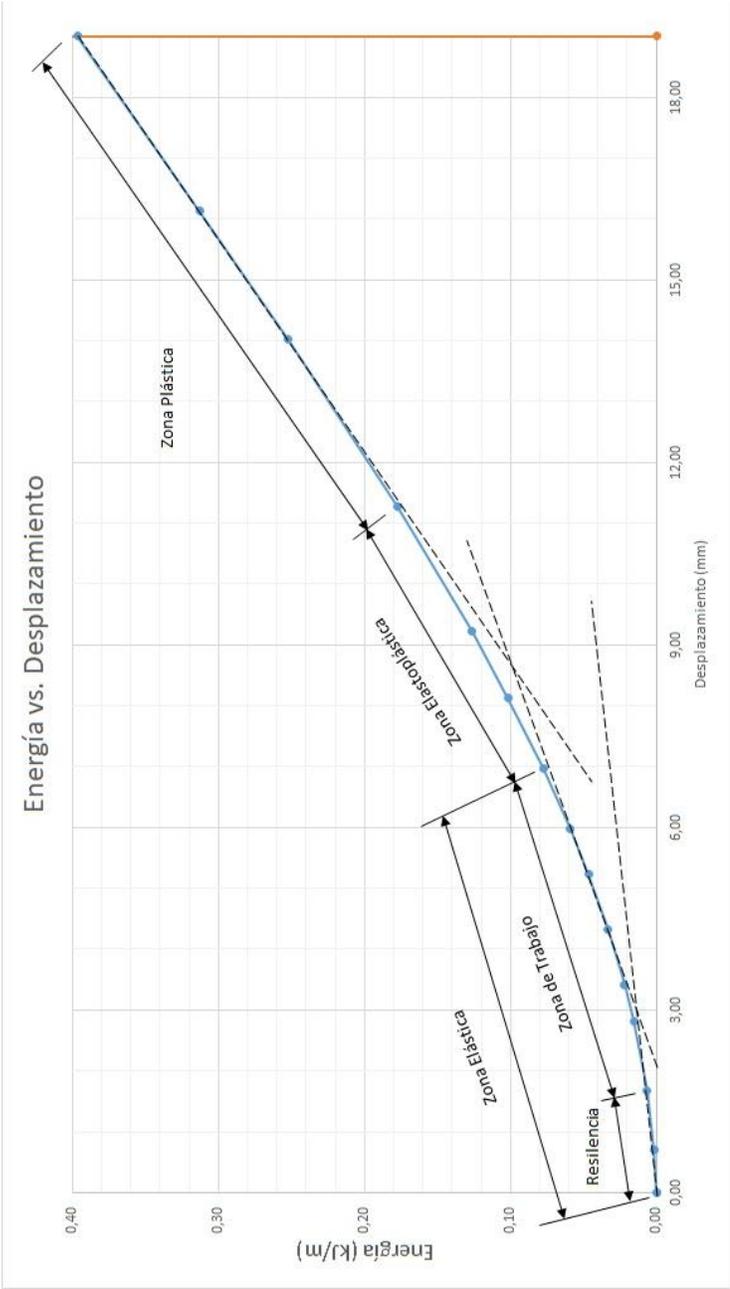
Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Energía absorbida**



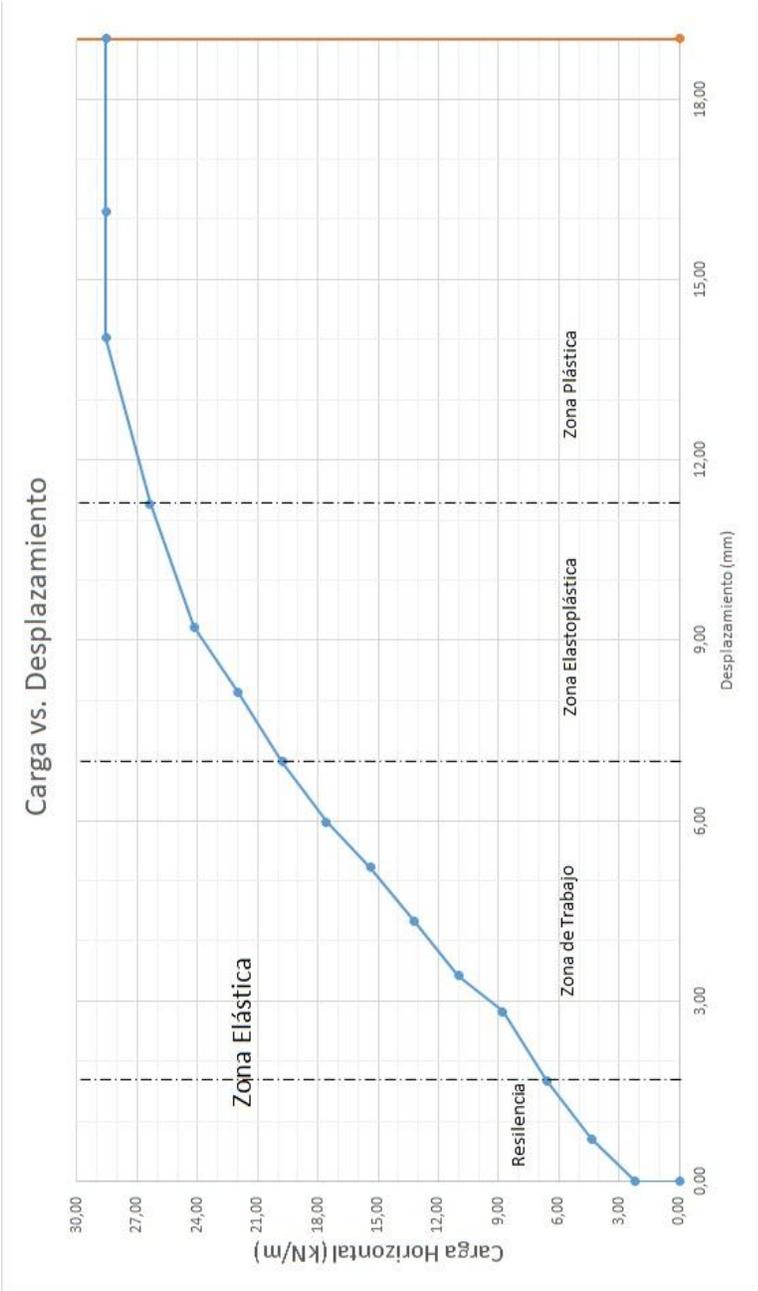
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Identificación zonas de comportamiento en gráfica energía – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Identificación zonas de comportamiento en gráfica carga – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

La carga de trabajo se encuentra en la zona de trabajo. Se tomará una carga antes de comenzar la zona elastoplástica; la mayor visiblemente es:

$$C_{trab} = 19 \text{ kN/m}$$

Con un desplazamiento de aproximadamente 6,60 mm.

3.3.3. Determinación de carga de servicio

La carga de servicio es igual a:

$$C_{serv} = 28,57 \text{ kN/m}$$

3.3.4. Carga última

La carga última es igual a:

$$C_{ult} = 28,57 \text{ kN/m}$$

3.4. Factor de conexión

Se determina el factor de conexión (CR) por cada configuración de conexión.

3.4.1. Configuración con malla modificada

Resumen de cargas del ensayo.

Tabla XIII. **Carga última en ensayo y carga de fábrica de malla**

Carga Última (kN/m) Cult	Carga Malla (kN/m) Clot
21,98	114

Fuente: elaboración propia.

$$CR = \frac{C_{ult}}{C_{lot}}$$

$$CR = \frac{21,98 \text{ kN/m}}{114 \text{ kN/m}}$$

$$CR = 0,19$$

3.4.2. Configuración con grava

Resumen de cargas del ensayo.

Tabla XIV. **Carga última en ensayo y carga de fábrica de malla**

Carga Última (kN/m) Cult	Carga Malla (kN/m) Clot
28,58	114

Fuente: elaboración propia.

$$CR = \frac{C_{ult}}{C_{lot}}$$

$$CR = \frac{28,58 \text{ kN/m}}{114 \text{ kN/m}}$$

$$CR = 0,25$$

3.4.3. Configuración con unidad segmentada modificada

Resumen de cargas del ensayo.

Tabla XV. **Carga última de ensayo y carga de fábrica de malla**

Carga Última (kN/m) Cult	Carga Malla (kN/m) Clot
28,57	114

Fuente: elaboración propia.

$$CR = \frac{C_{ult}}{C_{lot}}$$

$$CR = \frac{28,57 \text{ kN/m}}{114 \text{ kN/m}}$$

$$CR = 0,25$$

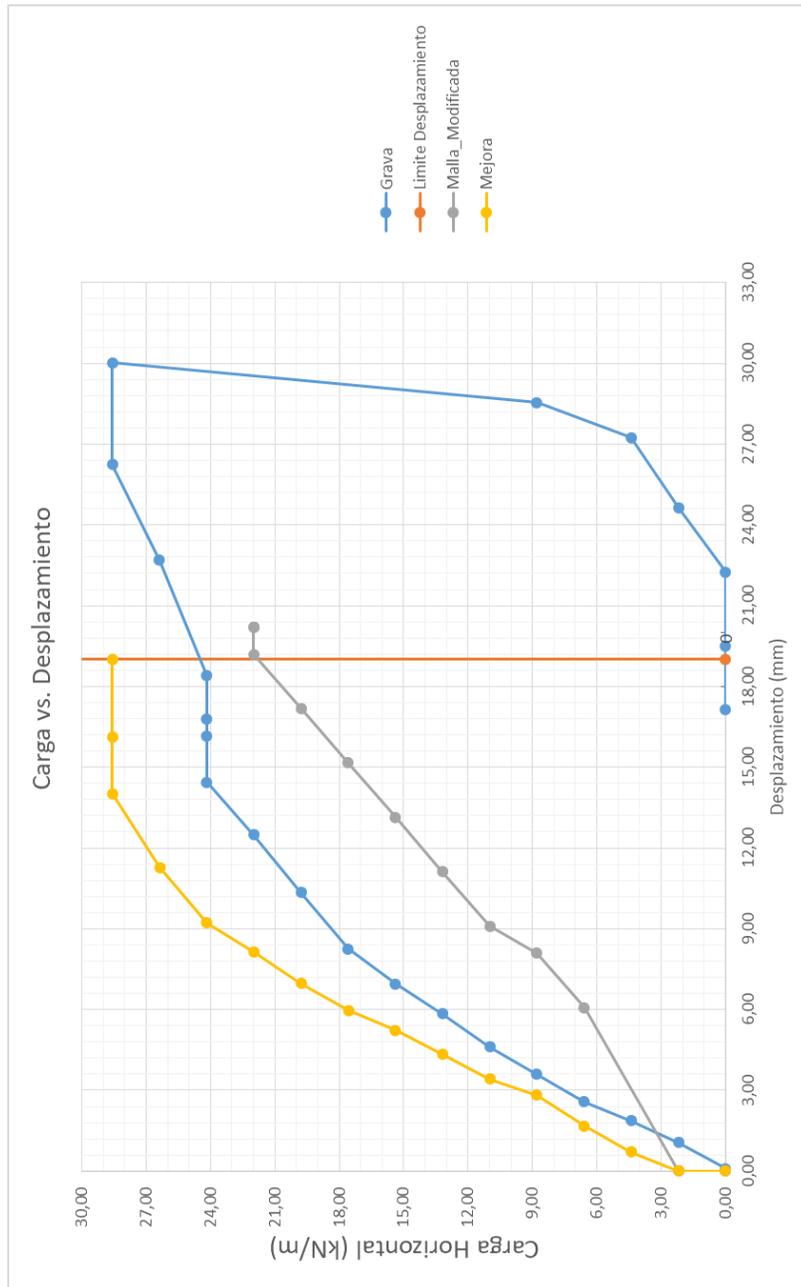
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se analiza los resultados obtenidos, comparando el comportamiento mecánico, energético y del factor de conexión.

En cada tipo de gráfico se muestran las tres configuraciones estudiadas, lo cual permite una mejor visualización de las diferencias que existen entre ellas.

Luego de cada gráfico se colocará el análisis, procediendo a resaltar las peculiaridades más importantes.

Figura 47. Comparación de configuración de conexión, carga – desplazamiento

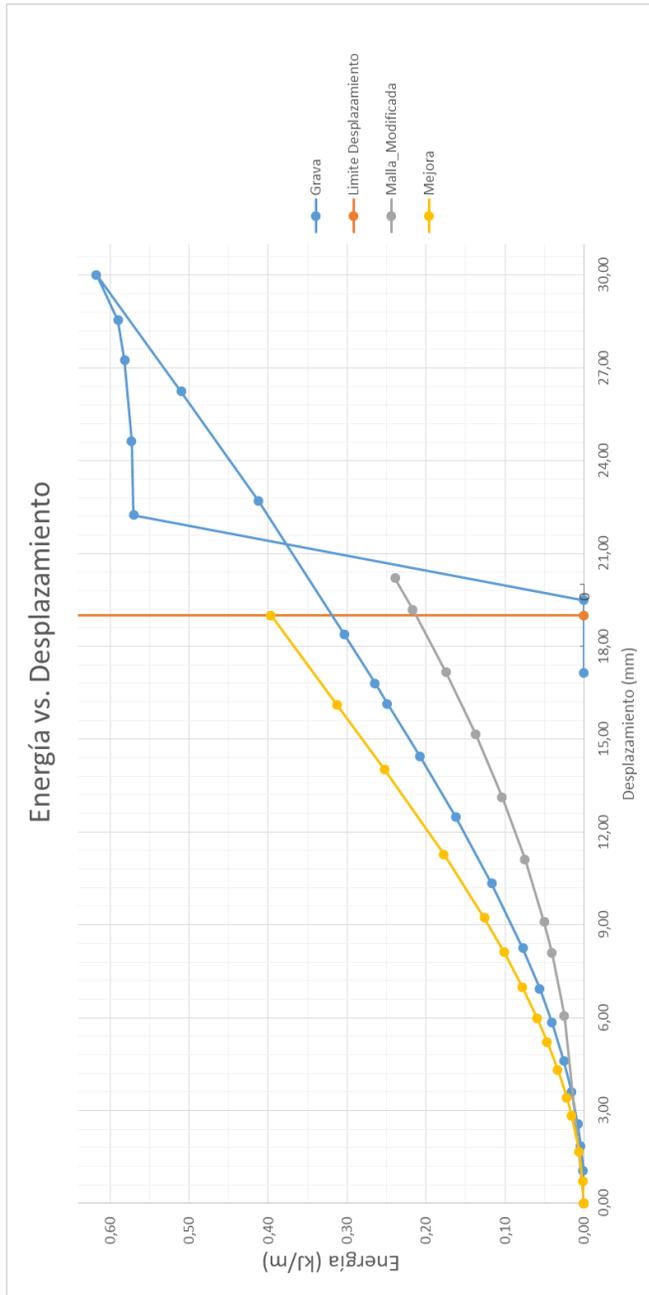


Fuente: elaboración propia.

Se puede observar un comportamiento parecido en las tres configuraciones. Resaltan los siguientes puntos:

- La mejora y grava son las que tienen mayor parecido en su comportamiento. La curva “Malla_Modificada” tiene un cambio brusco de forma. Se puede determinar que, por las condiciones del ensayo, la malla sufre de un acomodado de fibras; por ello, comienza a trabajar de mejor manera desde aproximadamente los 9 mm de desplazamiento.
- Se observa que la conexión “Mejora” ofrece una optimización del comportamiento mecánico de la conexión.
- La optimización de la conexión (entre “Mejora” y “Grava”) no es tan grande en su inicio, pero se observa una mejora considerable a partir de los 10 kN/m, coincidiendo en sus zonas de trabajo.
- Tiene la peculiaridad de que todas las configuraciones tienen un comportamiento lineal al poco tiempo de entrar en su zona plástica.

Figura 48. Comparación de configuración de conexión, carga – desplazamiento



Fuente: elaboración propia.

Al analizar las curvas de energía, se puede determinar de forma inmediata lo siguiente:

- De forma mecánica y energética, la conexión “Mejora” es la que optimiza mejor el sistema.
- La curva “Grava” tiene la peculiaridad que se observa la descarga; en ella la energía se libera, porque durante el ensayo realiza un trabe mecánico con el refuerzo y entre ella misma. En la descarga se comienzan a reacomodar de forma lenta en un inicio, pero luego de forma violenta. Esto es lo que representa el comportamiento de la gráfica en su parte final.
- La curva “Grava”, que muestra una curva en picada, realmente no existe. Es cierto que el cálculo matemático da un valor 0 de energía, pero esa energía se pierde o se transforma (en calor de alargamiento de las fibras de la malla, la fricción entre malla y bloque, etc.).

Tabla XVI. **Resumen de datos**

	Malla modificada		Grava		Propuesta	
	Carga servicio (kN/m)	Carga trabajo (kN/m)	Carga servicio (kN/m)	Carga trabajo (kN/m)	Carga servicio (kN/m)	Carga trabajo (kN/m)
		21,78	15	24	19	28,57
Desplazamiento (mm)	19	13,2	19	9,6	19	6,6

Fuente: elaboración propia.

Análisis:

- La mejora entre conexión “Grava” y “Propuesta”, es aproximadamente del 19 % en la carga de servicio, y una reducción del 31,25 % aproximadamente del comportamiento mecánico (desplazamiento) para la carga de trabajo.
- Las conexiones “Grava” y “Propuesta”, tiene como similitud la carga de trabajo, pero el comportamiento mecánico de la conexión “Propuesta” es mejor, logrando esa carga en un menor desplazamiento.
- En resumen, “Propuesta” mejora la capacidad de carga de la conexión y el comportamiento mecánico.

Tabla XVII. **Factor de conexión en cada configuración**

	Malla Modificada	Grava	Propuesta Mejora
Factor conexión	0,19	0,25	0,25

Fuente: elaboración propia.

Análisis:

- La malla modificada evidencia que resiste menos a largo plazo; por ende, la modificación afecta considerablemente su capacidad para resistir fuerzas.
- A pesar de que la conexión “Grava” y “Propuesta Mejora” tiene la misma cantidad numérica, la “propuesta” no llega a los límites del ensayo como la “Grava”. La “propuesta” puede llegar a exceder esta cantidad.
- La zona elastoplástica se presenta de forma más temprana en la conexión “Grava” y “Malla modificada”, que en la conexión “Mejora”.

CONCLUSIONES

1. La configuración propuesta mejora la capacidad de carga resistida en su límite de servicio, en aproximadamente 19 %.
2. La configuración propuesta mejora el comportamiento mecánico de la conexión.
3. La conexión que resiste menor carga es la conexión con el refuerzo modificado físicamente.
4. La conexión con refuerzo modificado físicamente debilita la integridad del refuerzo, provocando su poca capacidad de resistir carga.
5. La configuración con la mejora propuesta acelera el comienzo eficaz de trabajo de la conexión.
6. La configuración propuesta mejora la capacidad de carga de la conexión.

RECOMENDACIONES

1. No utilizar la configuración con el refuerzo modificado físicamente.
2. Realizar un estudio económico para determinar si la configuración propuesta tiene mejor costo-beneficio para la construcción de muros.
3. Verificar si es posible la eliminación de la grava como material de relleno en los huecos de los bloques segmentados, en el sistema con la configuración propuesta.
4. Verificar si la variación del calibre de la geomalla tiene algún efecto en desempeño mecánico del sistema con la configuración propuesta.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM D 6638-01. *Standard Test Method for Determining Connection Strength Between Geosynthetic Reinforcement and Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)*. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2018. 9 p.
2. CHAIRMAN, B. B., et al. *Segmental Retaining Walls (Second Edition, Second Printing)*. Virginia, Estados Unidos de América: National Concrete Masonry Association, 1997. 289 p.
3. NCMA Test Method SRWU-1. *Determination of Connection Strength between Geosynthetics and Segmental Concrete Units*. Virginia, Estados Unidos de América: National Concrete Masonry Association. 1997. 10 p.
4. LEONCIO AVALOS, Miguel Eduardo. *Estudio comparativo de costos entre muros de contención por gravedad, en voladizo y suelo reforzado*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Civil, 2015. 142 p.
5. SUÁREZ, Jaime. *Diseño de muros de suelo reforzado con geosintéticos*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil, 2013. 112 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Prototipo del sistema



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Informe, Página 1



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016 O.T.: 36115

INTERESADO: MEGAPRODUCTOS S.A.
ASUNTO: Ensayo "Resistencia de la conexión en muros de concreto segmentado"
FECHA: 01/06/2016

GENERALIDADES

El interesado solicitó los servicios de la sección de estructuras del CII para realizar el ensayo "Determinación de la resistencia de la conexión entre geomalla y unidades de concreto segmentado". De acuerdo a la norma, se aplicó una carga de tensión a una sección de geomalla sujeta entre bloques de concreto segmentado, los cuales tenían una restricción del movimiento en la dirección de la carga. Para fijar el sistema y simular su condición de trabajo real, se aplicó una carga vertical fija durante todo el ensayo. La carga horizontal se aplicó en intervalos constantes, los cuales corresponden a la elongación y/o desplazamiento de la geomalla. El análisis de los datos se hizo en base a la norma NCMA SRWU-1, la cual especifica el método de ensayo y lo antes mencionado. El límite de estado de servicio, así como el criterio para determinar si la conexión falló, se encuentran en dicha norma.

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO (NCMA SRWU-1)

Se instalan los bloques de concreto segmentado inferiores, restringiendo el movimiento en el sentido de la carga horizontal. Los huecos de los bloques inferiores son rellenos con pedrín.

Se corta y coloca una sección de geomalla, centrándola con respecto al soporte que se usará para la aplicación de la carga horizontal. Posteriormente se centra

Página 1 de 18

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 2. Informe, Página 2



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

con respecto a los bloques inferiores y al conector. Se debe verificar que el soporte de la geomalla se encuentra, al menos, a 200mm de la parte trasera de bloque superior.

Luego de la colocación de la geomalla, se procede a colocar el bloque de concreto superior sobre las unidades inferiores y la geomalla, asegurándose que el mismo está nivelado y centrado.

Se rellenan los huecos del bloque superior con pedrín.

Se coloca el sistema de carga superior, asegurándose que distribuye la fuerza uniformemente.

Se posiciona y asegura el gato, que aplicará la carga superior, asegurándose que el mismo está centrado y a plomo.

Se Restringe el movimiento del bloque superior en el sentido de la carga horizontal.

Se coloca un deformómetro en la parte posterior del soporte de la geomalla. El instrumento debe estar aproximadamente entre 250mm a 300mm apartado del soporte.

Se aplica una carga vertical predeterminada al bloque superior. Esta carga se mantiene constante durante todo el ensayo. Previo a esta carga constante (carga vertical), se hicieron ensayos complementarios para verificar el rango de trabajo que la geomalla y el sistema como tal era recomendable esta carga vertical.

Se aplica carga horizontalmente al soporte de la geomalla, tensando la misma para remover la holgura. Se requiere un estado de cero carga y deformación.

Página 2 de 18

Anexo 3. Informe, Página 3



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

Se aplica carga horizontal de tal forma que la geomalla se desplace a una velocidad de 20mm/min.

Se toman lecturas de carga horizontal y desplazamiento a intervalos regulares.

El ensayo se lleva a cabo hasta que exista una pérdida sustancial de la resistencia a tensión de la malla, en la conexión o una falla en los bloques. En algunos casos, la falla será definida como un desplazamiento excesivo o deslizamiento del refuerzo sin una pérdida sustancial de la resistencia a tensión y de acuerdo a la norma antes mencionada, el máximo desplazamiento permitido para encontrarse dentro del rango de servicio corresponde a 19mm.



Ilustración 1: Sistema para ensayo de la resistencia del a conexión

Página 3 de 18

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 4. Informe, Página 4



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

ENSAYO COMPLEMENTARIO PREVIO

Para poder determinar la carga óptima vertical y tener una mejor noción del comportamiento del sistema, se realizó múltiples ensayos utilizando una metodología análoga a la empleada para probar la adherencia y fricción en prismas de mampostería (ASTM E – 518).

El sistema se posiciona de forma similar al ensayo que prueba la resistencia de la conexión, con las variantes que el bloque superior no es restringido y que la carga horizontal se aplica directamente al bloque superior, haciendo el efecto de empuje.

Se mide el desplazamiento del bloque superior y las respectivas cargas verticales y horizontales. En esta modalidad, la carga vertical varía, incrementándose al momento de notar un deslizamiento considerable del bloque superior.



Página 4 de 18

Anexo 5. Informe, Página 5



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115



Ilustración 2: Sistema ensayo complementario

ESQUEMAS

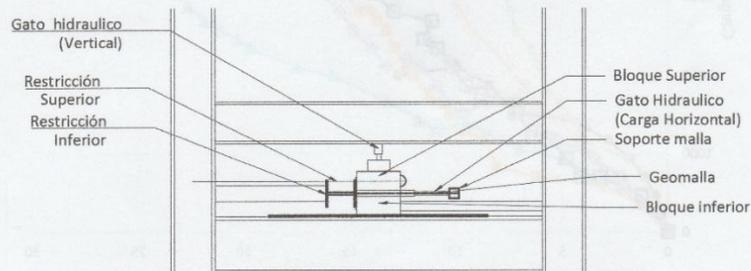
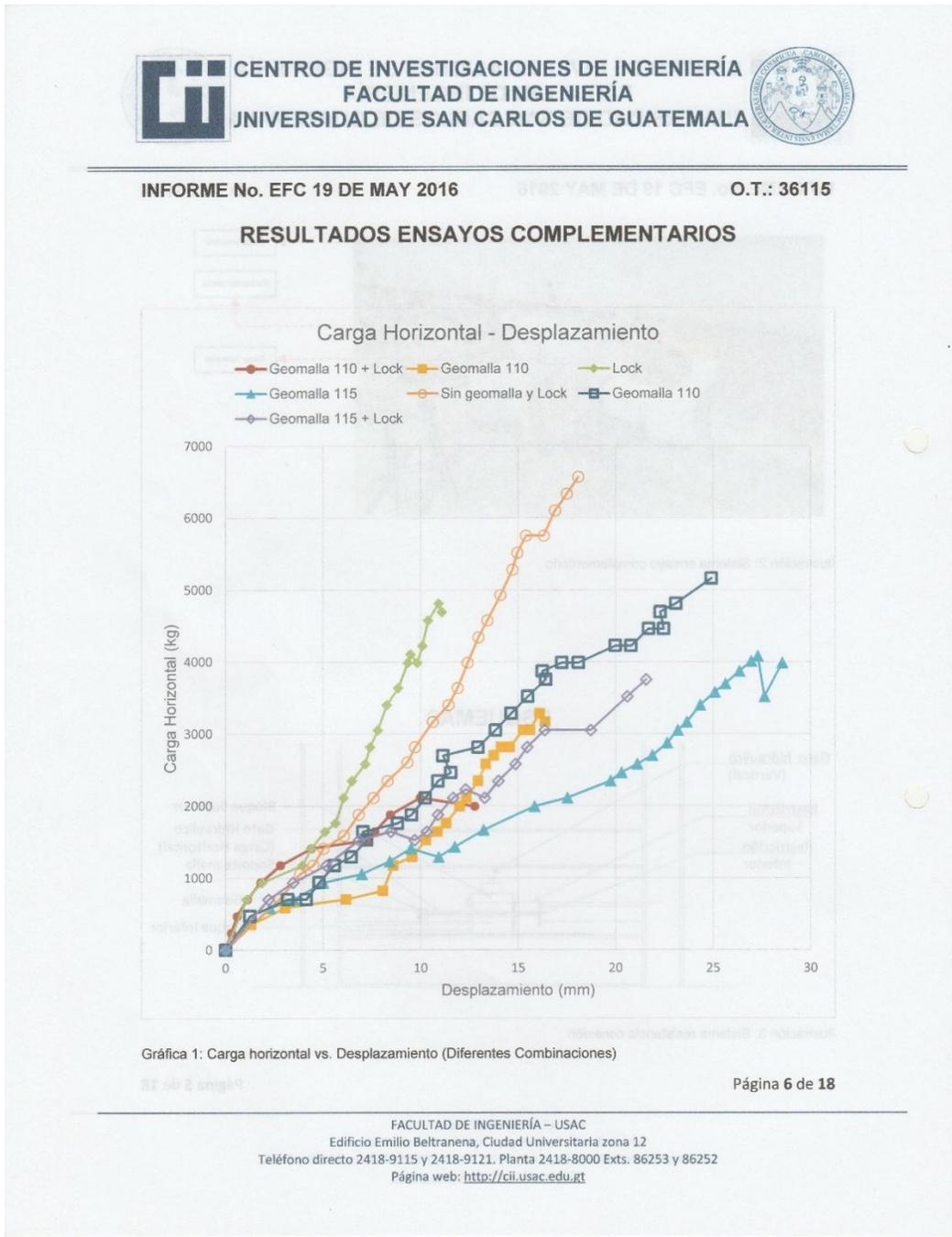


Ilustración 3: Sistema resistencia conexión

Página 5 de 18

Anexo 6. Informe, Página 6



Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 7. Informe, Página 7



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del sistema utilizando el método de ensayo complementario. Con la finalidad de determinar el aporte de cada componente del sistema, para muros de concreto segmentados, se evaluaron las siguientes combinaciones.

Para poder analizar y comparar las siguientes gráficas, se decidió realizarlo bajo el concepto de rigidez (Relación entre la fuerza y desplazamiento de un elemento o sistema), la misma se puede visualizar en las gráficas con la pendiente que se da entre carga desplazamiento.

En las gráficas se observa un comportamiento lineal, por lo que se puede decir que la tendencia de dichas curvas es la rigidez del sistema.

Se observa que el Lock es el elemento que otorga la rigidez al sistema de muro, tanto horizontal como vertical. El trabajo de este elemento, es integrar cada uno de los bloques que conforman el muro segmentado. Su gran resistencia a corte es una de sus mayores virtudes, teniendo el único inconveniente que, a cargas de empuje elevadas, produce una falla a tensión en los bloques, similares al efecto de cizallado.

El caso contrario al del ensayo solamente con Lock, es el del ensayo con geomalla 115. Debido a su espesor, requiere una carga vertical elevada para poder aportar a la restricción del deslizamiento de los bloques.

Página 7 de 18

Anexo 8. Informe, Página 8



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

Determinación de la carga vertical óptima

Tabla 1: Ensayo Auxiliar (Determinación de la carga vertical)

Carga Axial (Kg)	Carga Horizontal (Kg)	Def. Real mm
361.29	0.00	0.00
361.29	56.14	1.20
361.29	112.27	2.48
361.29	168.41	3.75
722.58	0.00	4.87
722.58	224.55	5.79
722.58	280.68	7.68
722.58	336.82	10.19
722.58	336.82	11.62
1083.87	0.00	11.72
1083.87	392.95	13.45
1083.87	449.09	15.70
1083.87	449.09	18.32
1445.16	0.00	18.76
1445.16	449.09	22.15
1445.16	505.23	24.75
1445.16	561.36	27.95
1445.16	617.50	31.90
1445.16	673.64	35.75
1445.16	729.77	41.20
0.00	0.00	22.00

La Tabla 1 corresponde a los datos del ensayo auxiliar realizado con el fin de determinar la carga vertical óptima. Dichos datos corresponden a una conexión con geomalla 115 y lock.

Página 8 de 18

Anexo 9. Informe, Página 9

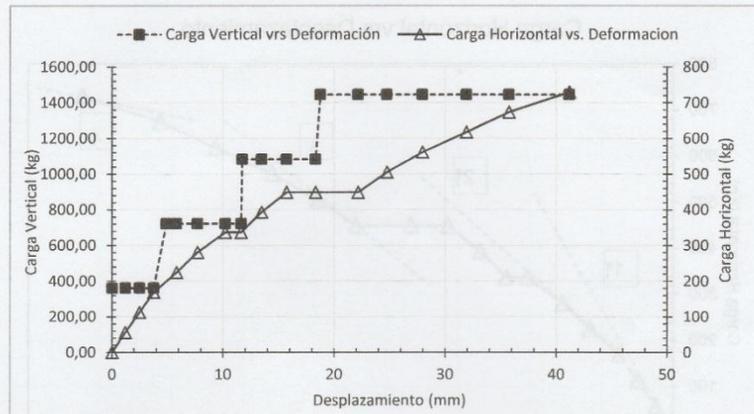


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115



Gráfica 2: Carga vertical y horizontal vs desplazamiento

Página 9 de 18

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 10. Informe, Página 10

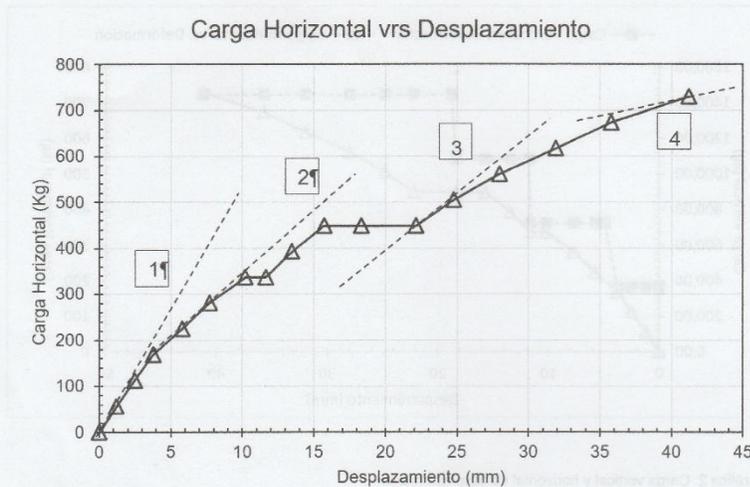


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115



Gráfica 3: Carga horizontal vs Desplazamiento

Como puede observarse en la Gráfica 2, para valores menores a 400 kg (vertical), el sistema se comporta como un elemento rígido. Esto lo indica la pendiente de la recta 1. (Ver Gráfica 3). La rigidez en esa primera fase, hasta 400 kg (vertical), el sistema sin la geomalla es el que aporta la rigidez al desplazamiento horizontal.

La segunda fase, comprendida entre 400 kg a 700kg (vertical), la geomalla se integra al trabajo del sistema contra el deslizamiento.

La tercera fase, comprendida entre 700 kg y 1100kg (vertical), La geomalla comienza a trabajar predominantemente sobre las otras componentes del sistema.

Página 10 de 18

Anexo 11. Informe, Página 11



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

La cuarta fase, comprendida entre 1100 y 1500kg (vertica), El geotextil está trabajando a su condición máxima en relación a la carga axial que se le aplica al sistema.

La fase cinco, comprendida, indica que la restricción producida por la geomalla es superada, donde se deforma horizontalmente y pierde la capacidad de proveer dicha restricción.

De este análisis, se concluyó que la carga vertical constante aplicada, para el ensayo final es de 1400 kg.

Carga Vertical (kg)	Carga Horizontal (kg)	Desplazamiento (mm)
0.00	0.00	11.14
0.00	0.00	11.18
0.00	0.00	11.24
0.00	0.00	11.28
0.00	0.00	11.34
0.00	0.00	11.38
0.00	0.00	11.44
0.00	0.00	11.48
0.00	0.00	11.54
0.00	0.00	11.58
0.00	0.00	11.64
0.00	0.00	11.68
0.00	0.00	11.74
0.00	0.00	11.78
0.00	0.00	11.84
0.00	0.00	11.88
0.00	0.00	11.94
0.00	0.00	11.98
0.00	0.00	12.04
0.00	0.00	12.08
0.00	0.00	12.14
0.00	0.00	12.18
0.00	0.00	12.24
0.00	0.00	12.28
0.00	0.00	12.34
0.00	0.00	12.38
0.00	0.00	12.44
0.00	0.00	12.48
0.00	0.00	12.54
0.00	0.00	12.58
0.00	0.00	12.64
0.00	0.00	12.68
0.00	0.00	12.74
0.00	0.00	12.78
0.00	0.00	12.84
0.00	0.00	12.88
0.00	0.00	12.94
0.00	0.00	12.98
0.00	0.00	13.04
0.00	0.00	13.08
0.00	0.00	13.14
0.00	0.00	13.18
0.00	0.00	13.24
0.00	0.00	13.28
0.00	0.00	13.34
0.00	0.00	13.38
0.00	0.00	13.44
0.00	0.00	13.48
0.00	0.00	13.54
0.00	0.00	13.58
0.00	0.00	13.64
0.00	0.00	13.68
0.00	0.00	13.74
0.00	0.00	13.78
0.00	0.00	13.84
0.00	0.00	13.88
0.00	0.00	13.94
0.00	0.00	13.98
0.00	0.00	14.04
0.00	0.00	14.08
0.00	0.00	14.14
0.00	0.00	14.18
0.00	0.00	14.24
0.00	0.00	14.28
0.00	0.00	14.34
0.00	0.00	14.38
0.00	0.00	14.44
0.00	0.00	14.48
0.00	0.00	14.54
0.00	0.00	14.58
0.00	0.00	14.64
0.00	0.00	14.68
0.00	0.00	14.74
0.00	0.00	14.78
0.00	0.00	14.84
0.00	0.00	14.88
0.00	0.00	14.94
0.00	0.00	14.98
0.00	0.00	15.04
0.00	0.00	15.08
0.00	0.00	15.14
0.00	0.00	15.18
0.00	0.00	15.24
0.00	0.00	15.28
0.00	0.00	15.34
0.00	0.00	15.38
0.00	0.00	15.44
0.00	0.00	15.48
0.00	0.00	15.54
0.00	0.00	15.58
0.00	0.00	15.64
0.00	0.00	15.68
0.00	0.00	15.74
0.00	0.00	15.78
0.00	0.00	15.84
0.00	0.00	15.88
0.00	0.00	15.94
0.00	0.00	15.98
0.00	0.00	16.04
0.00	0.00	16.08
0.00	0.00	16.14
0.00	0.00	16.18
0.00	0.00	16.24
0.00	0.00	16.28
0.00	0.00	16.34
0.00	0.00	16.38
0.00	0.00	16.44
0.00	0.00	16.48
0.00	0.00	16.54
0.00	0.00	16.58
0.00	0.00	16.64
0.00	0.00	16.68
0.00	0.00	16.74
0.00	0.00	16.78
0.00	0.00	16.84
0.00	0.00	16.88
0.00	0.00	16.94
0.00	0.00	16.98
0.00	0.00	17.04
0.00	0.00	17.08
0.00	0.00	17.14
0.00	0.00	17.18
0.00	0.00	17.24
0.00	0.00	17.28
0.00	0.00	17.34
0.00	0.00	17.38
0.00	0.00	17.44
0.00	0.00	17.48
0.00	0.00	17.54
0.00	0.00	17.58
0.00	0.00	17.64
0.00	0.00	17.68
0.00	0.00	17.74
0.00	0.00	17.78
0.00	0.00	17.84
0.00	0.00	17.88
0.00	0.00	17.94
0.00	0.00	17.98
0.00	0.00	18.04
0.00	0.00	18.08
0.00	0.00	18.14
0.00	0.00	18.18
0.00	0.00	18.24
0.00	0.00	18.28
0.00	0.00	18.34
0.00	0.00	18.38
0.00	0.00	18.44
0.00	0.00	18.48
0.00	0.00	18.54
0.00	0.00	18.58
0.00	0.00	18.64
0.00	0.00	18.68
0.00	0.00	18.74
0.00	0.00	18.78
0.00	0.00	18.84
0.00	0.00	18.88
0.00	0.00	18.94
0.00	0.00	18.98
0.00	0.00	19.04
0.00	0.00	19.08
0.00	0.00	19.14
0.00	0.00	19.18
0.00	0.00	19.24
0.00	0.00	19.28
0.00	0.00	19.34
0.00	0.00	19.38
0.00	0.00	19.44
0.00	0.00	19.48
0.00	0.00	19.54
0.00	0.00	19.58
0.00	0.00	19.64
0.00	0.00	19.68
0.00	0.00	19.74
0.00	0.00	19.78
0.00	0.00	19.84
0.00	0.00	19.88
0.00	0.00	19.94
0.00	0.00	19.98
0.00	0.00	20.04
0.00	0.00	20.08
0.00	0.00	20.14
0.00	0.00	20.18
0.00	0.00	20.24
0.00	0.00	20.28
0.00	0.00	20.34
0.00	0.00	20.38
0.00	0.00	20.44
0.00	0.00	20.48
0.00	0.00	20.54
0.00	0.00	20.58
0.00	0.00	20.64
0.00	0.00	20.68
0.00	0.00	20.74
0.00	0.00	20.78
0.00	0.00	20.84
0.00	0.00	20.88
0.00	0.00	20.94
0.00	0.00	20.98
0.00	0.00	21.04
0.00	0.00	21.08
0.00	0.00	21.14
0.00	0.00	21.18
0.00	0.00	21.24
0.00	0.00	21.28
0.00	0.00	21.34
0.00	0.00	21.38
0.00	0.00	21.44
0.00	0.00	21.48
0.00	0.00	21.54
0.00	0.00	21.58
0.00	0.00	21.64
0.00	0.00	21.68
0.00	0.00	21.74
0.00	0.00	21.78
0.00	0.00	21.84
0.00	0.00	21.88
0.00	0.00	21.94
0.00	0.00	21.98
0.00	0.00	22.04
0.00	0.00	22.08
0.00	0.00	22.14
0.00	0.00	22.18
0.00	0.00	22.24
0.00	0.00	22.28
0.00	0.00	22.34
0.00	0.00	22.38
0.00	0.00	22.44
0.00	0.00	22.48
0.00	0.00	22.54
0.00	0.00	22.58
0.00	0.00	22.64
0.00	0.00	22.68
0.00	0.00	22.74
0.00	0.00	22.78
0.00	0.00	22.84
0.00	0.00	22.88
0.00	0.00	22.94
0.00	0.00	22.98
0.00	0.00	23.04
0.00	0.00	23.08
0.00	0.00	23.14
0.00	0.00	23.18
0.00	0.00	23.24
0.00	0.00	23.28
0.00	0.00	23.34
0.00	0.00	23.38
0.00	0.00	23.44
0.00	0.00	23.48
0.00	0.00	23.54
0.00	0.00	23.58
0.00	0.00	23.64
0.00	0.00	23.68
0.00	0.00	23.74
0.00	0.00	23.78
0.00	0.00	23.84
0.00	0.00	23.88
0.00	0.00	23.94
0.00	0.00	23.98
0.00	0.00	24.04
0.00	0.00	24.08
0.00	0.00	24.14
0.00	0.00	24.18
0.00	0.00	24.24
0.00	0.00	24.28
0.00	0.00	24.34
0.00	0.00	24.38
0.00	0.00	24.44
0.00	0.00	24.48
0.00	0.00	24.54
0.00	0.00	24.58
0.00	0.00	24.64
0.00	0.00	24.68
0.00	0.00	24.74
0.00	0.00	24.78
0.00	0.00	24.84
0.00	0.00	24.88
0.00	0.00	24.94
0.00	0.00	24.98
0.00	0.00	25.04
0.00	0.00	25.08
0.00	0.00	25.14
0.00	0.00	25.18
0.00	0.00	25.24
0.00	0.00	25.28
0.00	0.00	25.34
0.00	0.00	25.38
0.00	0.00	25.44
0.00	0.00	25.48
0.00	0.00	25.54
0.00	0.00	25.58
0.00	0.00	25.64
0.00	0.00	25.68
0.00	0.00	25.74
0.00	0.00	25.78
0.00	0.00	25.84
0.00	0.00	25.88
0.00	0.00	25.94
0.00	0.00	25.98
0.00	0.00	26.04
0.00	0.00	26.08
0.00	0.00	26.14
0.00	0.00	26.18
0.00	0.00	26.24
0.00	0.00	26.28
0.00	0.00	26.34
0.00	0.00	26.38
0.00	0.00	26.44
0.00	0.00	26.48
0.00	0.00	26.54
0.00	0.00	26.58
0.00	0.00	26.64
0.00	0.00	26.68
0.00	0.00	26.74
0.00	0.00	26.78
0.00	0.00	26.84
0.00	0.00	26.88
0.00	0.00	26.94
0.00	0.00	26.98
0.00	0.00	27.04
0.00	0.00	27.08
0.00	0.00	27.14
0.00	0.00	27.18
0.00	0.00	27.24
0.00	0.00	27.28
0.00	0.00	27.34
0.00	0.00	27.38
0.00	0.00	27.44
0.00	0.00	27.48
0.00	0.00	27.54
0.00	0.00	27.58
0.00	0.00	27.64
0.00	0.00	27.68
0.00	0.00	27.74
0.00	0.00	27.78
0.00	0.00	27.84
0.00	0.00	27.88
0.00	0.00	27.94
0.00	0.00	27.98
0.00	0.00	28.04
0.00	0.00	28.08
0.00	0.00	28.14
0.00	0.00	28.18
0.00	0.00	28.24
0.00	0.00	28.28
0.00	0.00	28.34
0.00	0.00	28.38
0.00	0.00	28.44
0.00	0.00	28.48
0.00	0.00	28.54
0.00	0.00	28.58
0.00	0.00	28.64
0.00	0.00	28.68
0.00	0.00	28.74
0.00	0.00	28.78
0.00	0.00	28.84

Anexo 12. Informe, Página 12



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

DATOS DEL ENSAYO

Carga Vertical (kN)	Carga Horizontal (kN/m)	Desplazamiento (mm)
3.54	0.00	0.00
14.18	0.00	0.09
14.18	2.20	1.06
14.18	4.39	1.86
14.18	6.59	2.56
14.18	8.79	3.59
14.18	10.99	4.61
14.18	13.18	5.84
14.18	15.38	6.94
14.18	17.58	8.24
14.18	19.78	10.34
14.18	21.97	12.49
14.18	24.17	14.44
14.18	24.17	16.14
14.18	24.17	16.80
14.18	24.17	18.39
14.18	26.37	22.69
14.18	28.57	26.24
14.18	28.57	30.01
14.18	8.79	28.54
14.18	4.39	27.24
14.18	2.20	24.64
14.18	0.00	22.24
14.18	0.00	19.49
0.00	0.00	17.14

Página 12 de 18

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 13. Informe, Página 13



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

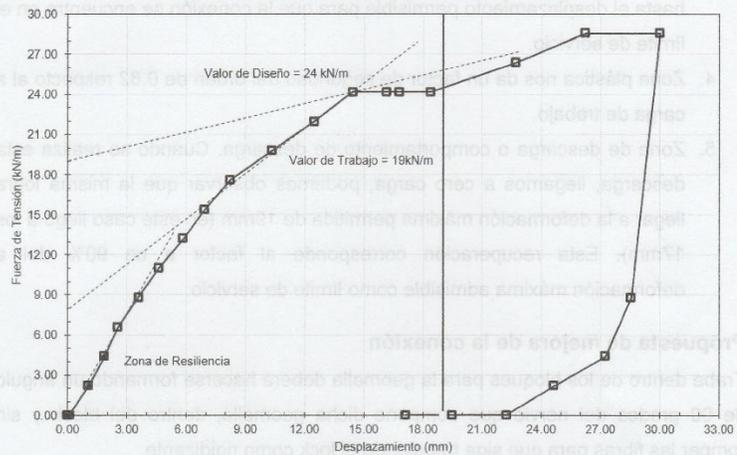


INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

GRÁFICAS DE RESULTADOS

Fuerza de Tensión vs. Desplazamiento



Gráfica 4: Fuerza de Tensión vs. Desplazamiento

Para la evaluación, de acuerdo a la norma NCMA SRWU 1, el límite es en función del desplazamiento, que corresponde a 19mm. Esta condición no hace mención de la carga aplicada horizontal y vertical.

De acuerdo al comportamiento observado en la gráfica anterior, se visualizan 3 fases que son.

1. Comportamiento Newtoniano: El comportamiento es lineal en relación a carga y desplazamiento.

Página 13 de 18

Anexo 14. Informe, Página 14



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

2. Zona superior del comportamiento elástico del geotextil. En esta zona se localiza la carga de trabajo de la conexión.
3. Zona elastoplástica. Esta zona está comprendida entre el valor de trabajo hasta el desplazamiento permisible para que la conexión se encuentre en el límite de servicio.
4. Zona plástica nos da un factor de seguridad del orden de 0.82 respecto al a carga de trabajo.
5. Zona de descarga o comportamiento de descarga. Cuando se realiza esta descarga, llegamos a cero carga, podemos observar que la misma logra llegar a la deformación máxima permitida de 19mm (en este caso llegó a los 17mm). Esta recuperación corresponde al factor a un 90% del a deformación máxima admisible como límite de servicio.

Propuesta de mejora de la conexión

Trabe dentro de los bloques para la geomalla deberá hacerse formando un ángulo de 90 grados del nervio que compone dicha geomalla, dentro del block y sin romper las fibras para que siga trabajando el lock como rigidizante.

Descripción

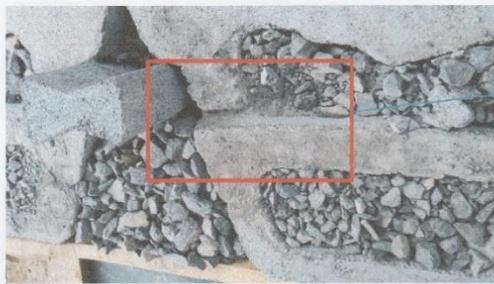
Se abrió una muesca dentro de cada block con la finalidad de que la vena de la malla se ajuste dentro de la misma. Dicha muesca debe tener una profundidad de al menos 1 pulgada para que tenga un buen desarrollo dentro del bloque.

El lock se utilizará únicamente como un elemento que proporciona rigidez e integra los bloques para formar el muro.

Página 14 de 18

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 15. Informe, Página 15



Muesca

Ilustración 4: Modificación propuesta en bloques



Ilustración 5: Posición de la geomalla y forma de trabajo

Anexo 16. Informe, Página 16



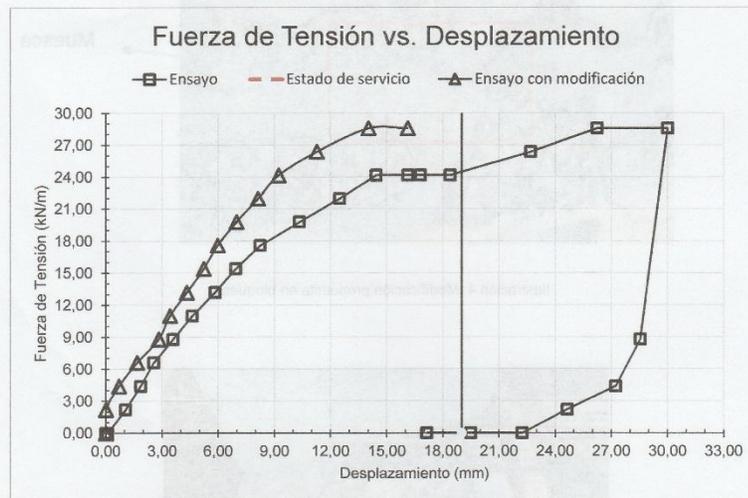
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

Comparación entre sistema modificado y convencional



Gráfica 5: Comparación entre bloque modificado y convencional

La grafica demuestra que la modificación en los bloques y la nueva colocación de la malla, otorga un aumento en la resistencia de la conexión. El valor de diseño para el sistema modificado tiene un aumento del 15% con respecto al valor obtenido en el sistema convencional.

Página 16 de 18

Anexo 17. Informe, Página 17



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

CONCLUSIONES

El sistema evaluado le permitirá al diseñador determinar el nivel de rigidez del sistema haciendo la combinación de lo presentado en las tablas correspondientes a los ensayos complementarios.

Que los valores de cargas verticales sobre la geomalla corresponden al rango siguen de 400 kg a 1500 kg (vertical). Fuera de este rango, no resulta siendo práctico el uso de la geomalla (U110 y U115).

Para el rango establecido en la norma de 19mm, la carga horizontal aplicada es de 24Kn/m.

Es indispensable el uso de lock, ya que este permite integrar tanto horizontal como verticalmente los bloques Nuraghe.

RECOMENDACIONES

Si se desea tener un aporte contra el deslizamiento de los bloques gracias a la geomalla, utilizar de un número 110 con el Lock, debido a que el mismo provee la rigidez.

Para añadir resistencia a la conexión, se recomienda la implementación de la modificación en los bloques de concreto, dejando una muesca mayor a 1 pulgada de profundidad para una correcta sujeción de la vena de la geomalla (Ver Ilustración 4: Modificación propuesta en bloques).

Página 17 de 18

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.

Anexo 18. Informe, Página 18



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



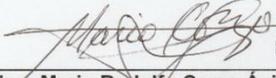
INFORME No. EFC 19 DE MAY 2016

O.T.: 36115

La mejora propuesta tiene un beneficio del 14% en la capacidad de carga horizontal respecto a la manera convencional de uso.

Se insiste en que el valor de referencia para la evaluación de la geomalla sea de 19mm, lo que proporciona el valor de carga horizontal para el límite de servicio.

Vo. Bo.


Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Sección de Estructuras



Página 18 de 18

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252

Fuente: Informe proporcionado por la sección de Estructuras, CII USAC, zona 12.