

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



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

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

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

## RESUMEN

La utilización de geomallas como refuerzo superficial se ha aplicado en sistemas estructurales vulnerables como las viviendas de adobe y, ahora último, en viviendas de albañilería. Este sistema de refuerzo superficial consta de una geomalla, que puede ser biaxial o triaxial, y una matriz de mortero que embute a la geomalla y es responsable de la adherencia con el muro. Investigaciones previas han demostrado que este refuerzo es muy efectivo para aumentar la resistencia y ductilidad de los muros cuando estos son sometidos a fuerzas cortantes. Sin embargo, los beneficios de este refuerzo sólo son posibles mientras se mantenga adherido al muro, entonces es necesario que la adherencia del sistema al sustrato de albañilería sea estudiada.

En otros tipos de refuerzos superficiales similares, como el caso de los FRCM (Fibre Reinforced Cementitious Matrix), la adherencia es estudiada en el fenómeno de falla por desprendimiento, el cual depende de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos. Existe mucha diversidad, tanto en los tipos de mortero, como en los tipos de ladrillo, lo cual incrementa la variabilidad en la efectividad del refuerzo superficial con geomallas. Por consiguiente, en esta tesis se estudió experimentalmente la influencia de los diferentes tipos de mortero y sustratos de albañilería en la adherencia del sistema de refuerzo superficial.

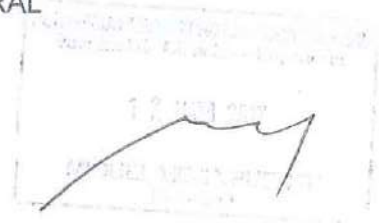
En esta investigación se realizaron ensayos de adherencia en tracción sobre especímenes conformados por un trozo de geomalla embebido en mortero que a su vez está adherido a un ladrillo. El ensayo consistió en traccionar la geomalla hasta la rotura de la misma o hasta el desprendimiento del mortero. Se utilizaron ladrillos de arcilla tipo King Kong y pandereta, y ladrillos de concreto. En morteros, mortero sin cal de proporción cemento: arena (1:5) y mortero con cal de proporción cemento: cal: arena (1:1:5). Dos tipos de geomallas fueron utilizados: triaxial TX 160 y biaxial BX 4100. Se formaron doce tipos de especímenes y se efectuaron tres ensayos en cada uno, siendo un total de 36 ensayos en los cuales las geomallas se colocaron embebidas en el mortero con una longitud de anclaje de 0.15m. Posteriormente, se ejecutaron ensayos adicionales con algunos materiales para comprobar teorías formuladas con base en los primeros ensayos y lograr sólidas conclusiones. La longitud de anclaje se mantuvo constante, tanto en los primeros ensayos como los posteriores, y funcionó como referencia de la efectividad de la adherencia, ya que en investigaciones previas con otros tipos de materiales, el uso de 0.15m de anclaje resultó óptimo.

Los resultados mostraron que, en efecto, los diferentes tipos de morteros y substratos de albañilería tienen gran influencia en la adherencia para este tipo de refuerzo superficial. Se determinó que la longitud de anclaje de 0.15m no es efectiva para todos los casos y que la longitud efectiva de anclaje depende de los materiales constituyentes. Además, esta investigación concluye que el mejor comportamiento de adherencia del refuerzo superficial se da utilizando mortero con cal sobre ladrillo pandereta el cual tiene la superficie más rugosa entre los tres tipos de ladrillos utilizados.



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Estudio experimental de la Influencia de los diferentes tipos de mortero y substratos de albañilería en la adherencia con geomallas"  
Área : Estructuras - Investigación  
Asesor : Ing. Daniel Torrealva Dávila  
Alumno : RENATO ARMANDO CÁRDENAS LINARES  
Código : 2010.0687.412  
Alumno : JIMMY JORGE LUNA CORAL  
Código : 2010.1855.412  
Tema N° : # 430  
Fecha : Lima, 4 de mayo de 2017



OBJETIVO:

Determinar la influencia de los diferentes tipos de mortero y substratos en la adherencia de las geomallas como refuerzo superficial en mampostería de ladrillo.

METODOLOGÍA

Se ensayarán a tracción especímenes compuestos por geomalla-mortero-ladrillo, se usarán tres tipos de ladrillos (King Kong, pandereta y concreto), dos tipos de mortero (con relación cemento-arena 1:5 y cemento-cal-arena 1:1:5) y dos tipos de geomalla (biaxial y triaxial).

Los datos a recopilar son la fuerza de falla, desplazamiento global del ensayo a tracción y el tipo de falla. La metodología para lograr los objetivos son primero identificar el tipo de falla y clasificarlos. Esta clasificación permitirá identificar qué materiales son los que brindan efectividad en el anclaje y cuáles no. Segundo, se estudia la intensidad de la fuerza de falla. Los resultados de los ensayos, tanto en tipo y fuerza de falla dependen de los materiales constituyentes por lo que la comparación y análisis de los ensayos permitirán determinar la influencia de los tipos de mortero y ladrillo en la adherencia con geomallas.

PREPARACIÓN DE ESPECIMENES

Para la elaboración de los especímenes se emplearán las siguientes características:

- Espesor de capa de mortero: 0.02m.
- Tipos de Ladrillo: King Kong, Pandereta y Concreto
- Dosificación de Mortero: 1:5 (cemento: arena) y 1:1:5 (cemento: cal: arena)
- Tipos de geomalla: Biaxial y Triaxial

El procedimiento de elaboración de especímenes fue el siguiente:

- i. Preparar la mezcla de mortero.
- ii. Colocar los ladrillos distanciados adecuadamente entre ellos.
- iii. Verificar que el espesor de mortero sea 0.02m.
- iv. Colocar las mallas en cada ladrillo respetando los 0.15m de la longitud de anclaje.
- v. Colocar dicho mortero sobre la unidad y geomalla.
- vi. Moldear el mortero y dar el acabado.

Estos especímenes se dejan secar durante 28 días, para luego ejecutar los ensayos de adherencia.

#### EJECUCIÓN DE ESPECIMENES

El ensayo de adherencia tuvo los siguientes pasos:

- i. Primero, la geomalla se ancla en el soporte superior, que es donde la maquina universal aplicará la carga y la transferirá a la geomalla como se observa en la figura.
- ii. Luego, se coloca el espécimen en el soporte base
- iii. Finalmente, se coloca en la maquina universal, manteniendo una correcta alineación o verticalidad.

#### METRADO DE MATERIALES

Para ensayos de adherencia:

Unidades de albañilería

- |                         |          |
|-------------------------|----------|
| - Ladrillo Pandereta:   | 16 unid. |
| - Ladrillo King Kong:   | 16 unid. |
| - Ladrillo de concreto: | 12 unid. |

Geomallas:

- |                     |                  |
|---------------------|------------------|
| - Geomalla triaxial | 3 m <sup>2</sup> |
| - Geomalla biaxial  | 2 m <sup>2</sup> |

Mortero

- |           |          |
|-----------|----------|
| - Cemento | 3 bolsas |
| - Arena   | 4 bolsas |
| - Cal     | 1 bolsa  |

#### PERSONAL DE LABORATORIO:

Se requerirá un personal de 2 personas para labores de construcción de los especímenes y personal técnico para la ejecución de los ensayos.

CRONOGRAMA

Primer entregable: 3 meses y 2 semanas

- Búsqueda de bibliografía: 2 meses
- Diseños de ensayos: 1 mes
- Redacción del primer entregable 2 semanas

Segundo entregable: 5 meses y 2 semanas

- Elaboración de especímenes 1 mes y 1 semana
- Ejecución de ensayos 1 semana
- Interpretación de resultados 3 meses
- Redacción de segundo entregable 1 mes

PRESUPUESTO

ENSAYOS	CANTIDAD
Ensayo de adherencia geomalla-mortero-ladrillo	44
Ensayo de compresión de mortero	10
Ensayo de compresión de ladrillos	9

*Máximo: 100 páginas*

VB°   
Dr. Rafael Aguilar  
Director de Investigación

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Armando y Edith, por apoyo, confianza y consejos durante toda mi carrera universitaria.

A mis padres, Jorge y Delia, por su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi carrera universitaria.

A nuestro asesor, el Ing. Daniel Torrealva, por su apoyo y guía profesional en la realización de esta tesis.

Al Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la PUCP por Permitirnos realizar los ensayos.



# ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABLAS .....	xiii
LISTA DE GRÁFICOS .....	xiv
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Alcance .....	6
1.4 Antecedentes .....	8
1.5 Hipótesis .....	12
1.6 Objetivos.....	12
1.7 Metodología .....	13
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y PROPIEDADES.....	16
2.1 Unidades de albañilería.....	16
2.1.2 Unidades de concreto .....	18
2.2 Morteros.....	21
2.3 Geosintético .....	22
2.3.1 Geomallas .....	23
2.3.2 Propiedades físicas y mecánicas .....	26
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LOS ENSAYOS.....	28
3.1 Cronograma de laboratorio .....	28
3.2 Ensayos de control de materiales .....	28
3.2.1 Unidades de albañilería.....	28
3.2.2 Mortero .....	32
3.3.1 Preparación de especímenes y equipos .....	36
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1 Ensayos de control de materiales .....	45
4.1.1 Albañilería.....	45
4.1.2 Mortero .....	48
4.1.3 Geomalla.....	50
4.2 Adherencia de geomallas .....	54



4.2.1 Identificación de especímenes .....	54
4.2.2 Procedimiento para la ejecución de los ensayos de adherencia .....	55
4.2.3 Resultados de los ensayos de adherencia (2015) .....	56
4.2.3.1 CCT: Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla triaxial .....	56
4.2.3.2 CCB: Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla biaxial.....	57
4.2.3.3 KCT: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla triaxial .....	58
4.2.3.4 KCB: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla biaxial .....	59
4.2.3.5 PCT: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla triaxial .....	60
4.2.3.6 PCB: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla biaxial .....	61
4.2.3.7 CAT: Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla triaxial.....	62
4.2.3.8 CAB: Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla biaxial.....	63
4.2.3.9 KAT: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla triaxial .....	64
4.2.3.10 KAB: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla biaxial .....	65
4.2.3.11 PAT: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla triaxial .....	66
4.2.3.12 PAB: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla biaxial .....	67
4.2.4 Resultados de los ensayos de adherencia (2016) .....	68
4.2.4.1 KCT-N: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla triaxial.....	68
4.2.4.2 PCT-N: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla triaxial.....	69
4.2.4.3 KAT-N: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla triaxial.....	70
4.2.4.4 PAT-N: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla triaxial .....	71
CAPÍTULO 5: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	72
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - <i>Refuerzo superficial de muro de ladrillo con geomalla biaxial</i> .....	7
Figura 1.2 - <i>Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro simple</i> .....	10
Figura 1.3 – <i>Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro tarrajado</i> .....	10
Figura 1.4 – <i>Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro reforzado-tarrajado</i> .....	11
Figura 1.5 – <i>Diagrama fuerza-deformación lateral de los ensayos de corte/compresión</i> .....	11
Figura 1.6 – <i>Dispositivo utilizado para el ensayo de adherencia</i> .....	14
Figura 2.1 - <i>Ladrillo pandereta</i> .....	16
Figura 2.2 - <i>Ladrillo industrial King Kong sólido de 18 huecos</i> .....	17
Figura 2.3 – <i>Unidad ®Kingkoncreto</i> .....	18
Figura 2.4 - <i>Geomalla uniaxial</i> .....	24
Figura. 2.5 - <i>Geomalla biaxial</i> .....	24
Figura 2.6 - <i>Geomalla triaxial</i> .....	25
Figura 2.7 - <i>El método de ensayo de la junta</i> .....	27
Figura 3.1 - <i>Secado de unidades de albañilería en un horno de temperatura controlada</i> .....	29
Figura 3.2 – <i>Prueba de succión en diferentes tipos de ladrillos (a.) pandereta, (b.) concreto y (c.) King Kong</i> .....	30
Figura 3.3 – <i>Capping en los ladrillos pandereta</i> .....	31
Figura 3.4 – <i>Ensayo de compresión simple en diferentes tipos de ladrillo (a.) pandereta (b.) concreto y (c.) King Kong. El equipo utilizado en (a.) la maquina universal MTS; en (b.) y (c.) fue la prensa hidráulica ELE</i> .....	31
Figura 3.5 – <i>Elaboración de especímenes de mortero (a.) moldes en donde se coloca el mortero fresco (b.) manera de compactar el mortero en el molde y (c.) testigos de mortero luego de 28 días de curado</i> .....	32
Figura 3.6 – <i>Ensayo de compresión de mortero (a.) Colocación de espécimen de mortero en la maquina universal (b.) Cubitos de mortero luego del ensayo en la maquina universal</i> .....	33

Figura 3.7 – Dimensiones de ladrillos artesanal.....	34
Figura 3.8 – Dimensiones del dispositivo de soporte base (a.) ancho y (b.) largo y alto.....	34
Figura 3.9 – Especímenes para ensayos de tracción en plásticos (ASTM, 2010).....	35
Figura 3.10 – Elección de velocidad de ensayo (ASTM, 2010).....	36
Figura 3.11 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo de concreto.....	36
Figura 3.12 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo King Kong.....	37
Figura 3.13 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo pandereta.....	37
Figura 3.14 – Ladrillo de concreto (a.)plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado.....	38
Figura 3.15 – Ladrillo de King Kong (a.) plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado.....	38
Figura 3.16 – Ladrillo de pandereta (a.) plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado.....	39
Figura 3.17 – Plano con dimensiones de corte de (a.) geomalla biaxial y (b.) geomalla triaxial. Vista de geomalla luego de ser cortada de la (c.) geomalla biaxial y (d.) geomalla triaxial.....	40
Figura 3.18 – (a.) Preparación de mezcla de mortero: se mezcla según proporción volumétrica el cemento, la arena y si hubiera la cal, luego se vierte agua hasta que se haga una mezcla trabajable, (b.) Se colocan los ladrillos a una distancia adecuada, se verifica el espesor del mortero de 0.02 m. y se fija la geomalla con la longitud de anclaje de 0.15 m.....	41
Figura 3.18 (continuación) – (c.) Se coloca la mezcla de mortero sobre las unidades y geomalla previamente preparados (d.) Se moldea el mortero y se le da la forma final.....	42
Figura 3.19 – Vista de los especímenes terminados con (a.) geomalla biaxial (b.) geomalla triaxial.....	42
Figura 3.20 – Maquina universal del Laboratorio de Estructuras PUCP.....	43
Figura 3.21 – Dispositivo de soporte (superior y base) de espécimen de adherencia.....	44
Figura 4.1 – Colocación de la geomalla sobre el soporte superior.....	55
Figura 4.2 – Colocación del espécimen sobre el soporte base.....	55

Figura 4.3 – <i>Modo de falla al finalizar el ensayo</i> .....	55
Figura 4.4 – <i>Tipo de falla del espécimen CCT-1</i> .....	56
Figura 4.5 – <i>Tipo de falla del espécimen CCB-1</i> .....	57
Figura 4.6 – <i>Tipo de falla del espécimen KCT-1</i> .....	58
Figura 4.7 – <i>Tipo de falla del espécimen KCB-1</i> .....	59
Figura 4.8 – <i>Tipo de falla del espécimen PCT-1</i> .....	60
Figura 4.9 – <i>Tipo de falla del espécimen PCB-1</i> .....	61
Figura 4.10 – <i>Tipo de falla del espécimen CAT-2</i> .....	62
Figura 4.11 – <i>Tipo de falla del espécimen CAB-2</i> .....	63
Figura 4.12 – <i>Tipo de falla del espécimen KAT-1</i> .....	64
Figura 4.13 – <i>Tipo de falla del espécimen KAB-3</i> .....	65
Figura 4.14 – <i>Tipo de falla del espécimen PAT-2</i> .....	66
Figura 4.15 – <i>Tipo de falla del espécimen PAB-3</i> .....	67
Figura 4.16 – <i>Tipo de falla del espécimen KCT-2 N</i> .....	68
Figura 4.17 – <i>Tipo de falla del espécimen PCT-1N</i> .....	69
Figura 4.18 – <i>Tipo de falla del espécimen KAT-2 N</i> .....	70
Figura 4.19 – <i>Tipo de falla del espécimen PAT-2 N</i> .....	71
Figura 5.1 – <i>Medición de distancia a las grietas</i> .....	76
Figura 5.2 – <i>Influencia del ladrillo en la fuerza de adherencia</i> .....	80
Figura 5.3 – <i>Influencia del mortero en la fuerza de adherencia</i> .....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 - <i>Características comerciales de ladrillo pandereta</i> .....	17
Tabla 2.2 - <i>Características comerciales de Ladrillo King Kong 18 huecos</i> .....	18
Tabla 2.3 – <i>Características comerciales de la unidad de concreto</i> .....	19
Tabla 2.4 - <i>Clase de unidad de albañilería para fines estructurales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)</i> .....	20
Tabla 2.5 - <i>Usos de los geosintéticos según su función primaria. Adaptado y traducido de Koerner, 2012</i> .....	23
Tabla 3.1 – <i>Programación de preparación y ejecución de ensayos en el Laboratorio de Estructuras PUCP</i> .....	28
Tabla 4.1 – <i>Resultados de ensayos de succión</i> .....	45
Tabla 4.2 – <i>Resultados de ensayos resistencia a la compresión de ladrillos</i> .....	47
Tabla 4.3 – <i>Resultados de granulometría de la arena</i> .....	48
Tabla 4.4 – <i>Resultados de ensayos resistencia a la compresión de mortero</i> .....	49
Tabla 4.5 – <i>Propiedades mecánicas de una costilla de geomalla biaxial</i> .....	53
Tabla 4.6 – <i>Comparación de resultados experimentales con la ficha técnica</i> .....	53
Tabla 5.1 – <i>Análisis de tipo de falla por materiales</i> .....	72
Tabla 5.2 – <i>Análisis de falla por tipo de geomalla</i> .....	73
Tabla 5.3 – <i>Resumen de los ensayos de adherencia por tipo de geomalla</i> .....	74
Tabla 5.4 – <i>Comparación de fuerzas de falla por geomalla triaxial</i> .....	77
Tabla 5.5 – <i>Comparación de fuerzas de falla por geomalla biaxial</i> .....	78
Tabla 5.6 – <i>Fuerza última de adherencia</i> .....	79
Tabla 5.7 – <i>Esfuerzo promedio de adherencia</i> .....	83
Tabla 5.8 – <i>Longitud de anclaje efectiva</i> .....	83

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – Curva esfuerzo vs elongación de los siguientes especímenes: (a.) <i>Ladrillo Pandereta, mortero sin cal y geomalla biaxial (PAB-1)</i> (b.) <i>PAB-2</i> (c.) <i>PAB-3</i> .....	51
Gráfico 4.1 (continuación) – Curva esfuerzo vs elongación de los siguientes especímenes: (a.) <i>Ladrillo Pandereta, mortero con cal y geomalla biaxial (PCB-1)</i> (b.) <i>PCB-2</i> (c.) <i>Ladrillo King Kong, mortero con cal y geomalla biaxial (KCB-1)</i> .....	52
Gráfico 4.2 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CCT</i> .....	56
Gráfico 4.3 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CCB</i> .....	57
Gráfico 4.4 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KCT</i> .....	58
Gráfico 4.5 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KCB</i> .....	59
Gráfico 4.6 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCT</i> .....	60
Gráfico 4.7 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCB</i> .....	61
Gráfico 4.8 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CAT</i> .....	62
Gráfico 4.9 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CAB</i> .....	63
Gráfico 4.10 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAT</i> .....	64
Gráfico 4.11 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAB</i> .....	65
Gráfico 4.12 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAT</i> .....	66
Gráfico 4.13 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAB</i> .....	67
Gráfico 4.14 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KCT-N</i> .....	68
Gráfico 4.15 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCT-N</i> .....	69
Gráfico 4.16 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAT-N</i> .....	70
Gráfico 4.17 – <i>Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAT-N</i> .....	71

## CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Se estudiará experimentalmente la influencia de los diferentes tipos de morteros y texturas de substratos de albañilería en la longitud efectiva de anclaje de un refuerzo superficial geosintético. La adherencia entre el conjunto de los siguientes tres materiales: refuerzo geosintético, mortero y ladrillo es lo que hace posible el anclaje. Para la construcción de muros de albañilería, el mortero actúa como elemento estructural aglomerante que, por adherencia, mantiene a las unidades de albañilería pegadas para que en conjunto resistan las fuerzas de compresión, tracción y cortante a las cuales está demandado un muro. Para esta investigación se desea que el mortero siga actuando como un elemento estructural que adhiera al refuerzo superficial y pueda resistir los esfuerzos de tracción y corte para lograr que el refuerzo funcione. Por lo tanto, en esta tesis se realizarán ensayos de tracción con dos tipos de geomallas, dos tipos de mortero y tres tipos de unidades albañilería. Debido a que las variables de estudio son los tipos de geomallas, los morteros y las diferentes texturas de las unidades de albañilería; la longitud y ancho, ambos de anclaje, se mantendrán constantes para todos los especímenes. Adicionalmente, se harán los siguientes ensayos de control que puedan influir en la adherencia: compresión en cubos de mortero, compresión en unidades de albañilería, succión de las unidades de albañilería y granulometría de la arena.

Los ensayos de compresión en mortero y ladrillo serán para conocer la calidad de estos materiales con que se está trabajando. Los ensayos de succión son para medir la avidéz con que el ladrillo absorbe agua, la cual es una propiedad fundamental que afecta la adherencia. El ensayo de granulometría en la arena servirá como verificación de que la arena esté gradada según lo exige la norma para mezclas de mortero. Por otro lado, de los ensayos de tracción sobre los especímenes del conjunto geomalla-mortero-ladrillo se calculará la fuerza que ocasiona la falla y la curva global de fuerza-deformación que la máquina universal brindará. De estos resultados se analizará la efectividad de la adherencia con base en la comparación de las propiedades de los materiales constitutivos, en la comparación del tipo de falla de los diferentes especímenes y en la comparación de la fuerza de falla. Para esta investigación el criterio de efectividad en la adherencia del refuerzo superficial se manifiesta en que, en el ensayo a tracción, la geomalla debe romperse sin desprenderse del ladrillo.

## 1.2 Justificación

El sistema estructural más común en edificaciones de ladrillo es la albañilería confinada. Este sistema consiste en columnas y vigas de concreto armado que tienen la función de confinar y amarrar los muros de ladrillo para conservar su integridad durante la ocurrencia de un sismo. Los muros de ladrillo son los elementos estructurales del sistema que resisten las cargas tanto verticales como las horizontales de sismo, pero debido a que la albañilería es un material frágil y poco resistente a las fuerzas cortantes, los elementos de confinamiento deben resistir los esfuerzos cortantes una vez que los muros han agotado su capacidad resistente. Sin embargo, la función principal de las columnas de confinamiento es controlar el agrietamiento de la albañilería para que el muro siga siendo capaz de resistir. Las virtudes de la albañilería confinada son ampliamente conocidas y se propone como el único sistema de albañilería con el cual se debe construir, no obstante existen viviendas en el país que están compuestas solo de muros de ladrillo sin ningún confinamiento. Este tipo de sistema se conoce como albañilería simple o albañilería no reforzada y son estructuras muy vulnerables frente a eventos sísmicos. La Norma Técnica E.070 de Albañilería prohíbe que se construya edificaciones de albañilería no reforzada; no obstante, debido a la informalidad de la construcción en el país, la realidad es que aún existen muchas construcciones de albañilería simple y se siguen construyendo en zonas sísmicas del país.

Por otro lado, existe otro tipo de estructura de albañilería no reforzada que son las estructuras históricas que en su mayoría están constituidas por ladrillos de sillar, adobe o piedra. Estas son muy vulnerables frente a sismo y se ha buscado maneras de reforzamiento sin alterar su tipología para no perder la riqueza histórica. Para esta labor, una de las alternativas es adherir un refuerzo superficial polimérico sobre los muros a reforzar para que este ayude a resistir los esfuerzos que produce un sismo. Esta técnica también se puede aplicar a viviendas de albañilería existentes que son vulnerables frente a sismos ya sea por contar con albañilería artesanal o por ser de albañilería simple mal diseñada. En 2014 se promulgó la Ley 30191 la cual permite que entidades públicas como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), reciban apoyo económico del estado para ejecutar medidas de prevención, mitigación y preparación contra desastres. Entonces, debido a que muchas familias en situación de pobreza construyeron sus viviendas en malas condiciones y sin técnicas



sismorresistentes, el MVCS está ejecutando trabajos de reforzamiento de estas viviendas con un bono económico a familias que se encuentran en la pobreza o pobreza extrema para que una habitación, dentro de la casa, sea reforzada y quede como zona segura en caso de sismo. Lo que tradicionalmente se hubiera hecho para reforzar estas viviendas, sería utilizar el sistema de albañilería confinada; sin embargo, el proceso constructivo de reforzar viviendas existentes con columnas o vigas de confinamiento resulta muy complicado y costoso. Por tal motivo, el sistema de refuerzo superficial con geomalla fue oficialmente aceptado como una alternativa de refuerzo para ser aplicada en este proyecto.

Una geomalla es una malla polimérica que se coloca embebida en estructuras de suelo como taludes o muros de contención para brindarle propiedades mecánicas que el suelo carece, como la resistencia a tracción. La buena resistencia y rigidez que tiene la geomalla y su compatibilidad con elementos compuestos por suelo, llevó a que se utilice para reforzar y confinar viviendas de adobe. Se realizaron ensayos de simulación sísmica en módulos de vivienda de adobe reforzadas superficialmente con geomallas en donde estas fueron capaces de brindarle ductilidad y mayor resistencia a la vivienda a pesar de que el adobe carezca de estas propiedades (Bossio et al, 2013). Entonces, se plantea utilizar este mismo refuerzo para estructuras de albañilería a manera de que pueda reemplazar a los elementos de confinamiento. Esto parece ser posible ya que los ensayos muestran que la geomalla es capaz de controlar la grieta en la albañilería y mantener la integridad del sistema, y esto es como la albañilería confinada funciona. Además de cumplir la misma función de confinamiento, el reforzamiento con geomallas ha demostrado que aumenta la resistencia a cargas en el plano del muro, aumenta la ductilidad, aumenta la capacidad de disipación de energía mediante grietas finas y aumenta la resistencia a cargas perpendiculares al muro la cual es una propiedad que la albañilería confinada carece.

A nivel de código de albañilería, el análisis y diseño de los muros de ladrillo se hace en base a que estos son elementos que resisten todas las cargas, tanto verticales como horizontales. El artículo 19.1.b de la Norma Técnica E.070 Albañilería manifiesta lo siguiente:

“El esfuerzo axial máximo ( $\sigma_m$ ) producido por la carga de gravedad máxima de servicio ( $P_m$ ), incluyendo el 100% de sobrecarga, será inferior a:

$$\sigma_m = \frac{P}{L \cdot t} \leq 0.2 \cdot f'm \cdot \left[ 1 - \left( \frac{h}{35 \cdot t} \right)^2 \right] \leq 0.15 \cdot f'm$$

Donde  $L$  es la longitud total del muro (incluyendo el peralte de las columnas para el caso de los muros confinados). De no cumplirse esta expresión habrá que mejorar la calidad de la albañilería ( $f'm$ ), aumentar el espesor del muro ( $t$ ), transformarlo en concreto armado o ver la manera de reducir la magnitud de la carga axial  $P_m$ .” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

Además, en el artículo 26.3 de esta misma norma manifiesta lo siguiente:

“La resistencia al corte ( $V_m$ ) de los grupos de albañilería se calculará en cada entrespeque mediante las siguientes expresiones:

Unidades de arcilla y concreto:  $V = 0.5 \cdot v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 \cdot P$

Unidades sílico-calcáreas:  $V = 0.35 \cdot v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 \cdot P$

Donde:

$v'm$  = resistencia característica a corte de la albañilería (ver Artículos 13 (13.8 y 13.9)).

$P_g$  = carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida.

$t$  = espesor efectivo del muro (ver Artículo 3(3.13))

$L$  = longitud total del muro (incluyendo a las columnas en el caso de muros confinados)

$\alpha$  = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V \cdot L}{M} \leq 1$$

*Donde:  $V$  es la fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico;  $M$  es el momento flector del muro obtenido del análisis elástico.” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).*

Es decir, tanto la resistencia axial como la resistencia cortante dependen sólo de las propiedades mecánicas y dimensiones del muro de albañilería. La carga axial  $P_g$  colabora un poco a la resistencia cortante pero esta a su vez es limitada por el Artículo 19.1.b). Además, cabe resaltar que el factor de esbeltez  $\alpha$  es una propiedad geométrica del muro, ya que

$M = V \cdot h$ , entonces se deduce que  $\alpha = \frac{L}{h}$ , donde  $h$  es la altura del muro.

Luego, las columnas y vigas de confinamiento de los muros de albañilería también funcionan como arriostres que generan que los muros se comporten como losas apoyadas en sus bordes cuando son sometidas a cargas perpendiculares a su plano. Entonces, en ensayos anteriormente realizados se ha notado que el refuerzo superficial ha logrado controlar la propagación de la grieta diagonal y mantener la unidad del muro además de brindar mayor resistencia y ductilidad a la albañilería misma. El refuerzo con geomallas cumpliría la misma función que la norma indica para los elementos de confinamiento y la geomalla tiene cierta ventaja sobre estos porque, al estar adherida sobre toda la superficie del ladrillo, es capaz de resistir la flexión del muro generado por las cargas perpendiculares.

Finalmente, si la geomalla es capaz de confinar al muro, entonces se podría utilizar las geomallas como un elemento estructural para un nuevo sistema constructivo de albañilería que tenga como materiales sólo a la albañilería y la geomalla sin necesidad de utilizar columnas y vigas de concreto armado para confinar. En investigaciones previas se ha descubierto que la geomalla funciona muy bien como refuerzo; sin embargo, para tener un sistema nuevo con estas características se necesita de mayor investigación en donde se estudie la interacción que existen entre el conjunto albañilería-mortero-geomalla ya que para que el refuerzo logre brindar resistencia, ductilidad y confinamiento, tanto el mortero como la geomalla deben estar adheridos al substrato de albañilería.

### 1.3 Alcance

En las técnicas para reforzar estructuras de albañilerías con geomallas se han propuesto las siguientes: 1) colocar las geomallas de manera horizontal en las juntas de mortero entre los ladrillos; 2) cubrir la superficie de los muros de albañilería con un enlucido reforzado con geomalla, y 3) confinar los muros de albañilería con el mismo enlucido reforzado; siendo las técnicas 2) y 3) en donde la adherencia del enlucido reforzado con la albañilería es fundamental para la eficiencia de la técnica (Sofronie, 2005). El estudio de esta tesis se aplica para estas dos técnicas mencionadas y, como la geomalla actúa como un refuerzo superficial, para los ensayos de adherencia estas se colocarán en la superficie lateral de los ladrillos. En los ladrillos de arcilla la cara lateral es la superficie más lisa por ende la adherencia del mortero en este caso no es similar a cuando se coloca el mortero para asentar los ladrillos. La adherencia a estudiar en esta investigación es estrictamente entre el mortero, la geomalla y la superficie del ladrillo, a pesar de que en la práctica el refuerzo superficial se coloque sobre un muro cuya superficie está constituida de dos materiales: cara del ladrillo y junta de mortero. Se considera que si la geomalla y el mortero son capaces de mantener la adherencia sobre la cara lisa del ladrillo, entonces también se podrá adherir a un muro ya que la forma y texturas de las juntas mejoran la adherencia. Sin embargo, existen investigaciones que estudian la influencia de las juntas de mortero en la adherencia con el refuerzo superficial polimérico y la influencia que tienen las juntas en el comportamiento del refuerzo cuando es sometido a tracción para estudiar la falla por desprendimiento (Carlioni & Subramaniam, 2012) & (Ghiassi et al, 2013).

De todos los ensayos mecánicos a realizar, se tendrá como resultado solo los siguientes dos parámetros físicos que se analizarán para establecer conclusiones: fuerza de falla y deformación global. El primer parámetro será el único resultado de los ensayos de control en ladrillos y cubos de mortero que servirán para interpretar la calidad de estos materiales. Tanto como el primer y segundo parámetro serán los resultados del ensayo principal de esta tesis que es el ensayo de adherencia. La intensidad de la fuerza a tracción que genera la falla del conjunto geomalla-mortero-ladrillo, sea por desprendimiento o rotura de la geomalla, es un indicador de la efectividad de la adherencia. Más aún, la relación entre la fuerza y deformación global, que es la gráfica fuerza-deformación que la máquina universal brindará como

resultado, da mayor información ya que describe el comportamiento de geomalla anclada en un ladrillo mientras es traccionada.

Por otro lado, es conocido que la mano de obra es un factor influyente en el comportamiento de los elementos de albañilería. Existen técnicas para mejorar la adherencia del mortero al ladrillo como por ejemplo, el curado de las juntas de mortero con una brocha mojada después de tres horas del asentado, durante tres días (Morante Portocarrero, 2011). No obstante, el proceso constructivo en esta investigación será el que aplique el personal técnico con experiencia en el método empírico más común utilizado en albañilería. Esto se hace porque la investigación está basada en un tipo de refuerzo superficial el cual se busca que sea eficiente y replicable para la mayoría de técnicas constructivas; es decir, que cualquier albañil con experiencia pueda instalarlo correctamente sin la necesidad de conocer alguna técnica especial. La técnica de refuerzo superficial que se usará en esta investigación es la que se ha previamente investigado en el extranjero y es la que se usa para reforzar viviendas en Perú. Este consiste en colocar la geomalla directamente sobre el muro húmedo sujetándolo con alcayatas clavadas en el muro para luego colocar el mortero a manera de tarrajeo. En la figura 1.1 se aprecia que la geomalla se coloca directamente sobre el muro previo al tarrajeo.



Figura 1.1 - *Refuerzo superficial de muro de ladrillo con geomalla biaxial (Sofronie, 2005).*

## 1.4 Antecedentes

Desde hace años, en el mundo se usa polímeros adheridos a sustratos de albañilería como refuerzo superficial de estructuras existentes para aumentar su resistencia y ductilidad. Los dos sistemas más conocidos y utilizados son los llamados, por sus siglas en inglés, FRP (Fiber-Reinforced Polymer) y FRCM (Fabric-Reinforced Cementitious Matrix). Ambos sistemas de refuerzo superficial son materiales compuestos en donde se utiliza una fibra, tela o malla polimérica embebida en una matriz adhesiva. En el caso de FRP, este consta de una resina adhesiva la cual envuelve a una tela polimérica y este conjunto es colocado sobre la superficie de un muro de albañilería el cual se desea reforzar. Este tipo de refuerzo tiene buenas propiedades mecánicas, se instala rápidamente, es ligero y se puede aplicar sobre diferentes tipos de albañilería como ladrillos de arcilla o piedra natural (Carozzi et al, 2015). Sin embargo, algunas de sus principales desventajas son su mal funcionamiento en zonas calurosas, la imposibilidad de aplicarlo sobre superficies húmedas y la carencia de permeabilidad al vapor, la cual no permite que pueda ser usado para reforzar construcciones históricas que contengan frescos en los muros (D' Ambrisi et al, 2013). Por otro lado, está el sistema de FRCM que funciona de la misma manera que el FRP, con la diferencia que en lugar de una resina se utiliza una matriz de mortero. El FRCM resulta ser una mejor alternativa de refuerzo superficial; ya que, además de brindar las mismas propiedades mecánicas del FRP, cubre las características que el FRP carece siendo algunas de las más importantes: su resistencia al calor y permeabilidad. A pesar de que las características del FRCM engloban a las de FRP, la experiencia muestra que para ambos sistemas, el colapso de los muros reforzados superficialmente ocurre cuando el refuerzo se desprende. Por consiguiente, existen códigos de diseño y construcción con estos sistemas en donde se utiliza el criterio de desprendimiento del refuerzo superficial como parámetro de diseño. Por ejemplo, en el caso de FRP existe el ACI 440.7R-10 el cual ofrece una ecuación para calcular la longitud de desarrollo del refuerzo y, en base a esto, recomienda diseñar con una longitud de anclaje en particular para prevenir el desprendimiento prematuro y asume que la falla que gobierna el sistema es el desprendimiento del FRP al sustrato de albañilería (ACI Committee 440, 2010). Esto último es asumido ya que en estudios experimentales recientes se ha notado que la falla por desprendimiento en sistemas FRP se da por el desprendimiento completo del FRP al sustrato de albañilería; en cambio, en sistemas

FRCM han ocurrido diferentes tipos de falla (Papanicolaou et al, 2007). Por consiguiente, existe el documento ACI 549.4R-13 para diseño con FRCM el cual asume para sus diseños que el modo de falla es gobernado por el FRCM, el cual falla de tres maneras posibles: por rotura a tracción del material FRCM, por desprendimiento de la fibra polimérica a la matriz de mortero o por desprendimiento del sistema FRCM al substrato de albañilería (ACI Committee 549, 2013). Estos dos ejemplos manifiestan que la falla por desprendimiento es un fenómeno que limita el diseño y que, para ello, el comportamiento de la adherencia debe ser ampliamente estudiado. Por consiguiente, en años previos se han realizado varios experimentos que consistían en adherir un trozo de refuerzo superficial al substrato de albañilería y tensionarlo para determinar la fuerza de falla, la deformación del refuerzo, el deslizamiento entre refuerzo y substrato, el tipo de falla, etc. En estos ensayos se variaron diferentes parámetros como la longitud de anclaje, el tipo de matriz, el tipo de albañilería y el tipo de fibra polimérica (Barbieri et al, 2015) & (Carozzi & Poggi, 2015).

En Perú, en 2005, se realizaron ensayos similares a los mencionados anteriormente además de otros más complejos sobre muros. Uno de los ensayos principales fueron los ensayos cíclicos de corte-compresión sobre muros simples, tarrajeados y tarrajeados-reforzados con geomalla. En los ensayos sobre los muros simples y tarrajeados se muestran en la figura 1.2 y figura 1.3 respectivamente en donde se ve que se caracterizan por tener una grieta diagonal amplia. Por otro lado, en el ensayo sobre el muro tarrajeados-reforzados con geomalla de la figura 1.4 se nota que se forman grietas finas distribuidas en casi toda la superficie del muro, lo cual demuestra que el refuerzo es capaz de mantener la integridad del muro para que este continúe resistiendo cargas verticales.



Figura 1.2 - *Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro simple (Torrealva, 2015)*



Figura 1.3 – *Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro tarrajado (Torrealva, 2015)*





Figura 1.4 – *Ensayo cíclico corte-compresión sobre muro reforzado-tarrajado (Torrealva, 2015)*

Luego, como se muestra en la figura 1.5, se nota que el tarrajeo incrementa la resistencia e incrementa sustancialmente la capacidad de deformación lateral del muro. Además, cuando se agrega la geomalla como refuerzo superficial, se incrementa mucho más la resistencia cortante del muro pero disminuye la capacidad de deformación. Entonces la clave para lograr un aumento sustancial de la resistencia es la adherencia de la geomalla para que este refuerzo absorba los esfuerzos del muro y se debe estudiar la interacción geomalla-mortero-ladrillo para encontrar un equilibrio favorable entre ductilidad y resistencia.

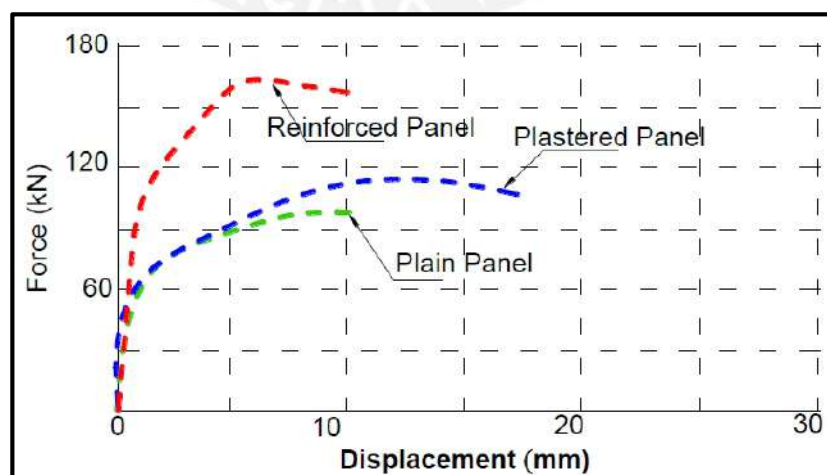


Figura 1.5 – *Diagrama fuerza-deformación lateral de los ensayos de corte/compresión (Torrealva, 2015)*

Por consiguiente, también se hicieron ensayos de adherencia en el conjunto geomalla-mortero-ladrillo. El ensayo consistía en colocar una sección de geomalla sobre un ladrillo, adherirlo con mortero y traccionar la geomalla hasta la falla. El propósito de este ensayo fue determinar la longitud de anclaje que sería necesaria para reforzar una vivienda de albañilería de arcilla artesanal por lo tanto, se utilizó un solo tipo de mortero, un solo tipo de ladrillo y un solo tipo de geomalla. Como el parámetro de estudio fue la longitud de anclaje, entonces esta fue variada para los valores de 0.05m, 0.1m y 0.15m. Para los ensayos con longitud de anclaje de 0.05m y 0.1m la geomalla tuvo un mal comportamiento, pues en algunos casos el refuerzo superficial se despegó del ladrillo. Por otro lado, para el ensayo de 0.15m, la geomalla llegó hasta la rotura sin despegarse del ladrillo. Si se define como longitud de anclaje a la longitud necesaria para lograr que el refuerzo geosintético llegue a la rotura sin desprenderse del ladrillo, entonces, para estos ensayos, 0.15m fue una longitud de anclaje satisfactoria.

### **1.5 Hipótesis**

- La longitud de anclaje de 0.15m es suficiente para que las geomallas lleguen hasta la rotura sin desprenderse del ladrillo.
- Los ladrillos pandereta tienen una mejor adherencia que los demás ladrillos, estudiados en esta investigación, debido a su superficie rugosa.
- Los especímenes en que se usaron geomallas triaxiales llegan a mayores niveles de carga de rotura que los usados con geomallas biaxial.
- Debido a la alta resistencia y rigidez de la geomalla triaxial, los especímenes en que se usaron este tipo de geomalla son más propensos a que el anclaje sea inefectivo en comparación con los especímenes con geomalla biaxial.

### **1.6 Objetivos**

Generales:

- Determinar la influencia de los diferentes tipos de mortero y substratos de albañilería en la adherencia con geomallas.

Específicos:

- Analizar el comportamiento mecánico del conjunto geomalla-mortero-ladrillo cuando la geomalla está sometida a tracción.

- Poner a prueba la hipótesis de que 0.15m de longitud de anclaje son suficientes para que la geomalla no se desprenda.
- Analizar el tipo de falla del ensayo a tracción del conjunto geomalla-mortero-ladrillo.

## 1.7 Metodología

La información necesaria para el estudio será registrada experimentalmente mediante ensayos de laboratorio. Al tratarse de ensayos de laboratorio se reproducirán fenómenos bajo condiciones ideales. De los ensayos se recopilarán parámetros físicos que representan el comportamiento del objeto de estudio. Estos datos deben ser procesados y sobre todo interpretados por los autores para darle un significado ingenieril y poder cumplir de forma cabal los objetivos de la tesis. La técnica de estudio será la medición de las variables mediante experimentos, pero al tratarse variables cuya incertidumbre es considerable, entonces una estimación de estos datos luego de la medición es también necesaria. Se ejecutarán ensayos normalizados internacionalmente y también un ensayo no estandarizado pero cuyo método es conocido.

Los datos a recopilar para el análisis son la fuerza de falla, desplazamiento global del ensayo a tracción y el tipo de falla. La metodología para lograr los objetivos son primero identificar el tipo de falla y clasificarlos. Esta clasificación permitirá identificar qué materiales son los que brindan efectividad en el anclaje y cuáles no. Segundo, se estudia la intensidad de la fuerza de falla. Los resultados de los ensayos, tanto en tipo y fuerza de falla dependen de los materiales constituyentes por lo que la comparación y análisis de los ensayos permitirán determinar la influencia de los tipos de mortero y ladrillo en la adherencia con geomallas. Ahora que ya ha sido definido el método de estudio se procede a explicar cada una de las partes metodológicas y una descripción general de los ensayos realizados.

- Ensayo de adherencia de geomalla-mortero-ladrillo:

Se harán ensayos de adherencia entre el ladrillo, el mortero y una geomalla que es usada como refuerzo superficial. Este ensayo consta en preparar dos tipos diferentes de mortero, 1:5 (cemento: arena) y 1:1:5 (cemento: cal: arena); y también cortar pedazos de los siguientes tipos de geomallas, cuyas propiedades mecánicas son brindadas por el fabricante: geomalla triaxial y biaxial. Se colocarán

los pedazos de geomalla sobre la superficie lateral en todas las unidades de albañilería con 0.15m de longitud de anclaje de la malla sobre la unidad. Esta longitud será la misma para todos los especímenes. La matriz que adhiere la geomalla a los ladrillos serán los dos tipos de morteros mencionados anteriormente. Los especímenes se mantendrán en un lugar techado en donde no le caiga la lluvia por veintiocho días. Luego serán ensayados a tracción en la máquina universal. En esta tesis se ejecutarán los ensayos de adherencia con los mismos instrumentos y máquinas utilizadas en el ensayo de adherencia de 2005 que se muestra en la figura 1.6.



Figura 1.6 – Dispositivo utilizado para el ensayo de adherencia (Torrealva, 2015)

- Ensayo de compresión en unidades de albañilería:

Se harán ensayos para determinar la resistencia a compresión de las unidades de albañilería. Se ensayarán tres especímenes por cada tipo de unidad lo que da un total de nueve ensayos de compresión. Los tipos de ladrillos que serán ensayados son dos de arcilla y uno de concreto: ladrillo King Kong, ladrillo pandereta y ladrillo de concreto. El ensayo se realizará según los métodos estandarizados ASTM C67 con su equivalente peruano NTP 399.613 para los ladrillos de arcilla

y según los métodos estandarizados ASTM C140 con su equivalente peruano NTP 339.604.2002 para los ladrillos de concreto.

- Ensayos de compresión en cubos de mortero:

Se harán un ensayo para controlar la calidad del mortero utilizado en el ensayo de adherencia. El ensayo se hará según lo indicado en la ASTM C780 – 02 cuyo equivalente peruano es la NTP 399.622 2006. Se ensayarán cinco cubos por cada tipo de mortero los cuales dan diez ensayos en total.

- Ensayo de succión y medición de dimensiones:

Se utilizarán los instrumentos de medición, bandeja de agua para el ensayo de succión y horno de LEADI. Para el ensayo de succión se usarán tres ladrillos por cada tipo lo que da un total de nueve ladrillos. Los ensayos de succión se harán según lo indicado en la ASTM C67. La propiedad de succión de los ladrillos afecta directamente en la adherencia que tiene con el mortero. Este ensayo es normalmente realizado en la cara de asiento de los ladrillos ya que es sobre este en donde se coloca el mortero cuando se construye un muro; sin embargo, debido a la naturaleza de esta investigación, sólo se evaluará la succión de la superficie lateral de los ladrillos.

## CAPÍTULO 2: MATERIALES Y PROPIEDADES

Los materiales a emplear en este estudio experimental de la adherencia son tres: unidades de albañilería, morteros y geomallas. En el presente capítulo, se describirán estos materiales y sus principales propiedades.

### 2.1 Unidades de albañilería

El ladrillo es un material que está presente en todo tipo de construcción. Por su materia prima, las unidades de albañilería pueden ser de arcilla, concreto y concreto con mezcla de sílice-cal (Gallegos & Casabonne, 2005). En la presente investigación, se empleó unidades de arcilla y concreto.

#### 2.1.1 Unidades de arcilla:

La arcilla con la cual se fabrican estas unidades se clasifica en calcárea, cuando contiene carbonato de calcio y brinda el color amarillento de la unidad, y no calcárea cuando contiene silicato de alúmina con óxido de hierro, el cual brinda un tono rojizo. Una buena arcilla contiene arena, pues este componente reduce los efectos de contracción durante el secado (San Bartolomé, Quiun, & Silva, 2011)

Las unidades de arcilla que se emplearán para la preparación de los especímenes son:

- Ladrillo pandereta: En el mercado hay dos presentaciones que son liso y rayado. La única diferencia entre estas dos es la superficie. El ladrillo pandereta que será utilizado en esta tesis es el rayado el cual se muestra en la figura 2.1 y sus características comerciales se muestran en la tabla 2.1.



Figura 2.1 - Ladrillo *pandereta*

Tabla 2.1 - Características comerciales de ladrillo pandereta

Dimensiones	Largo	23 cm
	Ancho	11 cm
	Alto	9 cm
Clasificación	Unidad tubular	
Absorción	< 18%	
Resistencia	> 25 kg/cm <sup>2</sup>	
Peso	2.2 kg	

- Ladrillo King Kong 18: Existen dos tipos de este ladrillo en el mercado los cuales se diferencian por el porcentaje de vacíos: El King Kong hueco con más de 30% de vacíos y el King Kong sólido con menos del 30% de vacíos. El sólido es conocido como ladrillo INFES (Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y de Salud) porque es el único ladrillo de arcilla que puede ser usado con fines estructurales en construcciones del estado como colegios y hospitales. Los ladrillos INFES, por tener menor porcentaje de vacíos, cuenta con mayor resistencia a compresión. Este tipo de ladrillo King Kong es el que será utilizado en esta investigación. Una imagen de este se muestra en la figura. 2.2 y sus características comerciales se muestra en la tabla 2.2.

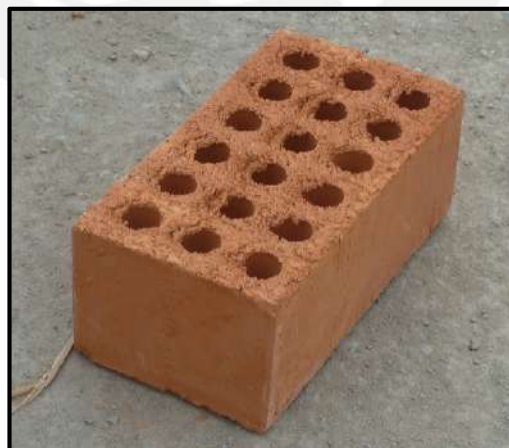


Figura 2.2 - Ladrillo industrial King Kong sólido de 18 huecos

Tabla 2.2 - Características comerciales de Ladrillo King Kong 18 huecos

Dimensiones	Largo	24 cm.
	Ancho	13 cm.
	Alto	9 cm.
Clasificación	Unidad sólida	
Absorción	< 11%	
Resistencia	> 162 kg/cm <sup>2</sup>	
Densidad	> 2000kg/m <sup>3</sup>	
Peso	3.6 kg.	

### 2.1.2 Unidades de concreto

Las unidades de concreto están constituidas por cemento, agregados graduados y agua. Se pueden clasificar por sus dimensiones en ladrillo o bloque, además de que también pueden ser sólidos o huecos. Una de las características más importantes de las unidades de concreto es que son dosificadas y con esto se puede obtener diferentes resistencias a compresión en un mismo tipo de unidad (Gallegos & Casabonne, 2005). La unidad de concreto que se empleará para la elaboración de los especímenes es provista por UNICON y se denomina ®Kingkoncreto y se muestra en la figura 2.3. Las características comerciales de la unidad de concreto se muestra en la Tabla 2.3.



Figura 2.3 – Unidad ®Kingkoncreto



Tabla 2.3 – Características comerciales de la unidad de concreto

Dimensiones	Largo	24 cm
	Ancho	13 cm
	Alto	9 cm
Clasificación	Unidad sólida	
Absorción	< 8%	
Resistencia	> 180 kg/cm <sup>2</sup>	
Densidad	> 2100kg/m <sup>3</sup>	
Peso	4.5 kg.	

### Propiedades físicas y mecánicas:

Las unidades de albañilería se someten a ensayos los cuales brindan información de sus propiedades, a algunas de estas propiedades se les denomina clasificatorias, pues determina si una unidad califica para cierto uso o función.

- Pruebas clasificatorias: las propiedades que no se pueden controlar en obra, por ejemplo la resistencia a compresión que es una propiedad de diseño de fábrica en donde se hacen los ladrillos. En la tabla 2.4 se muestra los requisitos para la clasificación de las unidades de albañilería con fines estructurales.
  - Variación dimensional: Esta prueba determina el espesor de la junta de albañilería a colocar. El espesor de junta mínima es 10 mm a colocar y por cada incremento de 3mm en esta junta la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en 15%, del mismo modo disminuye la resistencia al corte. Usualmente las dimensiones comerciales de las unidades incluyen el espesor de junta mínimo.
  - Alabeo: Esta prueba se determina la concavidad o convexidad de la unidad, el alabeo influye también el espesor de la junta.
  - Resistencia a la compresión: Esta propiedad expresa la calidad de las unidades, por ejemplo a mayor resistencia a la compresión la unidad tendrá mayor densidad y, por consiguiente una mayor durabilidad.

Tabla 2.4 - Clase de unidad de albañilería para fines estructurales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

Clase	Variación de la dimensión (máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a compresión
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	más 150 mm		f'b mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4.9 (50)
Ladrillo II	±7	±6	±4	8	6.9 (70)
Ladrillo III	±5	±4	±3	6	9.3 (95)
Ladrillo IV	±4	±3	±2	4	12.7 (130)
Ladrillo V	±3	±2	±1	2	17.6 (180)
Bloque P	±4	±3	±2	4	4.9 (50)
Bloque NP	±7	±6	±4	8	2.0 (20)

- Pruebas no clasificatorias: las propiedades que se pueden controlar en obra, por ejemplo, el grado de succión de un ladrillo se controla mediante tratamiento de humedecimiento de la unidad.
  - Succión: Propiedad fundamental para que se logre la adherencia mortero-unidad, pues es la rapidez con la cual el ladrillo absorbe agua del mortero. La norma E.070 propone que lo ideal para construcción de muros es que la succión de las unidades debe oscilar entre los 10g a 20g por minuto en un área de 200 cm<sup>2</sup>.
  - Absorción: La absorción indica la capacidad de captar agua de agentes externos en condiciones ambientales, la cual no debe ser muy elevada, pues una absorción elevada, mayor a 22% (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006), indica que es una unidad porosa y por tanto de baja resistencia y durabilidad.
  - Resistencia a la tracción por flexión: Al igual que la resistencia a la compresión esta prueba solo muestra en gran medida la calidad de la unidad de albañilería que se está empleando. Se recomienda realizar esta prueba cuando se pretenda utilizar ladrillos de mismo tipo pero de diferentes fábricas (San Bartolomé et al., 2011).

## 2.2 Morteros

El mortero es un material compuesto por cemento, arena gruesa y agua, aunque, opcionalmente, puede contener cal hidratada. Las funciones de los componentes del mortero son las siguientes: El cemento brinda la resistencia a la mezcla, la cal proporciona retentividad de agua y por consiguiente provee trabajabilidad, finalmente la arena brinda estabilidad volumétrica al mortero (San Bartolomé et al., 2011).

La capacidad adhesiva del morteros proporcionada por el cemento y esta se logra cuando "los solubles del cemento, la etringita, son absorbidos por la unidad de albañilería cristalizándose como agujas en sus poros" (San Bartolomé Á. F., 1994)

En esta investigación se utilizarán dos tipos de mortero. El primer tipo es un mortero cuyos componentes son cemento y arena en relación 1: 5 respectivamente, el segundo tipo es un mortero cuyos componentes con cemento, cal y arena en relación 1: 1: 5.

Las principales propiedades de los morteros son las siguientes, las mismas que son mejoradas por la adición de cal en la dosificación. Estudios realizados por la Mortar Industry Association mencionados en sus documentos de data sheets muestran las siguientes propiedades del mortero con cal:

- Plasticidad: esta propiedad se relaciona directamente con la trabajabilidad, los morteros con cal tiene mayor capacidad de retener agua por ello mejor plasticidad.
- Hidrofugante: una sustancia hidrofugante es aquella que evita la humedad o las filtraciones y la cal es considerada como el mejor hidrofugante natural.
- Deformable: los morteros con cal ofrecen mejor comportamiento deformable sin agrietarse ante los cambios bruscos de temperatura.
- Durabilidad: los morteros con cal al ser hidrofugante, reducen la penetración de agua y minimizan los efectos perjudiciales de las heladas.
- Adherencia: la cal mejora la adherencia del mortero (Mortar Industry Association, 2004).

Pero por otro lado el uso de cal en las mezclas de mortero reducen su resistencia a la compresión (San Bartolomé et al., 2011). Además, la experiencia demuestra que la resistencia a compresión de un mortero con cemento, cal y arena versus otro mortero

tradicional de cemento y arena son prácticamente iguales, siendo la resistencia del mortero tradicional ligeramente mayor. Esto ocurre porque, además del cemento, la arena es el principal elemento que ofrece resistencia a compresión, en cambio la cal funciona mayormente como un aglomerante. Entonces, en un volumen de mortero con cal la arena ocupa menos espacio que ocuparía en un motero tradicional y así reduce sus propiedades resistentes. Sin embargo, el mortero con cal tiene ventaja sobre el tradicional en algunas situaciones ya que ofrece prácticamente la misma resistencia con una mejor adherencia que es una propiedad importante para el buen desempeño sísmico de un muro. Para esta investigación se evalúa la adherencia, el mortero con cal puede tener cierta ventaja sobre el mortero tradicional con arena.

Para la elaboración de mortero se emplearon los siguientes materiales:

- Cemento: se emplea el cemento Portland tipo I, el cual es normalizado. El peso volumétrico del cemento lo indica el fabricante; para este caso se utilizó una bolsa de cemento de 42.5kg con peso volumétrico de  $1500\text{kg/m}^3$ .
- Arena gruesa: se emplea arena gruesa de granos redondeados que debe estar bien graduada, debe cumplir la norma ASTM D-75, lo cual ayuda a que el mortero que es hecho con arena estandarizada sea denso y resista a la intemperie.
- Cal de obra: en esta investigación se usa cal de obra que es la cal más simple y ampliamente utilizada en albañilería.
- Agua: el agua debe estar limpia y en ningún caso debe contener restos orgánicos o sustancias deletéreas

### 2.3 Geosintético

Según la Norma ASTM D4439 el geosintético se define como “un producto planar manufacturado de material polimérico usado en contacto con suelos, rocas, tierra, u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, al mismo tiempo que forma parte integral de un proyecto hecho por el hombre” (ASTM International, 2015).

Es un producto versátil que se puede emplear en distintas áreas de la ingeniería civil, se caracteriza por trabajar en contacto directo con el suelo, aunque es esta

investigación se empleará de una manera distinta, como reforzamiento superficial de muros de albañilería, y tendrán como función de absorber los esfuerzos de tracción que recibe el muro, pues la albañilería es un material frágil (Alza Vilela, 2013).

Existen diversos tipos de geosintéticos según la función primaria o principal para la cual se va a utilizar. En la tabla 2.5, se observa los diferentes geosintéticos y sus respectivas funciones, en el caso de este estudio la función primaria es de reforzamiento superficial de muros de albañilería, por ello, el más adecuado para esta función es la geomalla.

Tabla 2.5 - Usos de los geosintéticos según su función primaria. Adaptado y traducido de (Koerner, 2012)

Tipos de Geosintéticos	Función Primaria				
	Separación	Refuerzo	Filtración	Drenaje	Contención
Geotextil	✓	✓	✓	✓	
Geomalla		✓			
Geonet				✓	
Geo membrana					✓
Revestimiento Geosintético de Arcilla					✓
Geodren				✓	
Geoespuma	✓				
Geocompuesto	✓	✓	✓	✓	✓

### 2.3.1 Geomallas

La geomalla es un material geosintético que consiste en juegos de costillas paralelas conectadas con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante (Koerner, 2012). El tamaño de las aberturas oscila entre 0.01m y 0.1m, estas aberturas forman tiras o costillas de la geomalla. La orientación de estas costillas depende del tamaño y forma de las aberturas y, en base a esto, en el mercado se encuentran tres tipos de geomallas.

- Uniaxial: se caracteriza por proporción de su dimensión longitudinal entre la dimensión transversal, que generalmente es de 15:1 (ver figura 2.4). La resistencia de este material alargado es mucho mayor que el material no deformado inicial. Estas geomallas son utilizadas para reforzar elementos

los cuales serán sometidas a tracción en una sola dirección, entonces se colocan las costillas paralelas a la fuerza de tracción.



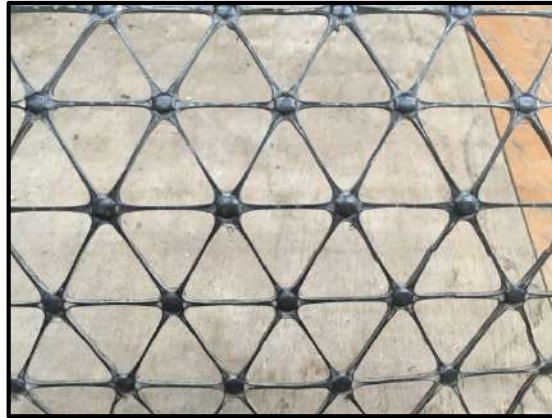
Figura 2.4 - *Geomalla uniaxial*

- Biaxial: se caracteriza por tener aberturas casi cuadradas o rectangulares, esta geometría aumenta la resistencia en las dos direcciones (ver figura 2.5). Estas geomallas se usan para reforzar elementos los cuales estarán sometidos a tracción biaxial.



Figura. 2.5 - *Geomalla biaxial BX-4100*

- Triaxial: se caracteriza por tener aberturas de forma triángulo equilátero, ésta geometría aumenta la resistencia en tres direcciones, desfasadas  $60^\circ$ , lo que permite una mejor distribución de esfuerzos y por ende mayor resistencia global (ver figura 2.6). Estas geomallas se utilizan para reforzar elementos que están sometidos a tracción biaxial pero que las cargas son altas.



*Figura 2.6 - Geomalla triaxial TX-160*

Los esfuerzos de tracción producidos sobre un muro durante un sismo cuando la dirección de este es perpendicular al plano del muro son esfuerzos biaxiales. Esto ocurre porque cuando las cargas son perpendiculares al plano el muro se comporta como una losa en dos direcciones. Por consiguiente, los tipos de geomallas más conveniente para refuerzo superficial son la biaxial y triaxial los cuales serán utilizados en esta investigación.

Las geomallas que se usaron para esta investigación son las siguientes:

- Geomalla biaxial BX-4100: la figura 2.5 muestra este tipo de geomalla. Las resistencias a la tensión última se muestran a continuación
  - Tensión última longitudinal: 12.8 kN/m
  - Tensión última transversal: 13.5 kN/m

Las propiedades físicas y mecánicas están adjuntadas como anexo 1. De ésta se obtienen los valores de la fuerza de tensión última de la geomalla biaxial

- Geomalla triaxial TRIAX-160: la figura 2.6 muestra este tipo de geomalla. Las resistencias a la tensión última se muestran a continuación
  - Tensión última longitudinal: 30.9 kN/m
  - Tensión última transversal: 25.4 kN/m

Las propiedades físicas y mecánicas están adjuntadas como anexos 1 y 2. En el anexo 2, no figura la resistencia última a tracción de la geomalla triaxial. El anexo 3 muestra cómo se calcula la resistencia última de la geomalla triaxial a partir de ensayos de costillas individuales.

Estos valores de resistencia última a la tensión están por metro de ancho de geomalla

### 2.3.2 Propiedades físicas y mecánicas

Propiedades físicas: estas propiedades pueden ser determinadas fácilmente con mediciones directas en laboratorio con instrumentos calibrados. Entre las propiedades más importantes tenemos las siguientes:

- Distribución de costillas: esta propiedad se puede clasificar tanto física como mecánica y consiste en clasificarla por la dirección en que están orientadas las costillas como unidireccional, bidireccional o triaxial.
- Tamaño de abertura: es el espacio de separación entre costillas.
- Espesor: el espesor es la dimensión de la costilla, tanto en el plano como perpendicular a este.
- Masa por unidad de área: una de las propiedades que interesan es la masa por unidad de área, que oscila de  $200\text{g/m}^2$  a  $1000\text{g/m}^2$ , esta propiedad es muy importante para la determinación de costos (Koerner, 2012).
- Porcentaje de área abierta: se denomina al porcentaje de vacíos que tiene la geomalla en un área predefinida esta oscila entre 40% y 95%.
- Densidad: la densidad o gravedad específica se mide según la norma ASTM D 792, depende del polímero base que se esté utilizando para la fabricación de la malla por ejemplo:
  - o Polipropileno de alta densidad HDPE o polipropileno PP corresponde una gravedad específica menos que la unidad.
  - o Polipropileno de alta tenacidad PET corresponde una gravedad específica mayor que la unidad.

Propiedades mecánicas:

- Resistencia de la costilla simple y junta: el ensayo de costilla simple consiste en medir la resistencia a la tensión de una costilla de la geomalla, esta prueba se ensaya con una tasa constante de elongación o deformación, tal como describe la norma ASTM D 6637. El método de ensayo de la junta o nodo aislado (ver Figura 2.7) se realiza afijando el espécimen con grapas, y el resultado que se obtiene al ser una resistencia es fuerza. Con estas dos resistencias es posible calcular una eficiencia que puede variar de 7% a 100% (Koerner, 2012).



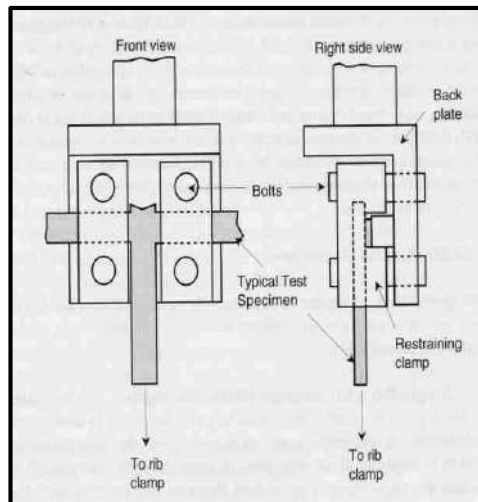


Figura 2.7 - El método de ensayo de la junta (Koerner, 2012).

- Resistencia al anclaje: es una propiedad intrínseca de las geomallas. Este comportamiento se debe a la abertura de la geomalla, la cual permite la trabazón mecánica del suelo de un lado al otro. Para que exista dicha trabazón se debe asegurar que el suelo sea más pequeño que la abertura de la geomalla. (Koerner, 2012).
- Trabazón mecánica: es una propiedad que influye en la investigación de esta tesis. De la misma manera que el suelo se introduce en las aberturas de la geomalla y forma, el trabazón entre ambos materiales, el mortero se introducirá en la malla, adherirá el ladrillo e impedirá que la geomalla se desprenda al momento de ser traccionada.

## CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LOS ENSAYOS

### 3.1 Cronograma de laboratorio

En la tabla 3.1, se muestran las fechas de elaboración de especímenes y ensayos de los mismos en el Laboratorio de Estructuras PUCP.

Tabla 3.1 – Programación de preparación y ejecución de ensayos en el Laboratorio de Estructuras PUCP

ACTIVIDAD	FECHA
Medición de unidades de albañilería	29/09/2015
1° Preparación de especímenes ladrillo-geomalla-mortero	15/09/2015 -16/09/2015
2° Preparación de especímenes ladrillo-geomalla-mortero	27/09/2016
Preparación de cubos de mortero 5x5x5 cm	15/09/2015 - 16/09/2015
Ensayos de compresión (9 unidades)	02/10/2015
Ensayos de Absorción (9 unidades)	06/10/2015
1° Ensayos de Especímenes (36 unidades)	15/10/2015 - 16/10/2015
2° Ensayos de Especímenes (08 unidades)	02/11/2016
Ensayos de cubos de mortero (10 unidades)	16/10/2015

### 3.2 Ensayos de control de materiales

Los ensayos de control se realizaron en las unidades de albañilería y el mortero, pues son los componentes que presentan más variabilidad a diferencia de las geomallas, que son un producto con mayor control durante la fabricación.

#### 3.2.1 Unidades de albañilería

En este ensayo se prepararon 3 unidades por cada tipo, es decir 9 ladrillos en total y se realizó esta prueba siguiendo los pasos de la NTP 133.613.

### Succión:

Los pasos a seguir para el ensayo de succión fueron los siguientes:

- i. Se secan los ladrillos en un horno a temperatura controlada ( $110^{\circ}\text{C}$  a  $115^{\circ}\text{C}$ ) por ni menos de 24 horas (ver figura 3.1)
- ii. Se enfrían los ladrillos lo ladrillos a temperatura ambiente ( $24 \pm 8^{\circ}\text{C}$ ) y con una humedad entre 30% y 90 % por no menos de 4 horas
- iii. Se toman medidas y se pesan lo ladrillos
- iv. Se colocan las unidades sobre unos soportes de metal, se vierte agua a la bandeja hasta una altura de  $3\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$  sobre la altura de los soportes. la unidad estará en contacto con la película de agua por  $1 \text{ minuto} \pm 1$  segundo (en la figura 3.2 (a.), (b.) y (c.) se muestra la prueba succión a los diferentes tipos de ladrillos), una vez pasado el tiempo, se retira el ladrillo y se seca el agua superficial con un trapo húmedo, el espécimen debe ser pesado dentro de los 2 minutos posteriores.



Figura 3.1 - *Secado de unidades de albañilería en un horno de temperatura controlada*



(a.)



(b.)



(c.)

Figura 3.2 – Prueba de succión en diferentes tipos de ladrillos (a.) pandereta, (b.) concreto y (c.) King Kong

### Resistencia a la compresión:

Los pasos a seguir para el ensayo de compresión fueron los siguientes:

- i. Se secan los ladrillos en un horno a temperatura controlada ( $110^{\circ}\text{C}$  a  $115^{\circ}\text{C}$ ) por ni menos de 24 horas
- ii. Se enfrían los ladrillos a temperatura ambiente ( $24 \pm 8^{\circ}\text{C}$ ) y con una humedad mayor que 80 % por no menos de 4 horas
- iii. Se toman medidas y se pesó lo ladrillos
- iv. Se colocan *capping* a ambas superficies , tanto la superficie de apoyo como en donde se aplicará la carga de compresión (ver figura 3.3)
- v. Se centran los ladrillos al eje de aplicación de carga , la cual es aplicada en dos tiempos : la primera , es a una velocidad conveniente hasta llegar a la mitad de la carga máxima esperada , la segunda a una velocidad tal que llegue a la carga de rotura en no menos de un minuto , ni más de dos minutos.

Los ladrillos pandereta, al soportar una carga baja de aproximadamente 150 KN, fueron ensayados en la maquina universal (ver figura 3.4 (a.)), que es más sensible que la prensa hidráulica en donde se ensayan los ladrillos concreto (ver figura 3.4 (b.)) y King Kong (ver figura 3.4 (c.)), las cuales soportan cargas altas de aproximadamente 600 KN.



Figura 3.3 – *Capping en los ladrillos pandereta*



(a.)



(b.)



(c.)

Figura 3.4 – *Ensayo de compresión simple en diferentes tipos de ladrillo (a.) pandereta (b.) concreto y (c.) King Kong. El equipo utilizado en (a.) la maquina universal MTS; en (b.) y (c.) fue la prensa hidráulica ELE.*

### 3.2.2 Mortero

#### Resistencia a la compresión de cubos de mortero:

Para este ensayo se prepararon 5 cubitos de mortero por cada tipo de dosificación, es decir en total 10 muestras de mortero. Los pasos a seguir para el ensayo de compresión sobre cubos de mortero fueron los siguientes:

- i. Se prepara los moldes y colocó su respectivo desmoldante (figura 3.5 (a.)).
- ii. Se coloca el mortero hasta la mitad del molde y con un pistón plástico se compacta con 16 golpes los cuales se distribuyen de la siguiente manera 8 en una dirección repartidos en la superficie y los otros 8 en dirección perpendicular, e igualmente repartidos en toda la superficie (figura 3.5 (b.))
- iii. Se coloca otra capa de mortero hasta llenarlo y se compacta de la misma manera que la primera capa, en total son 32 golpes.
- iv. Se enrasa la superficie con respecto al borde superior de dicho molde

Después de 24 horas se retiró los cubos de sus moldes y se colocaron en un recipiente con agua, a este paso se le conoce como curado y permanecen ahí por 28 días. (Ver figura 3.5 (c.))



(a.)



(b.)



(c.)

Figura 3.5 – *Elaboración de especímenes de mortero (a.) moldes en donde se coloca el mortero fresco (b.) manera de compactar el mortero en el molde y (c.) testigos de mortero luego de 28 días de curado*

Estos testigos de mortero se colocaron y alinearon en la maquina universal (ver figura 3.6 (a.)), teniendo en cuenta que la superficie de apoyo de la carga es la cara vertical del mismo cuando estuvo en el molde. En la figura 3.6 (b.) se muestra los especímenes de mortero ensayados.



(a.)



(b.)

Figura 3.6 – *Ensayo de compresión de mortero (a.) Colocación de espécimen de mortero en la maquina universal (b.) Cubitos de mortero luego del ensayo en la maquina universal*

### **Adherencia de geomallas**

El diseño de los especímenes para determinar la adherencia con geomallas se realizó según los ensayos realizados en el 2005 por el Ing. Daniel Torrealva. Dichos ensayos fueron hechos con ladrillos artesanales cuyas dimensiones fueron 0.22m de largo, 0.105m de ancho y 0.068m de alto (ver figura 3.7), y tuvo un dispositivo de soporte adaptado para estas dimensiones. El dispositivo de soporte (ver figura 3.8 (a.) y figura 3.8 (b.)) muestra las dimensiones máximas que puede tener el espécimen que son de largo 0.235m y ancho 0.145m, además, teniendo en cuenta que la geomalla deberá quedar a misma altura que el soporte donde se aplicará la carga y que el refuerzo superficial se coloca al ras del ladrillo se obtiene una altura máxima de ladrillo de 0.07m. El ensayo consiste en traccionar al conjunto geomalla-mortero-ladrillo hasta agotar la capacidad resistente del sistema.

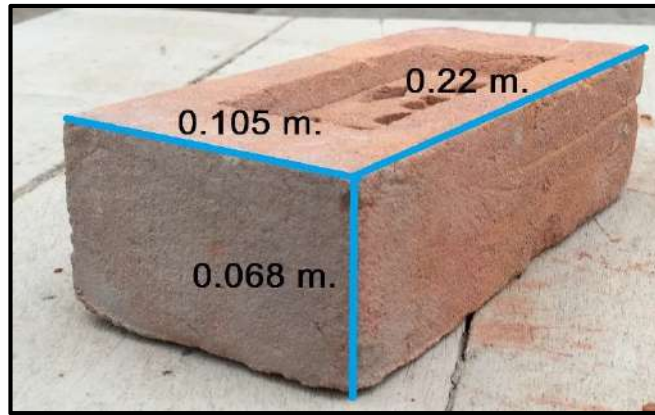
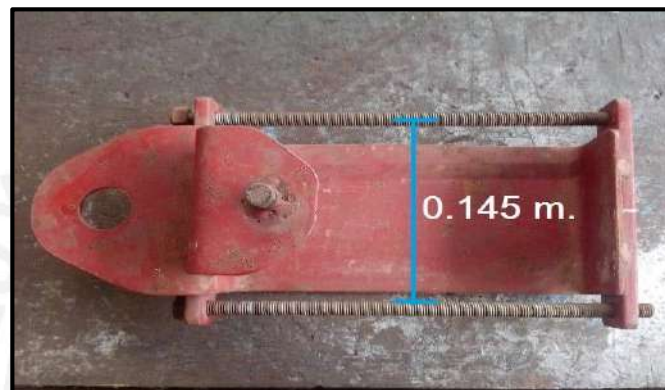
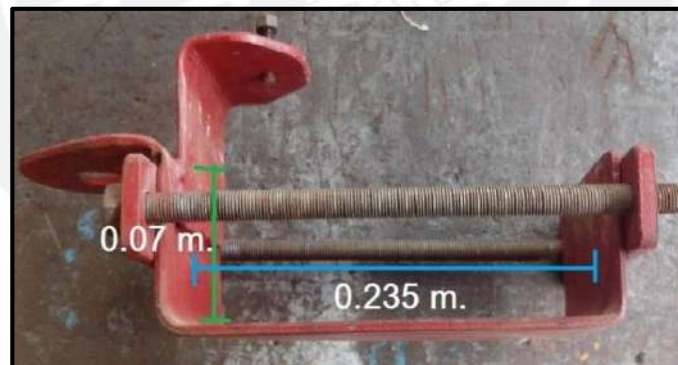


Figura 3.7 – Dimensiones de ladrillos artesanales



(a.)



(b.)

Figura 3.8 – Dimensiones del dispositivo de soporte base (a.) ancho y (b.) largo y alto

Para la preparación de los especímenes se tuvieron que adaptar los tres tipos de ladrillos: King Kong 18 huecos macizo, pandereta y concreto para que puedan calzar en el dispositivo de soporte.



La velocidad de ensayo de tracción, tanto en los ensayos del 2005 como en los de esta tesis y como hechos previamente en costillas de geomallas, fue de 10mm/min. Es conocido que los resultados de los ensayos a tracción en especímenes plásticos varían en función a la velocidad de ensayo; por ende, la norma ASTM D6637 para determinar las propiedades a tracción de las geomallas considera a la velocidad de ensayo como una variable más dentro de los cálculos y no establece una velocidad estándar. Por otro lado, la norma de ensayos para determinar las propiedades a tracción de los plásticos es la ASTM D638 y en la Figura 1 de dicha norma (ver figura 3.9 de esta tesis), se proponen cinco tipos de especímenes con los que se puede ensayar a tracción. El espécimen tipo V tiene un ancho de ensayo de 3.18mm similar al ancho de las costillas de las geomallas utilizadas; por ende, estas geomallas se pueden clasificar como espécimen tipo V. Además, la Tabla 1 de la norma ASTM D638 (ver figura 3.10 de esta tesis) propone que el espécimen tipo V sea ensayado con la menor velocidad que produzca la rotura dentro de ½ minutos y 5 minutos de comenzado el ensayo para las siguientes cuatro alternativas de velocidades: 1, 10, 100 y 500 mm/min. La velocidad de ensayo en costillas de geomalla fue de 10mm/min y la mínima deformación que ocurrió hasta la rotura en los ensayos fue de 11.1mm; es decir, 1.11 minutos de ensayo. Por ende, considerando que el tiempo de rotura es inversamente proporcional a la velocidad de ensayo, para 1mm/min la falla demoraría 11.1 minutos, mayor al tiempo recomendado por la norma ASTM D638.

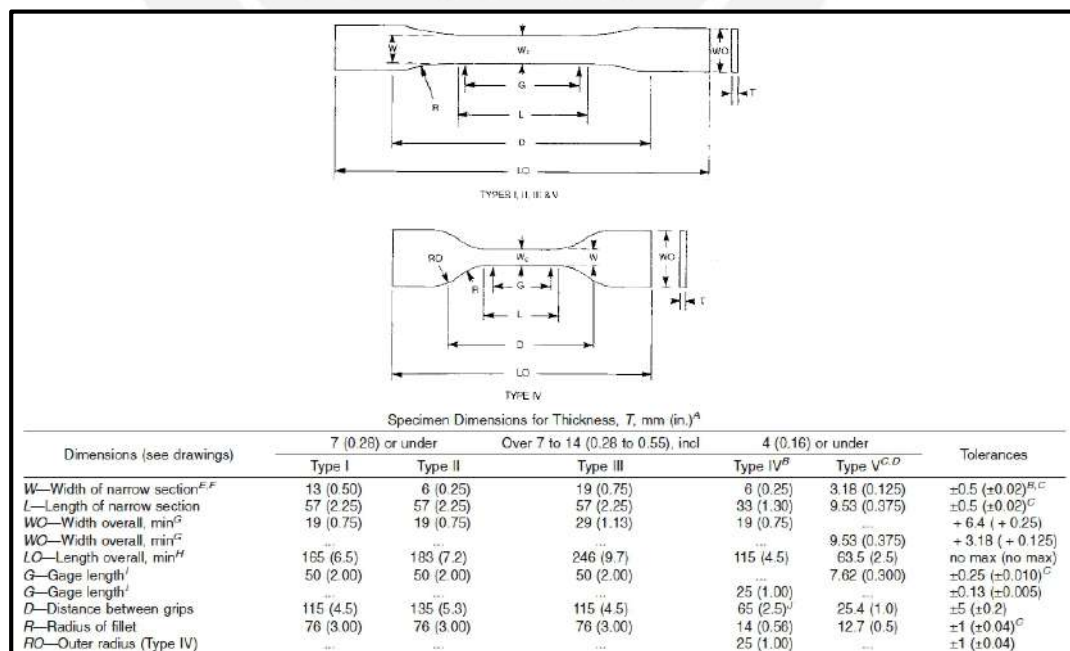


Figura 3.9 – Especímenes para ensayos de tracción en plásticos (ASTM International, 2014)

Classification <sup>B</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain <sup>C</sup> Rate at Start of Test, mm/mm·min (in./in·min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
Nonrigid	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
	III	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
		500 (20) ± 10 %	15

<sup>A</sup> Select the lowest speed that produces rupture in ½ to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).  
<sup>B</sup> See Terminology D883 for definitions.  
<sup>C</sup> The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

Figura 3.10 – Elección de velocidad de ensayo (ASTM International, 2014)

### 3.3.1 Preparación de especímenes y equipos

Se tienen las siguientes dimensiones de los ladrillos y se sombrea la parte sobre la cual se colocará la geomalla.

La figura 3.11 muestra el ladrillo de concreto, el cual se ensayará de canto, por ello tiene un largo de 0.23m, de ancho 0.09m y de altura 0.13m, por lo que necesita un corte en la altura de 0.065m para así poder entrar al soporte.

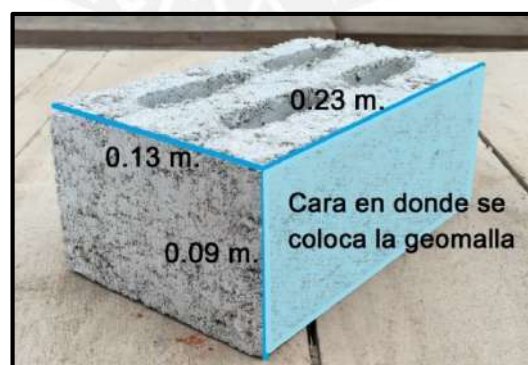


Figura 3.11 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo de concreto

La figura 3.12 muestra el ladrillo de macizo, el cual se ensayará de canto, por ello tiene un largo de 0.24m, de ancho 0.09m y de altura 0.13m, por lo que necesita dos cortes: uno en la altura de 0.065m y uno de alto a 0.23m.

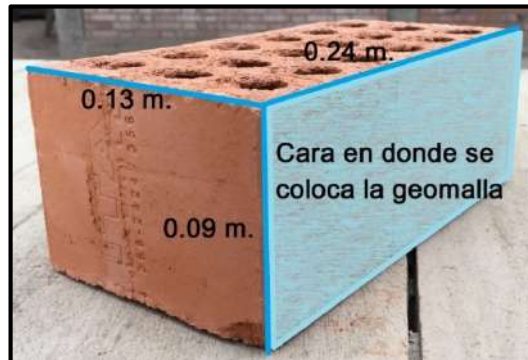


Figura 3.12 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo King Kong

La figura 3.13 muestra el ladrillo pandereta, el cual se ensayará de soga, por ello tiene un largo de 0.23m, de ancho 0.11m y de altura 0.09m, por lo que necesita un corte en la altura, y por practicidad, de 0.045m.

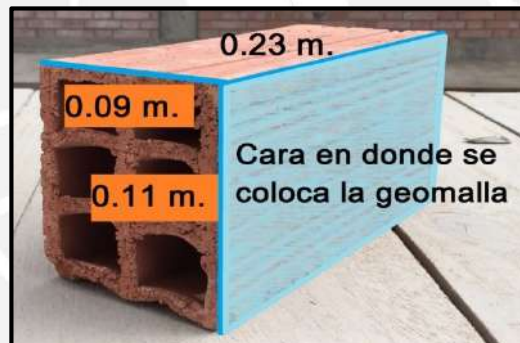


Figura 3.13 – Dimensiones y ubicación de geomalla en el ladrillo pandereta

Dadas las dimensiones comerciales y una vez definida la cara en donde se colocará la geomalla por constructabilidad, se decidió cortar las unidades a aproximadamente 6.5cm del borde en donde se colocará el refuerzo superficial. A continuación, se muestra dichos cortes tanto en planos como la unidad cortada.

- Ladrillo de concreto: En la figura 3.14 (a) se muestra las dimensiones del corte que es necesaria realizar este ladrillo para que encaje en el dispositivo de apoyo, además de muestra como luce el ladrillo de concreto luego del corte (ver figura 3.14 (b.))

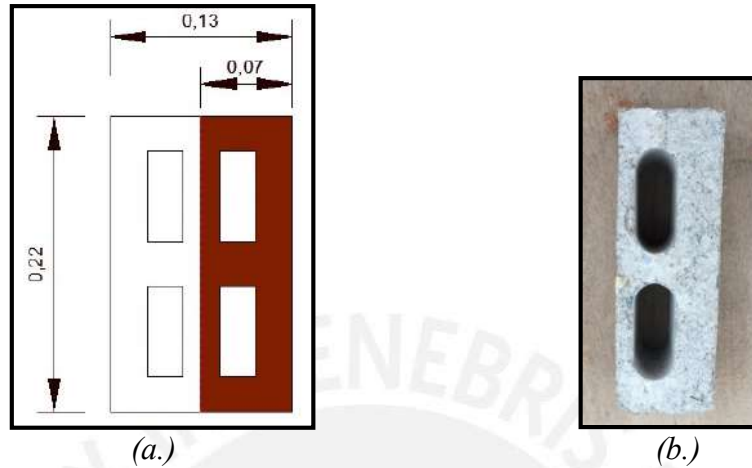


Figura 3.14 – Ladrillo de concreto (a.) Plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado

- Ladrillo King Kong: En la figura 3.15 (a.) se muestra las dimensiones del corte que es necesaria realizar este ladrillo para que encaje en el dispositivo de apoyo, además de muestra como luce el ladrillo King Kong luego de los dos cortes. (ver figura 3.15 (b.))

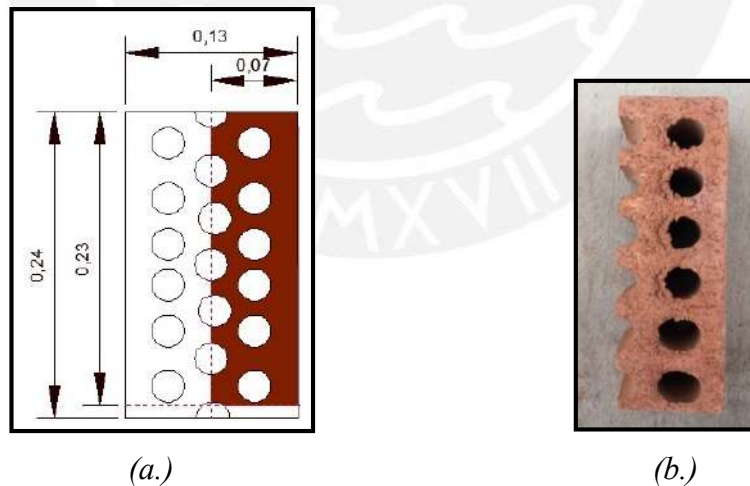


Figura 3.15 – Ladrillo de King Kong (a.) plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado

- Ladrillo pandereta: En la figura 3.16 (a.) se muestra las dimensiones del corte que es necesaria realizar este ladrillo para que encaje en el dispositivo de apoyo, además de muestra como luce el ladrillo pandereta luego del corte. (ver figura 3.16 (b.))

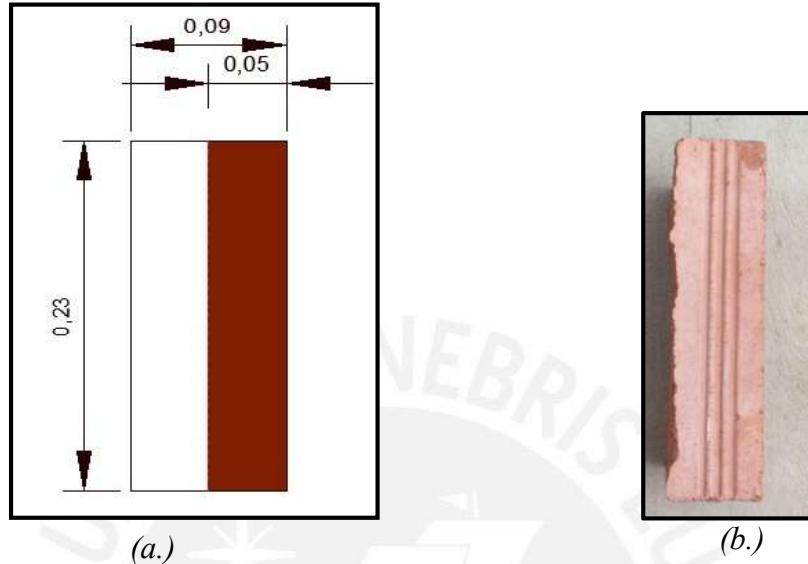


Figura 3.16 – Ladrillo de pandereta (a.) plano con dimensiones de corte (b.) vista de la unidad luego de ser cortado

Las geomallas biaxial y triaxial se cortaron siguiendo la siguiente forma en la cual se distinguen dos secciones:

- La sección de anclaje es la que tiene medidas 0.09m. x 0.15m. La medida de 0.09m. se determinó pues es el ancho de ladrillo más pequeño y el 0.15m. es la longitud de anclaje recomendada (Torrealva, 2005).
- La sección variable se diseñó de esa geometría, pues así se asegura que falle en la interfaz (cambio de sección variable a sección de anclaje) y no en los ganchos en donde se aplica la carga. El ancho de los ganchos es de 0.22m.

En la figura 3.17 (a.) y 3.17 (b.) muestra las dimensiones de los cortes de la geomalla en un plano, y en la figura 3.17 (c.) y 3.17 (d.) muestra la geomalla cortada.

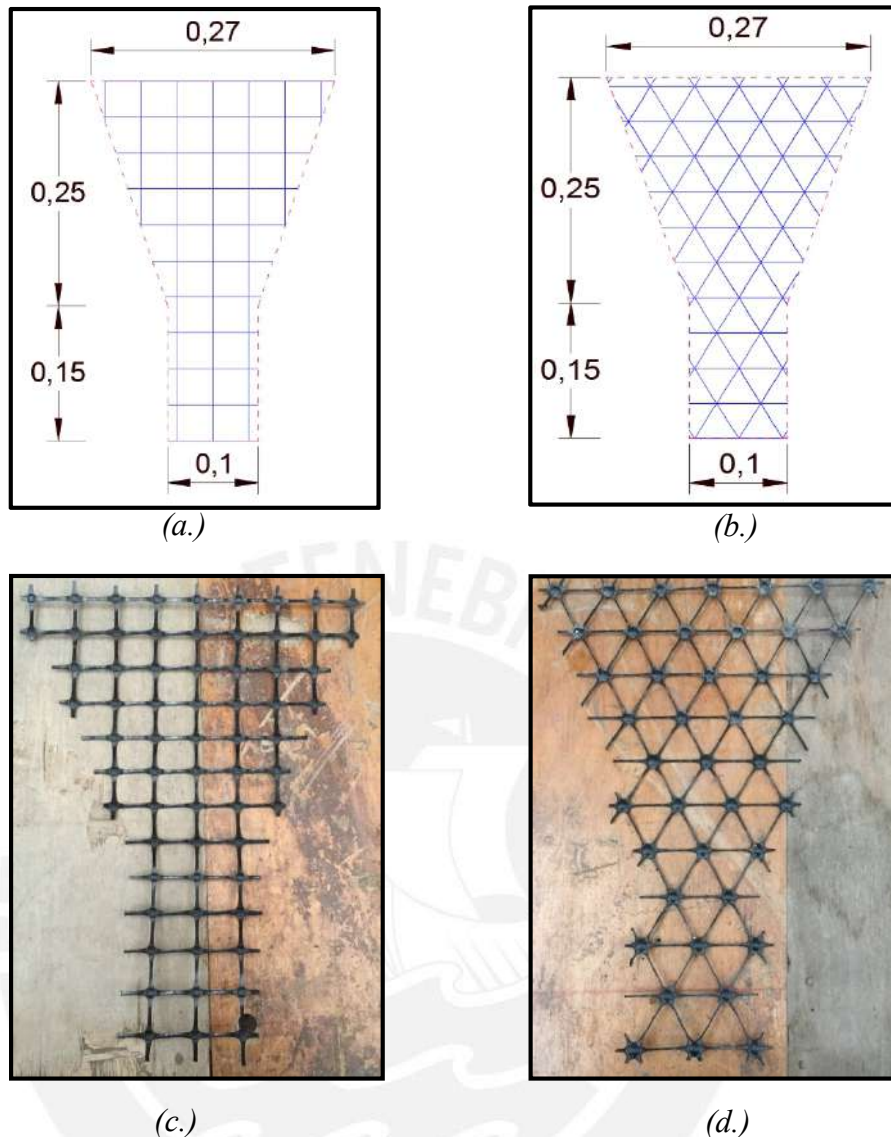


Figura 3.17 – Plano con dimensiones de corte de (a.) geomalla biaxial y (b.) geomalla triaxial. Vista de geomalla luego de ser cortada de la (c.) geomalla biaxial y (d.) geomalla triaxial

### Elaboración de especímenes

La elaboración de especímenes se hizo en serie de 6 ladrillos con un sistema diseñado por un técnico del laboratorio de estructuras antisísmicas, para cada espécimen se tomó en cuenta la siguiente especificación técnica:

- El espesor del mortero será de 0.02m.

El procedimiento de elaboración de especímenes para fue el siguiente:

1. Preparar la mezcla de mortero (ver figura 3.16 (a.))
2. Colocar los 6 ladrillos distanciados adecuadamente entre ellos.

3. Verificar que el espesor de mortero sea 0.02m.
4. Colocar las mallas en cada ladrillo respetando los 0.15m de la longitud de anclaje (ver figura 3.16 (b.))
5. Colocar dicho mortero sobre la unidad y geomalla (ver figura 3.16 (c.))
6. Moldear el mortero y dar el acabado final (ver figura 3.16 (d.))

Estos especímenes se dejan secar durante 28 días y proceden a ser ensayados



(a.)



(b.)

Figura 3.18 – (a.) *Preparación de mezcla de mortero: se mezcla según proporción volumétrica el cemento, la arena y si hubiera la cal, luego se vierte agua hasta que se haga una mezcla trabajable.* (b.) *Se colocan los ladrillos a una distancia adecuada, se verifica el espesor del mortero de 0.02 m. y se fija la geomalla con la longitud de anclaje de 0.15 m.*



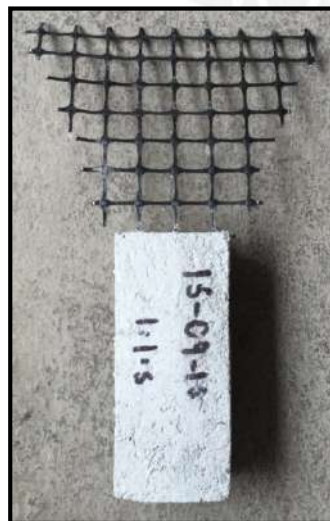
(c.)



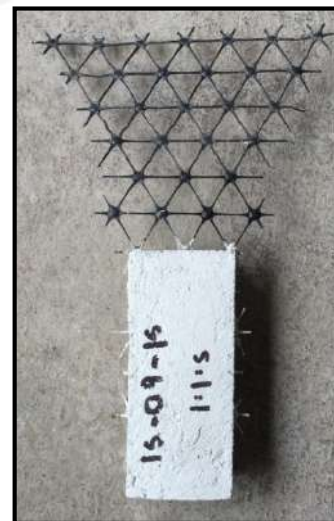
(d.)

Figura 3.18 (continuación) – (c.) Se coloca la mezcla de mortero sobre las unidades y geomalla previamente preparados (d.) Se moldea el mortero y se le da la forma final

La figura 3.17 (a.) muestra el espécimen terminado con la malla biaxial y la figura 3.17 (b.) muestra el espécimen terminado con la malla triaxial



(a.)



(b.)

Figura 3.19 – Vista de los especímenes terminados con (a.) geomalla biaxial (b.) geomalla triaxial



Observación de los especímenes:

Espécimen con geomalla biaxial: La geomalla que será traccionada por la maquina universal se encuentra colocada en sentido longitudinal a la aplicación de la carga. Teniendo en cuenta que la resistencia a la tensión última (longitudinal) es 12.80 kN/m y el ancho de la superficie de anclaje de la geomalla es de 0.10m se aproxima la fuerza de falla de este espécimen a 1.28 kN.

Espécimen con geomalla triaxial: La geomalla que será traccionada por la maquina universal se encuentra colocada en sentido transversal a la aplicación de la carga. Teniendo en cuenta que la resistencia a la tensión última (transversal) es 25.4 kN/m y el ancho de la superficie de anclaje de la geomalla es de 0.10m se aproxima la fuerza de falla de este espécimen a 2.54 kN.

Los equipos empleados en el ensayo de adherencia fueron los siguientes:

- Maquina universal : La figura 3.18 muestra la maquina universal



Figura 3.20 – *Maquina universal del Laboratorio de Estructuras PUCP*

- Dispositivo de soporte de espécimen: La figura 3.19 muestra el soporte de los especímenes el cual tiene medidas para ensayar ladrillos artesanales.



Figura 3.21 – *Dispositivo de soporte (superior y base) de espécimen de adherencia*

## CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Ensayos de control de materiales

Los especímenes de los ensayos de albañilería (succión y resistencia a la compresión) presentan una nomenclatura con respecto al tipo de unidad de albañilería. Así se tiene que los ladrillos de concreto se rotulan como C-1, C-2 y C-3, ladrillos King Kong como K-1, K-2 y K-3, y ladrillos pandereta como P-1, P-2 y P-3.

#### 4.1.1 Albañilería

- **Succión (S):** Para los cálculos se usó la siguiente fórmula.

$$S = \frac{200 \times W}{L \times B} \dots\dots\dots(1)$$

En donde:

S = Succión normalizada a 200 cm<sup>2</sup>

W = Peso húmedo – Peso seco

L = Largo de la cara en donde se coloca la geomalla

B = Ancho de la cara en donde se coloca la geomalla

Los resultados de los ensayos de succión se muestran en la tabla 4.1

Tabla 4.1 – Resultados de ensayos de succión

ESPÉCIMEN	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	PESO (g)		SUCCIÓN (g/200cm <sup>2</sup> xmin)	SUCCIÓN PROMEDIO (g/200cm <sup>2</sup> xmin)
			SECO	HÚMEDO		
C-1	22.00	8.70	4398.70	4414.30	16.30	16.69
C-2	21.90	8.80	4436.50	4453.10	17.23	
C-3	21.85	8.85	4508.20	4524.20	16.55	
K-1	23.40	8.85	3845.80	3889.60	42.30	41.73
K-2	23.50	9.00	3888.80	3932.30	41.13	
K-3	23.50	9.05	3938.50	3982.90	41.75	
P-1	22.60	10.90	1178.00	1208.30	24.60	25.15
P-2	22.75	11.10	1218.80	1250.40	25.03	
P-3	22.75	11.00	1236.10	1268.40	25.81	

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{(CONCRETO)}} &: 0.48 \frac{g}{200 \text{ cm}^2 \times m} \dots\dots\dots (2,9\%) \\ \sigma_{\text{(KING-KONG)}} &: 0.58 \frac{g}{200 \text{ cm}^2 \times m} \dots\dots\dots (1,4\%) \\ \sigma_{\text{(PANDERETA)}} &: 0.62 \frac{g}{200 \text{ cm}^2 \times m} \dots\dots\dots (2,5\%) \end{aligned}$$

Los tres tipos de ladrillos presentan una baja desviación estándar en los resultados de succión, lo cual muestra que las unidades ensayadas son uniformes y que han tenido un buen control de calidad durante su fabricación.

Se recomienda que el valor de la succión debe oscilar entre 10 y 20 g/200cm<sup>2</sup>xmin (San Bartolomé et al., 2011), en caso contrario el ladrillo succionará el agua del mortero, endureciéndolo rápidamente lo cual podría generar grietas en la interfaz y reducir la adherencia.

El ladrillo de concreto presenta un valor de succión recomendable, mientras que los ladrillos King Kong y pandereta presentan unos valores fuera del rango de los valores óptimos siendo el ladrillo King Kong el más crítico. Para reducir estos valores de succión, un día antes de la utilización se remojan los ladrillos King Kong y pandereta durante media hora.

- **Resistencia a la compresión de ladrillos:** Para los cálculos se usó la siguiente fórmula.

$$f_b = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots(2)$$

En donde:

$f_b$  = Resistencia a la compresión (MPa)

$P_u$  = Carga máxima de rotura (N)

$A$  = Área bruta (mm<sup>2</sup>)

La resistencia característica  $f'_b$  es calculada restando una vez la desviación estándar a la resistencia a la compresión

$$f'_b = f_b - \sigma \dots\dots\dots(3)$$

Los resultados de los ensayos de succión se muestran en la tabla 4.2

Tabla 4.2 – Resultados de ensayos resistencia a la compresión de ladrillos

ESPÉCIMEN	LARGO (mm)			ANCHO (mm)			ÁREA (mm <sup>2</sup> )	CARGA MÁXIMA kN	f <sub>b</sub> (MPa)	fb promedio (MPa)	Desv. Estándar σ (MPa)	f' <sub>b</sub> (MPa)
	L 1	L 2	L prom	A 1	A 2	A prom						
C-1	219	220	219.5	131	130	130.5	28644.75	737.4	25.74	24.64	1.90	22.73
C-2	219	219	219.0	130	130	130.0	28470.00	732.5	25.73			
C-3	220	220	220.0	130	130	130.0	28600.00	641.8	22.44			
K-1	230	235	232.5	127	126	126.5	29411.25	643.6	21.88	22.41	0.83	21.57
K-2	236	234	235.0	125	126	125.5	29492.50	689.2	23.37			
K-3	236	233	234.5	125	125	125.0	29312.50	644.0	21.97			
P-1	228	227	227.5	110	110	110.0	25025.00	152.4	6.09	6.07	0.05	6.02
P-2	227	227	227.0	108	109	108.5	24629.50	150.3	6.10			
P-3	229	228	228.5	111	110	110.5	25249.25	152.0	6.02			

Los ladrillos de concreto y King Kong cumplen con lo especificado según sus fichas técnicas, la cual asegura que estos ladrillos son tipo V; es decir, resisten más de 17.6 MPa. El ladrillo pandereta, con lo especificado en su ficha técnica, la cual asegura que estos ladrillos son tipo I; es decir, resisten más de 4.9 MPa.

Los tres tipos de ladrillo presentan un bajo coeficiente de variabilidad o desviación estándar, por lo que se puede afirmar que todos los ladrillos presentan características uniformes.

Para la presente investigación la resistencia solo es un valor cualitativo, el cual nos brinda información acerca de la durabilidad del material

#### 4.1.2 Mortero

- **Granulometría de la arena:** La tabla 4.3 muestra los resultados de los ensayos de granulometría de la arena gruesa usada para la elaboración del mortero

Tabla 4.3 – Resultados de granulometría de la arena

Malla	Peso retenido (g)	Parcial retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Acumulado que pasa (%)	Porcentaje que pasa ASTM (%)
#4	0.00	0	0	100	100
#8	43.30	9	9	91	95 a 100
#16	98.24	20	28	72	70 a 100
#30	100.46	20	48	52	40 a 75
#50	130.79	26	74	26	20 a 40
#100	66.03	13	88	12	10 a 25
#200	47.38	9	97	3	0 a 10
Bandeja	13.82				
TOTAL	500.02				

Peso inicial: 501.34 g      Peso final: 500.2 g

Diferencia de peso inicial y final: 0.263 %

Módulo de finura: 2.47

El módulo de finura de arena gruesa para mortero debe estar comprendido entre 1.6 y 2.5 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006) . El módulo de finura de la arena empleada es de 2.47, lo cual indica que es una arena adecuada para la elaboración de mortero

- **Resistencia a la compresión de mortero**

Los especímenes de los ensayos de resistencia a la compresión de cubos de mortero presentan una nomenclatura según su dosificación. Así se tiene que el mortero cemento: arena en proporción 1: 5 los cuales se rotulan como CA-1, CA-2, CA-3, CA-4 y CA-5, y que el mortero de cemento: cal: arena en proporción 1: 1: 5 los cuales se rotulan como CC-1, CC-2, CC-3, CC-4 y CC-5.

Para los cálculos se usó la siguiente fórmula:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A} \dots\dots\dots(4)$$

En donde:

$\sigma_u$  = Resistencia a la compresión (MPa)

$P_u$  = Carga máxima de rotura (N)

$A$  = Área de sección transversal de cubo (mm<sup>2</sup>)

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de mortero se muestran en la tabla 4.4

Tabla 4.4 – *Resultados de ensayos resistencia a la compresión de mortero*

ESPÉCIMEN	LARGO	ANCHO	ÁREA	CARGA MÁXIMA	$\sigma_u$	$\sigma_u$ promedio
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kN	MPa	MPa
CA1	50.75	50.75	2575.56	31.66	12.29	<b>12.01</b>
CA2	50.30	50.45	2537.64	31.38	12.37	
CA3	50.20	50.35	2527.57	30.59	12.10	
CA4	50.30	50.30	2530.09	29.90	11.82	
CA5	50.75	50.75	2575.56	29.60	11.49	
CC1	50.65	50.50	2557.83	28.55	11.16	<b>11.22</b>
CC2	50.45	50.45	2545.20	29.71	11.67	
CC3	51.15	50.65	2590.75	27.68	10.68	
CC4	49.70	51.05	2537.19	27.73	10.93	
CC5	50.80	50.80	2580.64	30.12	11.67	

- Mortero de cemento y arena
  - Desviación estándar  $\sigma_{(n-1)}$  : 0.36 MPa
  - Coefficiente de variación : 3.0 %
  
- Mortero de cemento, cal y arena
  - Desviación estándar  $\sigma_{(n-1)}$  : 0.44 MPa
  - Coefficiente de variación : 4.0 %

Se aprecia que la adición de cal en la mezcla de mortero, disminuye la resistencia a la compresión del mismo en un pequeño porcentaje. Ambos tipos de mortero tienen un bajo coeficiente de variación, por lo que se afirma que el mortero es uniforme en todos los especímenes.

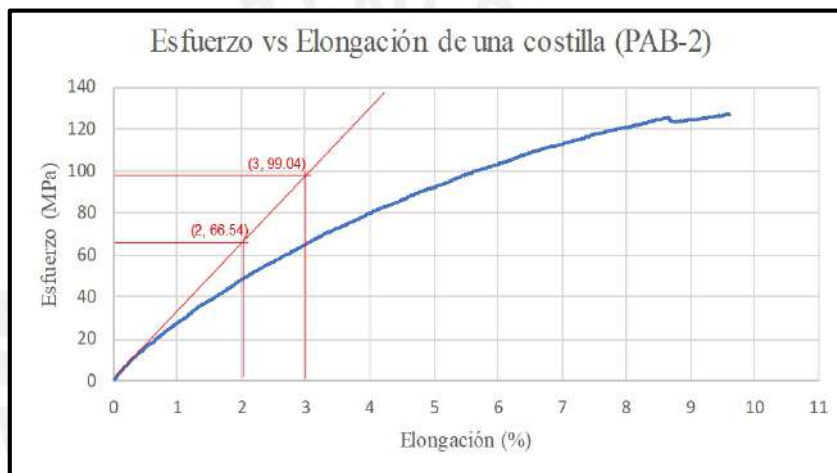
#### 4.1.3 Geomalla

En los ensayos de adherencia en geomallas biaxiales se embebió tres costillas en el mortero por lo que se asume que la fuerza resultante es el aporte equitativo de estas tres costillas. También, se asume que la deformación del ensayo es igual a la deformación de las tres costillas; es decir, las tres costillas se deforman por igual. La sección transversal de cada costilla es en promedio 1.07mm x 2.92mm lo que da un área promedio de 3.12mm<sup>2</sup> y la longitud de ensayo fue de 99mm. Con estas dos asunciones y características geométricas, se puede tomar las curvas de los ensayos de los especímenes en que solo fallo la geomalla para obtener la gráfica de esfuerzo vs elongación de una costilla y caracterizar el material. El gráfico 4.1 muestra la curva de esfuerzo vs elongación en seis diferentes casos en donde se muestra la curva tangente con fines de calcular el módulo de elasticidad del polipropileno, material constituyente de las geomallas.





(a.)

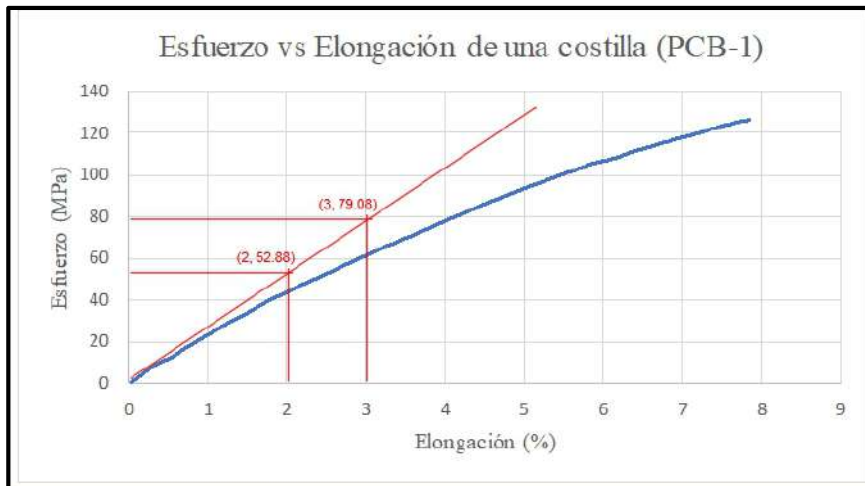


(b.)



(c.)

Gráfico 4.1 – Curva esfuerzo vs elongación de los siguientes especímenes: (a.) Ladrillo Pandetera, mortero sin cal y geomalla biaxial (PAB-1) (b.) PAB-2 (c.) PAB-3



(d.)



(e.)



(f.)

Gráfico 4.1 (continuación) – Curva esfuerzo vs elongación de los siguientes especímenes: (a.) Ladrillo Pandereta, mortero con cal y geomalla biaxial (PCB-1) (b.) PCB-2 (c.) Ladrillo King Kong, mortero con cal y geomalla biaxial (KCB-1)

Según la ficha técnica de la geomalla biaxial, que se muestra en el anexo 1, indica que el tamaño de abertura o separación entre costillas es 33mm por lo que en 1m hay aproximadamente 30 costillas. Conociendo el número de costillas por metro de ancho y el área transversal de una costilla, con el gráfico 4.1 se puede determinar la resistencia por ancho de geomalla para diferentes niveles de elongación. Además, la pendiente de la recta tangente de color rojo dibujada en las curvas, representa el módulo de elasticidad para los seis casos. La tabla 4.5 muestra las propiedades mecánicas de una costilla de geomalla biaxial deducidas de los gráficos de esfuerzo vs deformación y la tabla 4.6 presenta la comparación de los resultados experimentales con la ficha técnica.

Tabla 4.5 – *Propiedades mecánicas de una costilla de geomalla biaxial*

Espécimen	Resistencia al 2% de elongación (kN/m)	Resistencia al 5% de elongación (kN/m)	Fuerza máxima (kN)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación máxima (%)
PAB-1	4.15	8.66	0.442	141.652	2451	12.23
PAB-2	4.50	8.60	0.395	126.816	3250	9.62
PAB-3	4.46	8.88	0.445	142.729	2795	15.78
PCB-1	4.14	8.76	0.467	149.761	2620	7.85
PCB-2	4.60	8.93	0.352	113.070	2840	7.71
KCB-1	4.84	9.58	0.460	147.627	3185	11.92
<b>Promedio</b>	<b>4.45</b>	<b>8.90</b>	<b>0.427</b>	<b>136.94</b>	<b>2893.73</b>	<b>10.85</b>
Desviación Estándar	0.270	0.353	0.044	14.19	281.90	3.09
CV	6.06%	3.97%	10.36%	10.36%	9.74%	28.47%

Tabla 4.6 – *Comparación de resultados experimentales con la ficha técnica*

	Ensayo de adherencia	Ficha técnica	Variación
<b>Resistencia al 2% de elongación (kN/m)</b>	4.45	4	11.26%
<b>Resistencia al 5% de elongación (kN/m)</b>	8.90	8	11.26%
<b>Resistencia última (kN/m)</b>	12.806	12.8	0.04%

Los resultados de los ensayos muestran valores muy similares de la ficha técnica por lo que comprueba que las asunciones iniciales son correctas. Consecuentemente, las propiedades mecánicas calculadas son válidas. Finalmente, el polipropileno de las geomallas utilizadas en esta investigación tiene las siguientes propiedades mecánicas:

- Esfuerzo máximo = 137 MPa
- Elongación máxima = 11%
- Módulo de elasticidad = 2894 MPa

## 4.2 Adherencia de geomallas

### 4.2.1 Identificación de especímenes

Los especímenes para determinar la adherencia de geomallas se nombraron según los tipos de ladrillos, dosificación de mortero, y tipo de geomalla, lo cual hacían un total de doce tipos diferentes de especímenes y fueron los siguientes:

- CCT : Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla triaxial
- CCB : Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla biaxial
- KCT : Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla triaxial
- KCB : Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla biaxial
- PCT : Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla triaxial
- PCB : Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla biaxial
- CAT : Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla triaxial
- CAB : Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla biaxial
- KAT : Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla triaxial
- KAB : Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla biaxial
- PAT : Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla triaxial
- PAB : Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla biaxial

Inicialmente, en esta investigación, se realizaron tres ensayos por cada tipo, lo que hace un total de 36 ensayos. Adicionalmente, se optó por realizar dos ensayos adicionales por cada tipo de espécimen de componentes críticos como ladrillo King Kong, pandereta y geomalla triaxial (KCT, PCT, KAT, PAT) los que hace un total de 44 ensayos.

#### 4.2.2 Procedimiento para la ejecución de los ensayos de adherencia

El ensayo de adherencia tuvo los siguientes pasos:

- i. Primero, la geomalla se ancla en el soporte superior, que es donde la máquina universal aplicará la carga y la transferirá a la geomalla como se observa en la figura 4.1
- ii. Luego, se coloca el espécimen en el soporte base como se observa en la figura 4.2
- iii. Finalmente, se coloca en la maquina universal, manteniendo una correcta alineación o verticalidad como se observa en la figura 4.3



Figura 4.1 – Colocación de la geomalla sobre el soporte superior

Figura 4.2 – Colocación del espécimen sobre el soporte base



Figura 4.3 – Modo de falla al finalizar el ensayo

A continuación se presenta los resultados de los ensayos de adherencia, los cuales serán analizados en el capítulo 5.

### 4.2.3 Resultados de los ensayos de adherencia (2015)

#### 4.2.3.1 CCT: Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla triaxial

El gráfico 4.2 muestra la curva fuerza vs desplazamiento de la geomalla hasta que se produce la falla del espécimen. La figura 4.4 muestra el tipo de falla del espécimen CCT-1, la cual, también, puede ser apreciada en el gráfico 4.2, por ejemplo, cada caída de carga empinada (puntos a y b) es una grieta visible en el mortero.

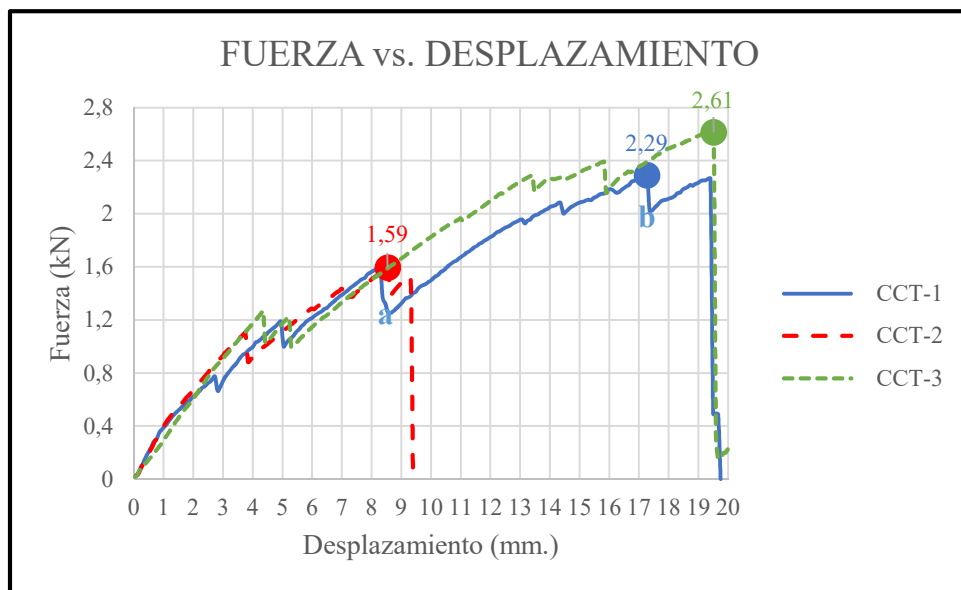


Gráfico 4.2 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CCT

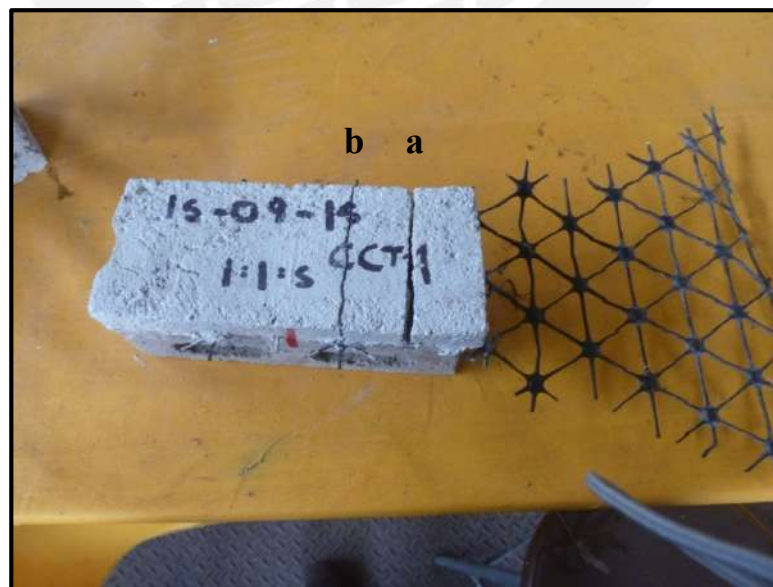


Figura 4.4 – Tipo de falla del espécimen CCT-1

#### 4.2.3.2 CCB: Ladrillo de concreto, mortero con cal, geomalla biaxial

El gráfico 4.3 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.5 muestra el tipo de falla del espécimen CCB-1, la cual, también, puede ser apreciada en el gráfico 4.3, por ejemplo, cada caída de carga pronunciada (punto a) es una grieta visible en el mortero.

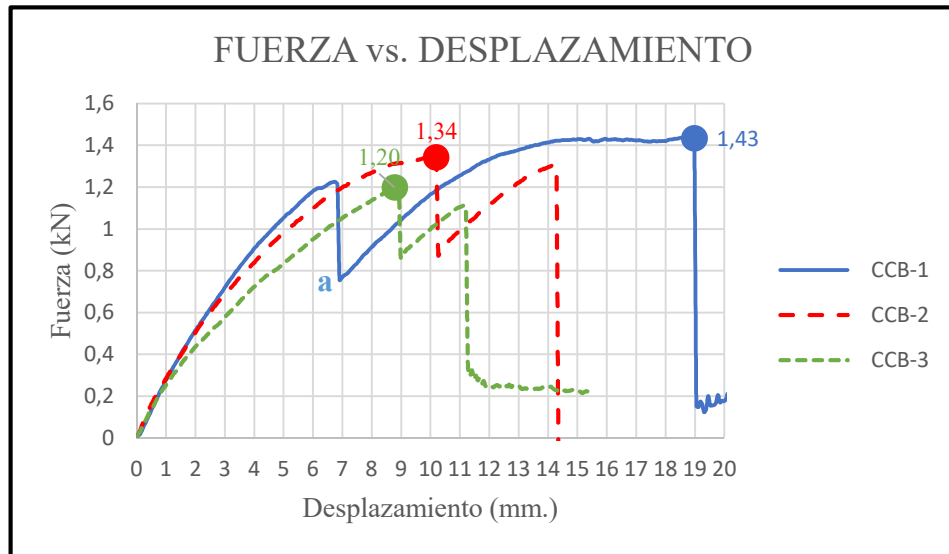


Gráfico 4.3 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CCB

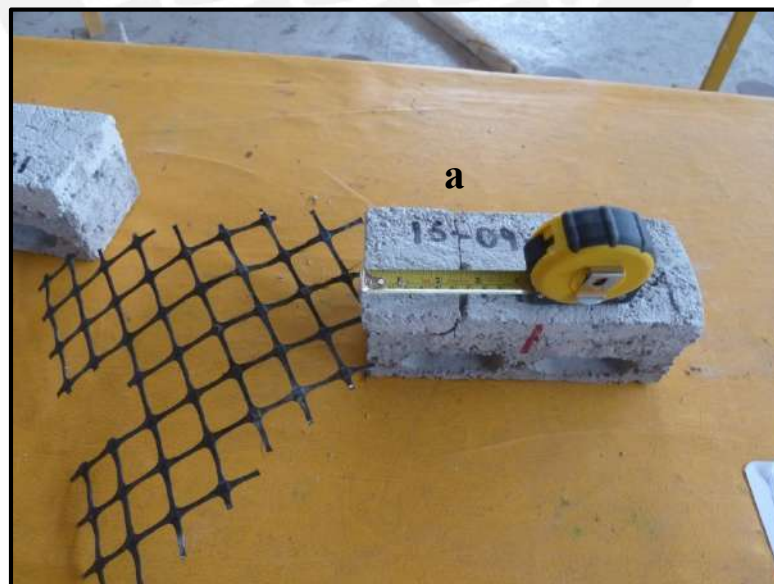


Figura 4.5 – Tipo de falla del espécimen CCB-1

#### 4.2.3.3 KCT: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla triaxial

El gráfico 4.4 muestra la curva fuerza vs desplazamiento espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.6 muestra el tipo de falla del espécimen KCT-1, la cual fue un desprendimiento integro de capa de mortero y geomalla

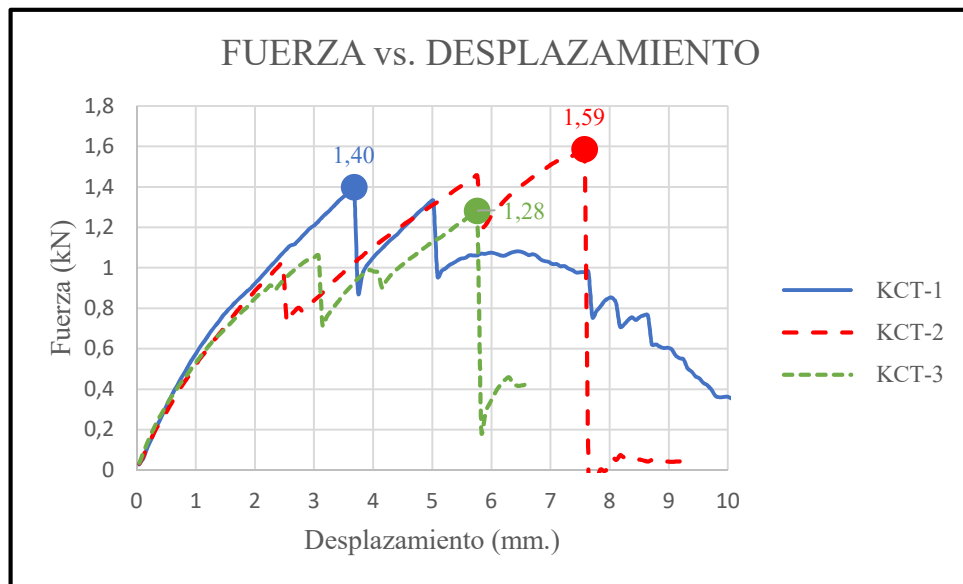


Gráfico 4.4 – Resultados de ensayos de adherencia de especimenes KCT



Figura 4.6 – Tipo de falla del espécimen KCT-1



#### 4.2.3.4 KCB: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla biaxial

El gráfico 4.5 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.7 muestra el tipo de falla del espécimen KCB-1, como se puede apreciar en dicha figura solo falla la geomalla y el mortero no presenta grietas, por ende en el gráfico 4.5 (curva KCB-1) no hay caídas de cargas.

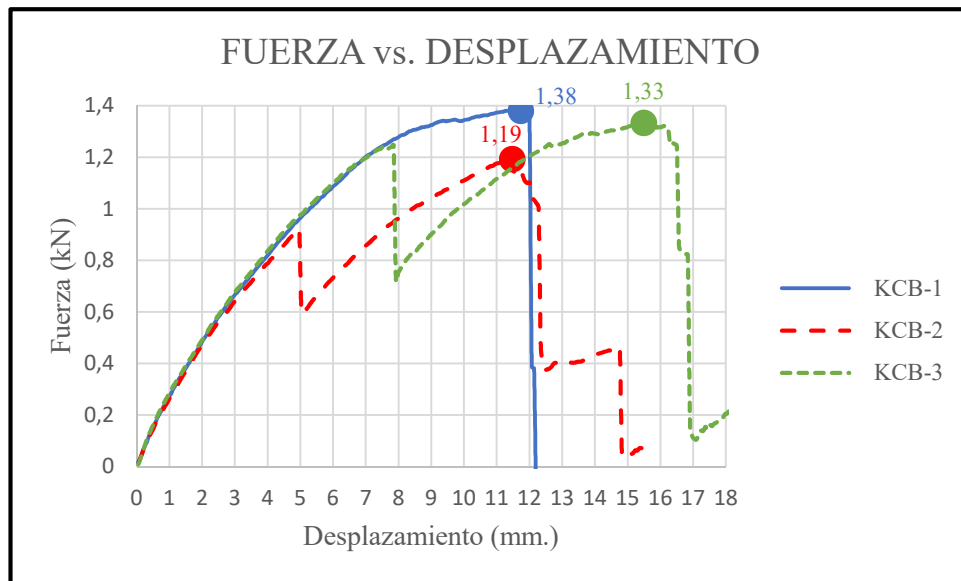


Gráfico 4.5 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KCB



Figura 4.7 – Tipo de falla del espécimen KCB-1

#### 4.2.3.5 PCT: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla triaxial

El gráfico 4.6 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.8 muestra el tipo de falla del espécimen PCT-1, en este caso falla el mortero, se puede apreciar la relación de las grietas en el mortero con la caída de carga de la gráfica fuerza vs. desplazamiento.

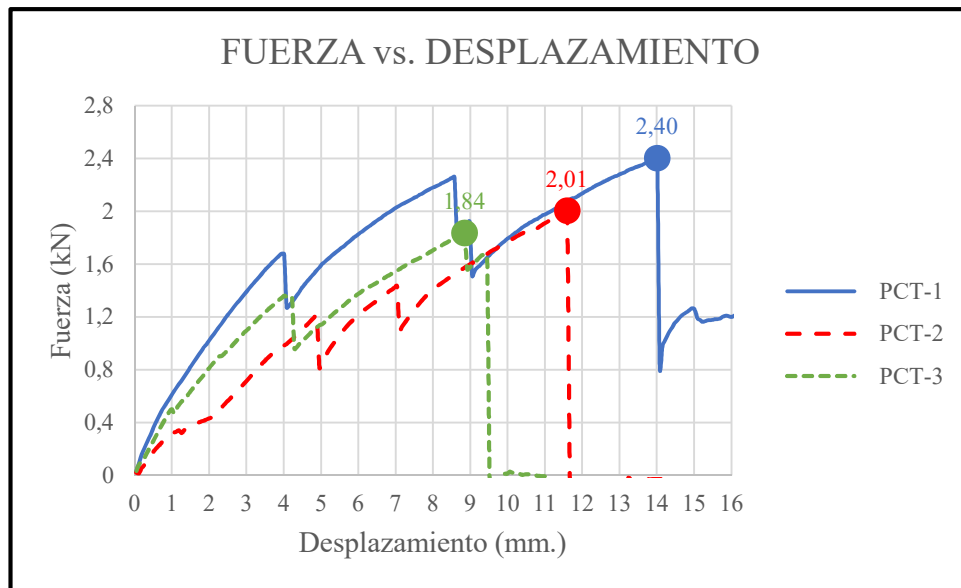


Gráfico 4.6 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCT



Figura 4.8 – Tipo de falla del espécimen PCT-1

#### 4.2.3.6 PCB: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla biaxial

El gráfico 4.7 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.9 muestra el tipo de falla del espécimen PCB-1, como se puede apreciar en dicha figura solo falla la geomalla y el mortero no presenta grietas, por ende en el gráfico 4.7 no hay caídas de cargas.

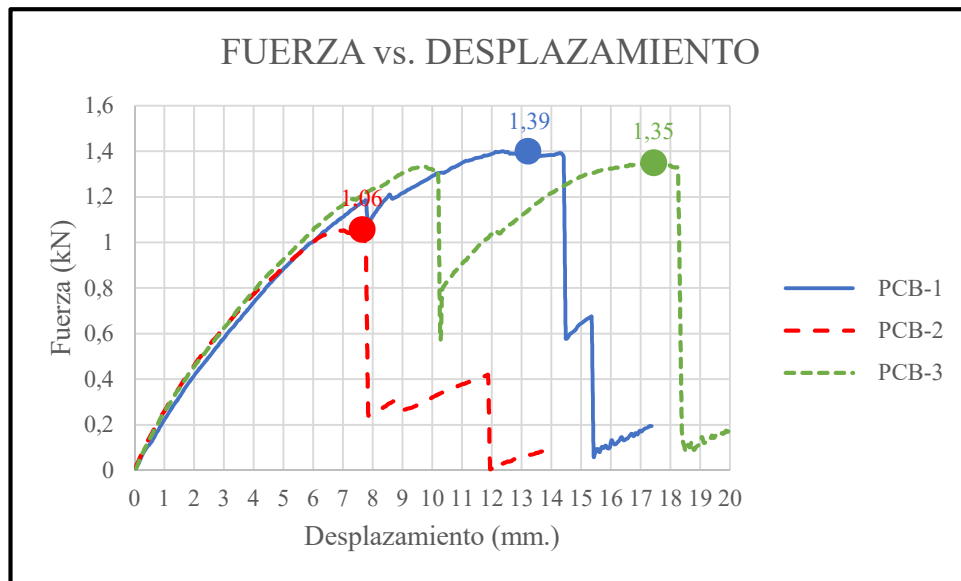


Gráfico 4.7 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCB



Figura 4.9 – Tipo de falla del espécimen PCB-1

#### 4.2.3.7 CAT: Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla triaxial

El gráfico 4.8 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.10 muestra el tipo de falla del espécimen CAT-2, en este caso falla el mortero.

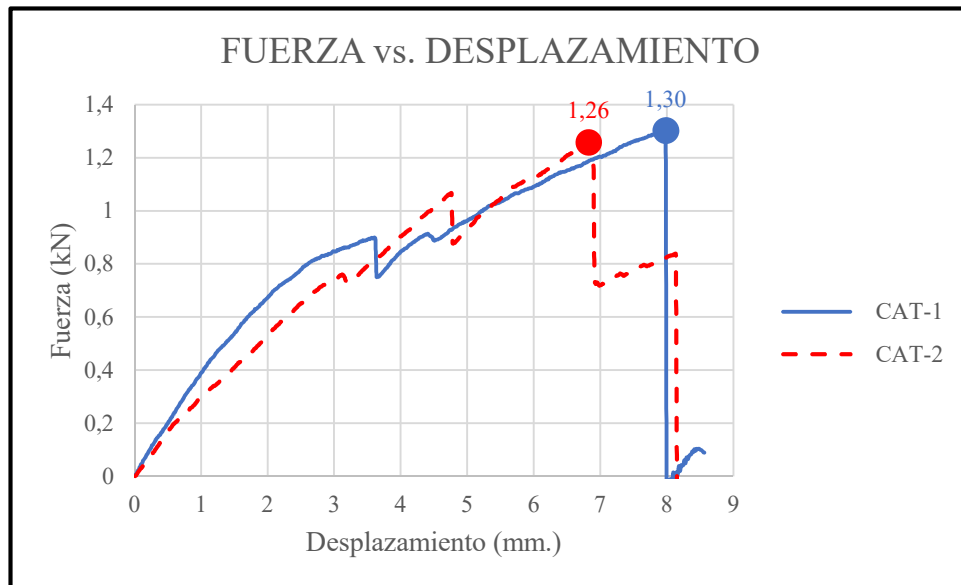


Gráfico 4.8 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CAT



Figura 4.10 – Tipo de falla del espécimen CAT-2

#### 4.2.3.8 CAB: Ladrillo de concreto, mortero solo con arena, geomalla biaxial

El gráfico 4.9 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.11 muestra el tipo de falla del espécimen CAB-2, en este caso falla el mortero.

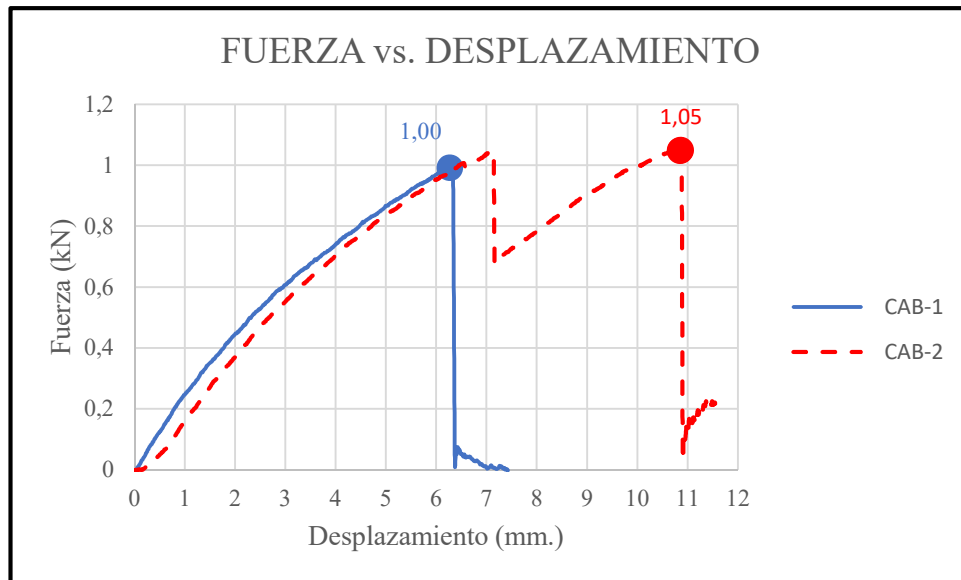


Gráfico 4.9 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes CAB



Figura 4.11 – Tipo de falla del espécimen CAB-2

#### 4.2.3.9 KAT: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla triaxial

El gráfico 4.10 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.12 muestra el tipo de falla del espécimen KAT-1, en este caso falla la geomalla triaxial.

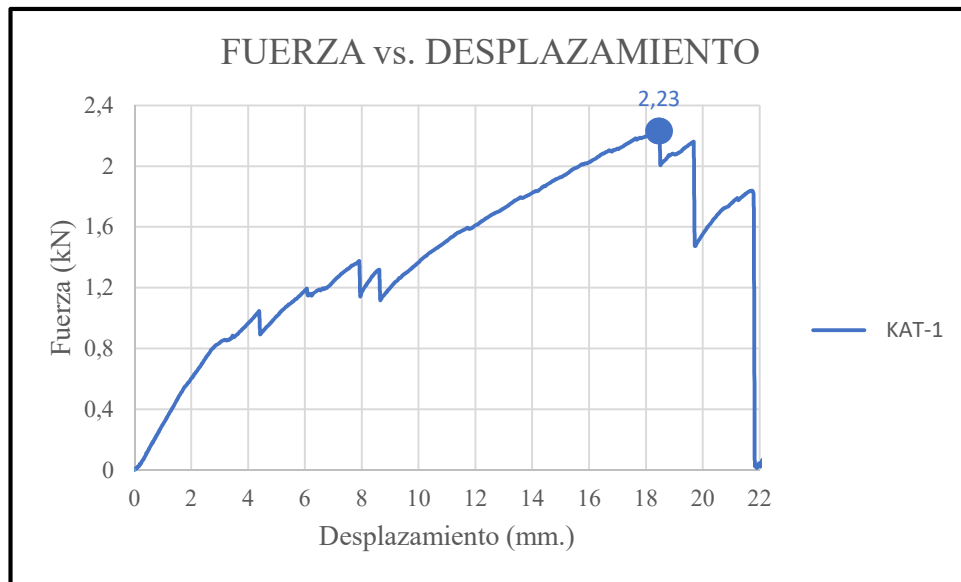


Gráfico 4.10 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAT



Figura 4.12 – Tipo de falla del espécimen KAT-1

#### 4.2.3.10 KAB: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla biaxial

El gráfico 4.11 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.13 muestra el tipo de falla del espécimen KAB-3, en este caso falla el mortero.

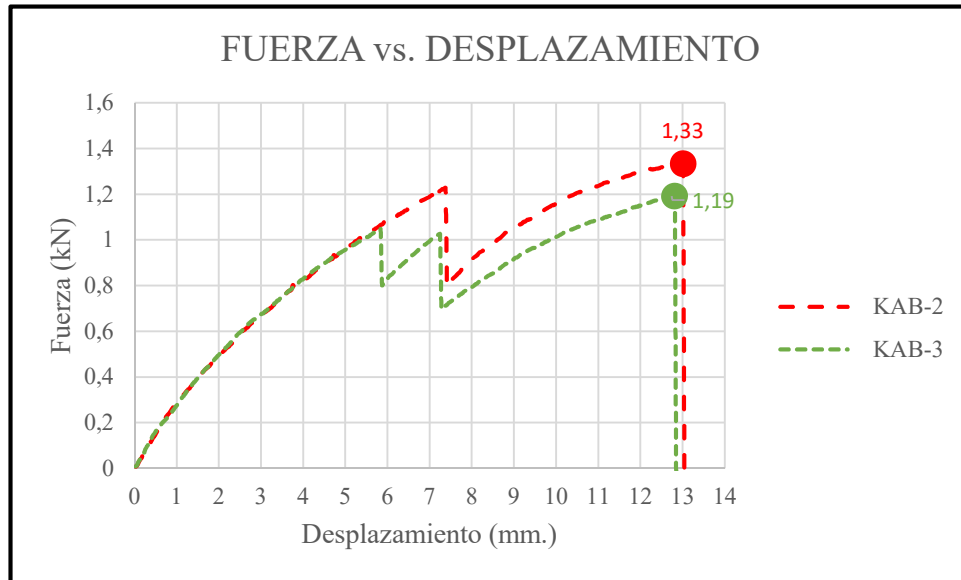


Gráfico 4.11 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAB



Figura 4.13 – Tipo de falla del espécimen KAB-3

#### 4.2.3.11 PAT: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla triaxial

El gráfico 4.12 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.14 muestra el tipo de falla del espécimen PAT-2, en este caso falla la geomalla.

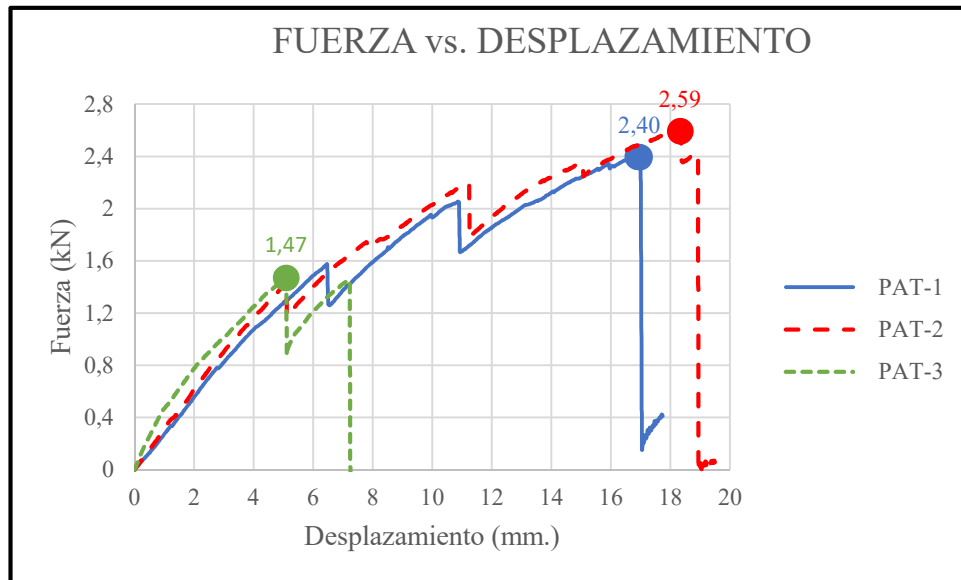


Gráfico 4.12 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAT



Figura 4.14 – Tipo de falla del espécimen PAT-2



#### 4.2.3.12 PAB: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla biaxial

El gráfico 4.13 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.15 muestra el tipo de falla del espécimen PAB-3, como se puede apreciar en dicha figura solo falla la geomalla y el mortero no presenta grietas, por ende en el gráfico 4.13 hay una sola caídas de cargas.

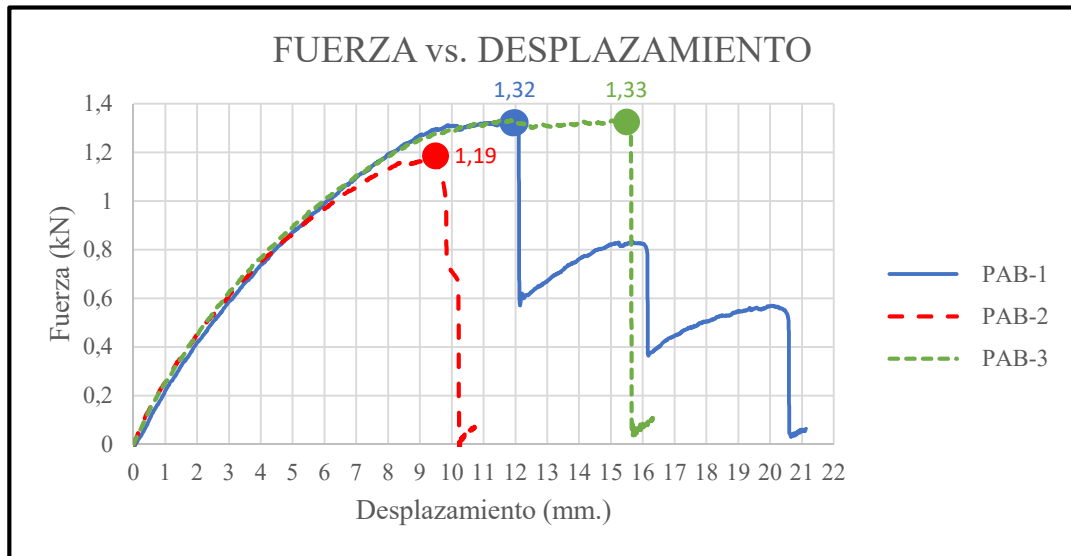


Gráfico 4.13 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAB



Figura 4.15 – Tipo de falla del espécimen PAB-3

#### 4.2.4 Resultados de los ensayos de adherencia (2016)

##### 4.2.4.1 KCT-N: Ladrillo King Kong, mortero con cal, geomalla triaxial

El gráfico 4.14 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.16 muestra el tipo de falla del espécimen KCT-2N, como se puede apreciar en dicha figura solo falla la geomalla y el mortero no presenta grietas, por ende en el gráfico 4.14 la geomalla llega al máximo y falla sin posteriores aumentos de cargas.

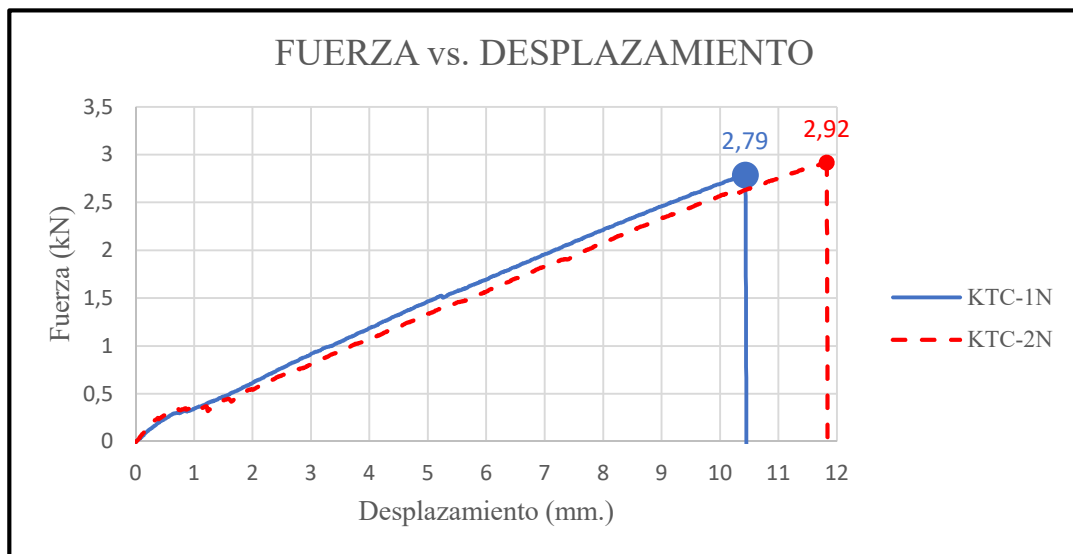


Gráfico 4.14 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KCT-N



Figura 4.16 – Tipo de falla del espécimen KCT-2 N

#### 4.2.4.2 PCT-N: Ladrillo pandereta, mortero con cal, geomalla triaxial

El gráfico 4.15 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.17 muestra el tipo de falla del espécimen PCT-1N, como se puede apreciar en dicha figura, la geomalla falla, pero no en su totalidad, por ello, en el gráfico 4.15 hay una pequeña subida de carga luego de la falla. Además, el mortero presenta grietas superficiales en la interfaz mortero- geomalla.

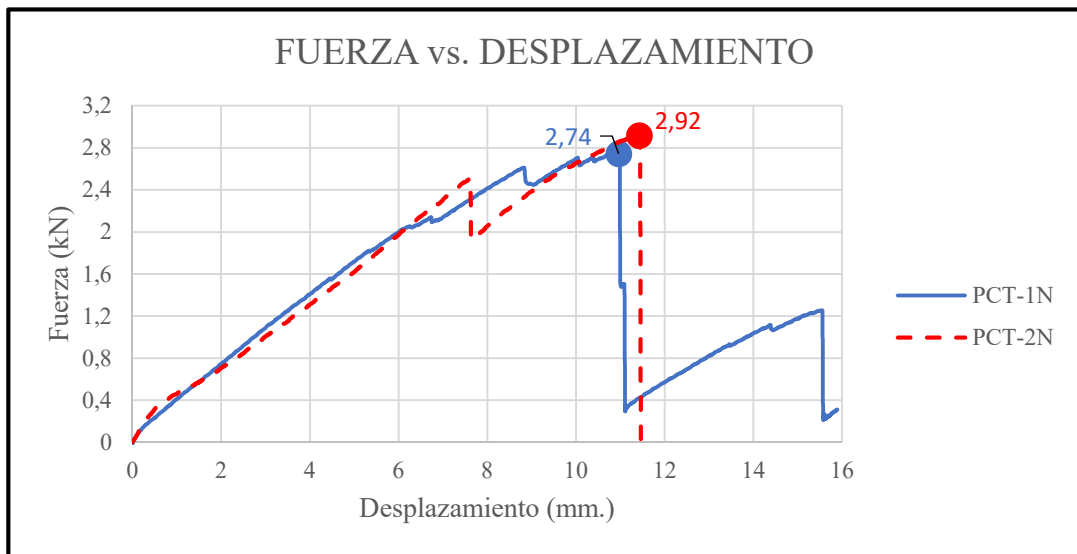


Gráfico 4.15 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PCT-N



Figura 4.17 – Tipo de falla del espécimen PCT-1N

#### 4.2.4.3 KAT-N: Ladrillo King Kong, mortero solo con arena, geomalla triaxial

El gráfico 4.16 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.18 muestra el tipo de falla del espécimen KAT-2, como se puede apreciar en dicha figura, la geomalla falla, pero no en su totalidad, por ello, en el gráfico 4.16 hay una subida de carga luego de la falla. Además, el mortero presenta grietas superficiales en la interfaz mortero- geomalla.

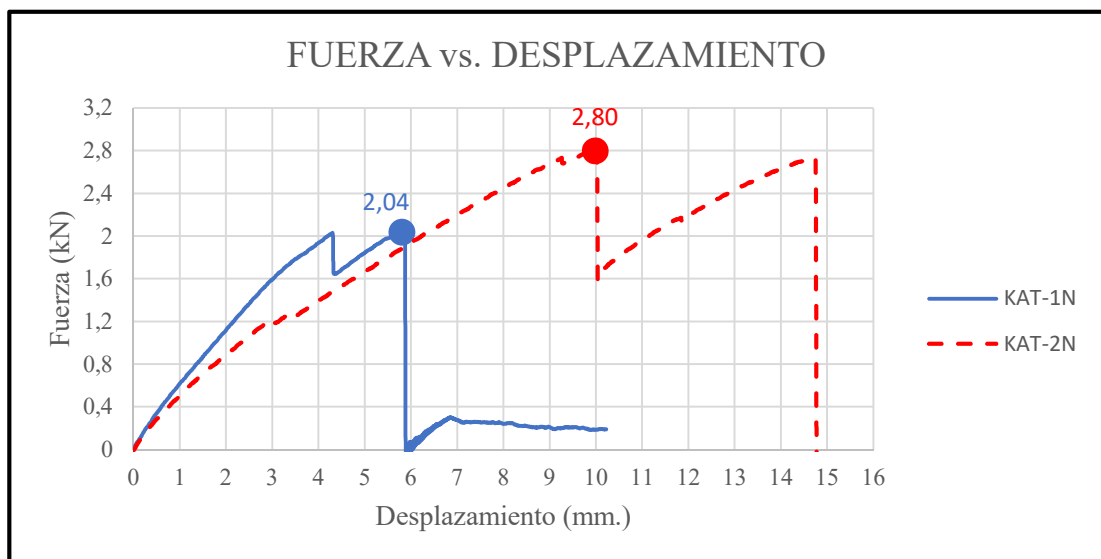


Gráfico 4.16 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes KAT-N



Figura 4.18 – Tipo de falla del espécimen KAT-2 N

#### 4.2.4.4 PAT-N: Ladrillo pandereta, mortero solo con arena, geomalla triaxial

El gráfico 4.17 muestra la curva fuerza vs desplazamiento del espécimen hasta que se produce la falla del mismo. La figura 4.19 muestra el tipo de falla del espécimen PAT-2N, como se puede apreciar en dicha figura solo falla la geomalla y el mortero no presenta grietas, por ende en el gráfico 4.17 no hay aumento de carga luego de la falla.

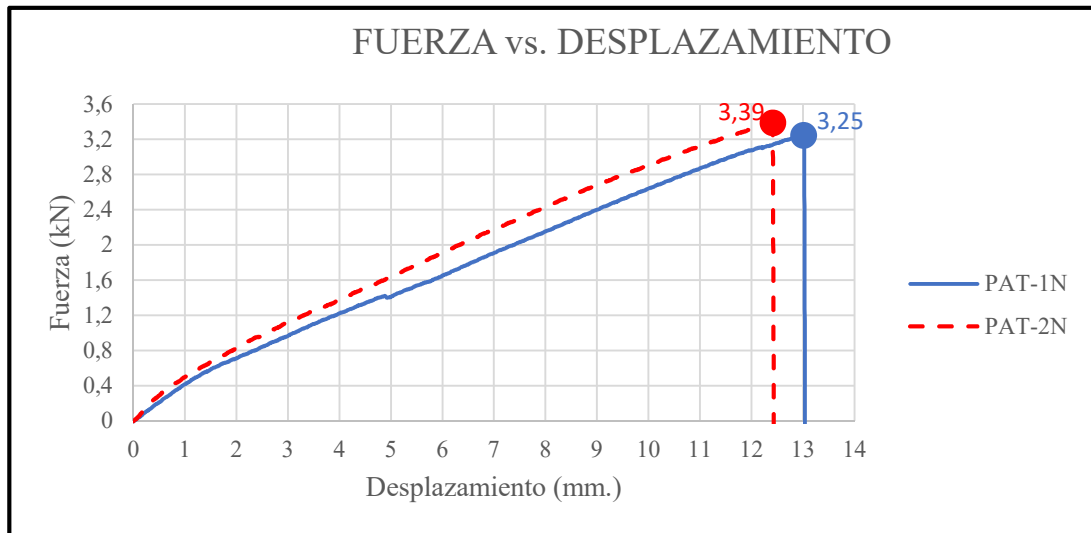


Gráfico 4.17 – Resultados de ensayos de adherencia de especímenes PAT-N

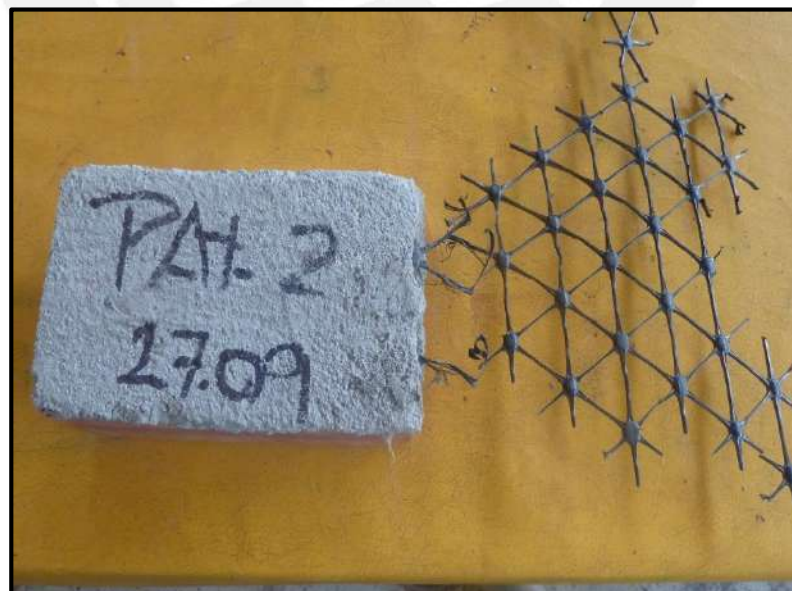


Figura 4.19 – Tipo de falla del espécimen PAT-2 N

## CAPÍTULO 5: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Claro está que la adherencia es influenciada por el tipo de mortero y el tipo de superficie en donde se va a colocar, pero los resultados muestran que el elemento del sistema que marca la diferencia tanto en fuerza de falla como tipo de falla es la geomalla. La geomalla triaxial es mucho más resistente que la biaxial por consiguiente la fuerza de falla entre ellas es muy diferente. Además, la geomalla triaxial es más rígida que la biaxial, por ende la adherencia del mortero con el ladrillo son sometidas a muy diferentes intensidades de deformación lo cual resulta en muy diferentes tipos de fallas en ambas geomallas. El primer análisis para evaluar el desempeño de los especímenes es identificar los tipos de falla y clasificar los especímenes dentro de estos tipos. Se han identificado los siguientes tipos de falla:

- Falla I: rotura de geomalla sin grietas en el mortero.
- Falla II: rotura de geomalla con grietas en el mortero.
- Falla III: desprendimiento de capa de mortero.

La falla I representa el mejor desempeño de las tres ya que la geomalla llega a la rotura sin dañar el mortero, mientras que la falla II cumple el objetivo de que la geomalla se rompa pero esta genera grietas de tracción en el mortero, por ende se la clasifica como un desempeño regular. Por el contrario, en la falla III la adherencia no es suficiente para que la geomalla desarrolle toda su capacidad resistente, por lo que se la considera como un comportamiento no deseado.

La Tabla 5.1 muestra la clasificación de todos los especímenes ensayados el 2015 en base a su tipo de falla.

Tabla 5.1 – *Análisis de tipo de falla por materiales*

ANÁLISIS DE FALLA										
Tipo y desempeño de falla			Especímenes				Número de ensayos	Ladrillo predominante	Mortero predominante	Geomalla predominante
COMPORTAMIENTO DESEADO	Buen desempeño	Falla I	KCB-1	PCB-1	PAB-1		6	PANDERETA	AMBOS	BIAXIAL
				PCB-2	PAB-2					
					PAB-3					
COMPORTAMIENTO DESEADO	Regular desempeño	Falla II	CCT-1	KCB-2	PAT-2	PCB-3	9	CONCRETO	CON CAL	BIAXIAL
			CCT-3	KCB-3						
			CCB-1	KAT-1						
			CCB-2							
COMPORTAMIENTO NO DESEADO	Mal desempeño	Falla III	CCT-2	CAB-1	KAT-2	PCT-1	21	KING KONG y CONCRETO	SIN CAL	TRIAxIAL
			CCB-3	CAB-2	KAT-3	PCT-2				
			CAT-1	CAB-3	KAB-1	PCT-3				
			CAT-2	KCT-1	KAB-2	PAT-1				
			CAT-3	KCT-2	KAB-3	PAT-3				
				KCT-3						

Esta tabla muestra que el tipo de geomalla divide el comportamiento deseado del no deseado. Los especímenes con geomalla biaxial predominan en el comportamiento deseado mientras que los que cuentan con geomalla triaxial, en el comportamiento no deseado. Esto se debe a que la poca resistencia y rigidez de la geomalla biaxial no lleva al sistema a condiciones extremas y el comportamiento deseado ocurre con mayor frecuencia. Por otro lado, la geomalla triaxial por ser más resistente y rígida son propensas a tener pequeños desplazamientos dentro del mortero que conllevan a grietas o hasta desprendimiento del mortero. Entonces, la forma de análisis más idónea, para estudiar la influencia en la adherencia de los diferentes tipos de mortero y substratos de albañilería, es comparar los resultados entre los especímenes con mismo tipo de geomalla como se muestra en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 – *Análisis de falla separados por tipo de geomalla.*

ANÁLISIS DE FALLA - BIAxIAL								
Tipo y desempeño de falla			Especímenes			Número de ensayos	Ladrillo predominante	Mortero predominante
COMPORTAMIENTO DESEADO	Buen desempeño	Falla I	KCB-1 PCB-1 PCB-2	PAB-1 PAB-2 PAB-3		6	PANDERETA	AMBOS
	Regular desempeño	Falla II	KCB-2 KCB-3	CCB-1 CCB-2	PCB-3	5	KING KONG y CONCRETO	CON CAL
COMPORTAMIENTO NO DESEADO	Mal desempeño	Falla III	CAB-1 CAB-2 CAB-3	CCB-3	KAB-1 KAB-2 KAB-3	7	CONCRETO	SIN CAL

ANÁLISIS DE FALLA TRIAXIAL								
Tipo y desempeño de falla			Especímenes			Número de ensayos	Ladrillo predominante	Mortero predominante
COMPORTAMIENTO DESEADO	Buen desempeño	Falla I	KCT-2N	PCT-1N PCT-2N	PAT-1N PAT-2N	5	PANDERETA	CON CAL
	Regular desempeño	Falla II		CCT-1 CCT-3	KAT-1 KAT-2N	4	KING KONG y CONCRETO	AMBOS
COMPORTAMIENTO NO DESEADO	Mal desempeño	Falla III		CAT-1 CAT-2	KCT-1N	3	CONCRETO	SIN CAL

En los ensayos con geomalla triaxial varios especímenes tuvieron resultados muy inciertos, por eso se realizaron nuevos ensayos en donde los resultados mostraron un patrón de falla similar a la Tabla 5.1 y Tabla 5.2(a). En los ensayos de geomalla triaxial con ladrillo de King Kong realizados en el 2015 hubo mucha incertidumbre en la serie KAT (ladrillo King Kong, mortero sin cal y geomalla triaxial), pero un comportamiento similar se tuvo en la misma serie KAT pero de los ensayos del año 2016. Es decir, el tipo de falla de los nuevos ensayos describe mejor el patrón. Luego,

la serie de especímenes CAT (ladrillo de concreto, mortero con cal y geomalla triaxial) del 2015 tuvo comportamiento similar en dos especímenes los cuales brindan información valiosa de la tendencia del tipo de falla de la serie CAT. Por ende, la Tabla 5.2 (b) muestra la clasificación de los especímenes en conjunto del 2015 y 2016 usando los dos mejores desempeños de cada serie.

Tanto en la Tabla 5.1 y Tabla 5.2 se muestra que el comportamiento deseado se tiene con ladrillo pandereta y mortero con cal. Por otro lado, los ladrillos King Kong y de concreto manifiestan una tendencia que presenta regular o mal desempeño en donde el mortero sin cal predomina. Con respecto al peor comportamiento, este se tiene con los especímenes de mortero sin cal pero, con este primer análisis, no se puede dilucidar cuál de los ladrillos tiene el peor comportamiento ya que tanto ladrillo King Kong como de concreto comparten similar predominancia en comportamiento no deseado. Para confirmar la diferencia de desempeño entre estos tipos de ladrillo se realizó otro análisis que involucra la fuerza de falla, deformación máxima de ensayos y fisuras en el mortero. La Tabla 5.3 muestra un resumen de los resultados.

Tabla 5.3 – Resumen de los ensayos de adherencia separados por tipo de geomalla

ENSAYOS CON GEOMALLA BIAxIAL						
Especimen	Fuerza máxima (kN)	Deformación máxima (mm)	Distancias de fisuras en mortero (mm)			Comentarios sobre la falla
CCB-1	1.43	19	63	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
CCB-2	1.34	14	66	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
CCB-3	1.19	11	60	105	-	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
CAB-1	1	6	85	-	-	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
CAB-2	1.05	11	92	150	-	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
CAB-3	-	-	-	-	-	-
KCB-1	1.38	12	-	-	-	Rotura de malla.
KCB-2	1.19	12	85	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
KCB-3	1.33	17	120	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
KAB-1	-	-	-	-	-	-
KAB-2	1.33	13	62	150	-	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
KAB-3	1.19	13	29	90	150	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
PCB-1	1.39	15	-	-	-	Rotura de malla
PCB-2	1.06	8	-	-	-	Rotura de malla
PCB-3	1.35	18	95	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
PAB-1	1.32	20	-	-	-	Rotura de malla.
PAB-2	1.18	10	-	-	-	Rotura de malla.
PAB-3	1.33	16	-	-	-	Rotura de malla.



ENSAYOS CON GEOMALLA TRIAXIAL						
Especimen	Fuerza máxima (kN)	Deformación máxima (mm)	Distancias de fisuras en mortero (mm)			Comentarios sobre la falla
CCT-1	2.28	22	42	80	-	Rotura de malla y 2 grietas en mortero.
CCT-2	1.59	10	75	113	150	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
CCT-3	2.61	20	40	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
CAT-1	1.3	8	110	150	-	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
CAT-2	1.26	7	34	120	150	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
CAT-3	-	-	-	-	-	-
KCT-1	1.41	7	73	-	-	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
KCT-2	1.58	7.5	70	101	150	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
KCT-3	1.27	6	-	-	-	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
KCT-1N	2.78	10				Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
KCT-2N	2.91	12				Rotura de malla
KAT-1	2.23	22	37	75	110	Rotura de malla y 3 grietas en mortero.
KAT-2	-	-	-	-	-	-
KAT-3	-	-	-	-	-	-
KAT-1N	2.02	6				Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
KAT-2N	2.76	15	120	-	-	Rotura de malla y 1 grieta en mortero.
PCT-1	2	12	38	113	150	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
PCT-2	2.4	14	44	81	120	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
PCT-3	1.83	9	76	116	150	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
PCT-1N	2.74	11.14	-	-	-	Rotura de malla
PCT-2N	2.91	11.93	-	-	-	Rotura de malla
PAT-1	2.39	17	40	85	-	Desprendimiento completo de capa de mortero e integridad de malla.
PAT-2	2.59	19	40	85	-	Rotura de malla y 2 grietas en mortero.
PAT-3	1.47	7	115	150	-	Desprendimiento de los 15cm de mortero e integridad de malla.
PAT-1N	3.25	13	-	-	-	Rotura de malla
PAT-2N	3.39	12.4	-	-	-	Rotura de malla

Los especímenes con el sufijo “N” son los nuevos ensayos que también forman parte del análisis. Con respecto a la distancia de las fisuras en el mortero, esta es la distancia medida desde el inicio del anclaje de la geomalla hasta la grieta. Para el caso de geomallas triaxiales, las grietas se forman a una distancia múltiplo de 40mm que es la distancia entre costillas paralelas para este tipo de geomalla. Por otro lado, las costillas paralelas de la geomalla biaxial están distanciadas 33mm y las grietas que se forman en especímenes con este tipo de geomalla están separadas aproximadamente una distancia múltiplo de 30mm. Las distancias entre las costillas en todo un rollo de geomalla varían debido a la incertidumbre de fabricación, por lo que en algunos especímenes las costillas estén distanciadas entre 38mm a 43mm, para el caso de las triaxiales y distanciadas entre 28mm a 33mm en el caso de las biaxiales. El patrón de formación de grietas es evidente, estas se forman sobre la posición de las costillas perpendiculares a la fuerza aplicada. En la Figura 5.1 se aprecia este fenómeno con el espécimen CCT-1 que presentó una grieta a 63mm del inicio del anclaje.



Figura 5.1 – *Medición de distancia de las grietas*

Al inicio de la aplicación de la fuerza de tracción lo primero que comienza a deformarse son las costillas paralelas a esta fuerza (en el caso de la geomalla biaxial) y las costillas oblicuas a la fuerza (en el caso de la geomalla triaxial). Estas transfieren por fricción una parte de la carga al mortero y la mayor parte lo transfieren a la costilla perpendicular a la fuerza. Estas costillas, al ser perpendiculares a la fuerza, no se deforman sino que tienden a desplazarse y empujan al mortero. Cabe resaltar que este empuje es más crítico en la geomalla triaxial ya que sus costillas tienen peralte, en cambio las costillas de las biaxiales son prácticamente planas. Cuando los esfuerzos llegan a ser transferidos a la costilla perpendicular, la adherencia y la resistencia a tracción del mortero comienzan a trabajar. La costilla primero deteriora progresivamente la capacidad adherente del mortero que lo rodea hasta que llegue a un nivel de desplazamiento tal que empuje al mortero a la falla por tracción que comienza desde la superficie del ladrillo con una pequeña grieta y esta sube a medida que el ensayo continúa hasta que el mortero falla. Generada la primera grieta, la geomalla continúa deformándose y ocurre el mismo fenómeno hasta la formación de la siguiente grieta o hasta que la geomalla se rompa.

La fuerza de falla guarda relación con el tipo de falla. Según la Tabla 5.3 se tiene mayor fuerza en las fallas de tipo I y II que en las de tipo III además que el desplazamiento global de los ensayos que tuvieron falla tipo I fueron mayores a los demás. Esto se debe, tanto en fuerza y desplazamiento, que para que ocurra el

comportamiento deseado (rotura de geomalla) se debe agotar la capacidad resistente de la geomalla y esto se genera para altos niveles de fuerza y desplazamiento.

La comparación por tipo de falla muestra una primera e importante noción de la influencia de los materiales constituyentes en el comportamiento del sistema, pero para determinar el orden de efectividad para los ladrillos se necesita comparar la fuerza de falla entre los especímenes con ladrillo pandereta contra los de King Kong y concreto. Ambos se comparan contra el ladrillo pandereta porque este es el que mejor desempeño muestra entonces el ladrillo cuyo comportamiento se asemeje más al del ladrillo pandereta será mejor. La Tabla 5.4 muestra la comparación de fuerza entre estos ladrillos.

Tabla 5.4 – Comparación de fuerza de falla por geomalla triaxial.

<b>TABLA DE FUERZAS - GEOMALLA TRIAXIAL 2016</b>			
Tipo de ladrillo	Fuerza promedio (kN)		Variación influencia de mortero
	Mortero con cal	Mortero sin cal	
<b>Pandereta</b>	2.83	3.32	14.76%
<b>King Kong</b>	2.85	2.39	<b>19.25%</b>
<b>Variación influencia de ladrillo</b>	0.70%	<b>38.91%</b>	

<b>TABLA DE FUERZAS - GEOMALLA TRIAXIAL 2015</b>			
Tipo de ladrillo	Fuerza promedio (kN)		Variación influencia de mortero
	Mortero con cal	Mortero sin cal	
<b>Pandereta</b>	2.08	2.15	3.26%
<b>Concreto</b>	2.16	1.28	<b>68.75%</b>
<b>Variación influencia de ladrillo</b>	3.70%	<b>67.97%</b>	

La Tabla 5.4 muestra la influencia de los tipos de ladrillo y de los tipos de mortero expresado en comparación de las fuerzas de falla para especímenes de geomalla triaxial. Se considera que una diferencia de fuerza significativa ocurre cuando difieren en más de 15%. Si esta tabla se analiza de manera horizontal se nota que la influencia del mortero es significativa para ladrillos que no son pandereta; esto quiere decir que la adherencia que brinda la superficie del ladrillo pandereta es tan efectiva que esta no es afectada por el tipo de mortero. Por otro lado, si se analiza de manera vertical, se

tiene que ambos cuadros cumplen con la tendencia de que la influencia de los tipos de ladrillo es significativa sólo en los especímenes con mortero sin cal. Esto demuestra que el mortero con cal uniformiza las propiedades de los especímenes y los lleva a un buen comportamiento. Al comparar ambos cuadros se nota que la influencia del mortero afecta más al ladrillo de concreto que al ladrillo King Kong con un 68.75% contra 19.25% de influencia respectivamente. Además, la influencia del cambio de ladrillos es mayor para el ladrillo de concreto que para el King Kong con un 67.97% contra 38.91% de influencia respectivamente. Todo este análisis sugiere que los especímenes de ladrillo King Kong tienen comportamiento mucho más similar a los de ladrillo pandereta que los de concreto y por ende los de King Kong serían mejores que los de concreto para este análisis de especímenes con geomalla triaxial. La Tabla 5.5 realiza la misma comparación pero para especímenes con geomalla biaxial.

Tabla 5.5 – Comparación de fuerza de falla por geomalla biaxial.

<b>TABLA DE FUERZAS - GEOMALLA BIAXIAL</b>			
Tipo de ladrillo	Fuerza promedio (kN)		Variación influencia de mortero
	Mortero con cal	Mortero sin cal	
<b>Pandereta</b>	1.27	1.27	0.00%
<b>King Kong</b>	1.3	1.26	3.17%
<b>Variación influencia de ladrillo</b>	2.31%	0.79%	

<b>TABLA DE FUERZAS - GEOMALLA BIAXIAL</b>			
Tipo de ladrillo	Fuerza promedio (kN)		Variación influencia de mortero
	Mortero con cal	Mortero sin cal	
<b>Pandereta</b>	1.27	1.27	0.00%
<b>Concreto</b>	1.32	1.03	<b>28.16%</b>
<b>Variación influencia de ladrillo</b>	3.79%	<b>23.30%</b>	

Nuevamente, una diferencia mayor al 15% se considera significativa. Cuando se comparan las fuerzas de fallas de los especímenes con pandereta y los de King Kong, se aprecia que no ocurren diferencias significativas. Independientemente del tipo de mortero que se utiliza, la fuerza de falla no se ve significativamente influenciada por el tipo de ladrillo. De la misma manera, independientemente del tipo de ladrillo que se

utiliza, la fuerza de falla no se ve significativamente influenciada por el tipo de mortero. Es decir, para los especímenes con geomalla biaxial, la fuerza de falla es muy similar entre los de pandereta y los de King Kong.

La poca rigidez y resistencia de la geomalla biaxial no lleva a la adherencia a condiciones extremas, por lo que se puede pensar que es por esto que se tienen fuerzas de falla similares. Sin embargo, la comparación entre especímenes con ladrillos de concreto y pandereta demuestra que a pesar de estar pocos demandados por el tipo de geomalla las diferencias son significativas. Con el mortero sin cal se tiene influencia significativa por el tipo de ladrillo y la influencia por tipo de mortero se nota en los ladrillos de concreto. Las fuerzas de falla son totalmente diferentes en la mayoría de los casos excepto en especímenes con mortero con cal.

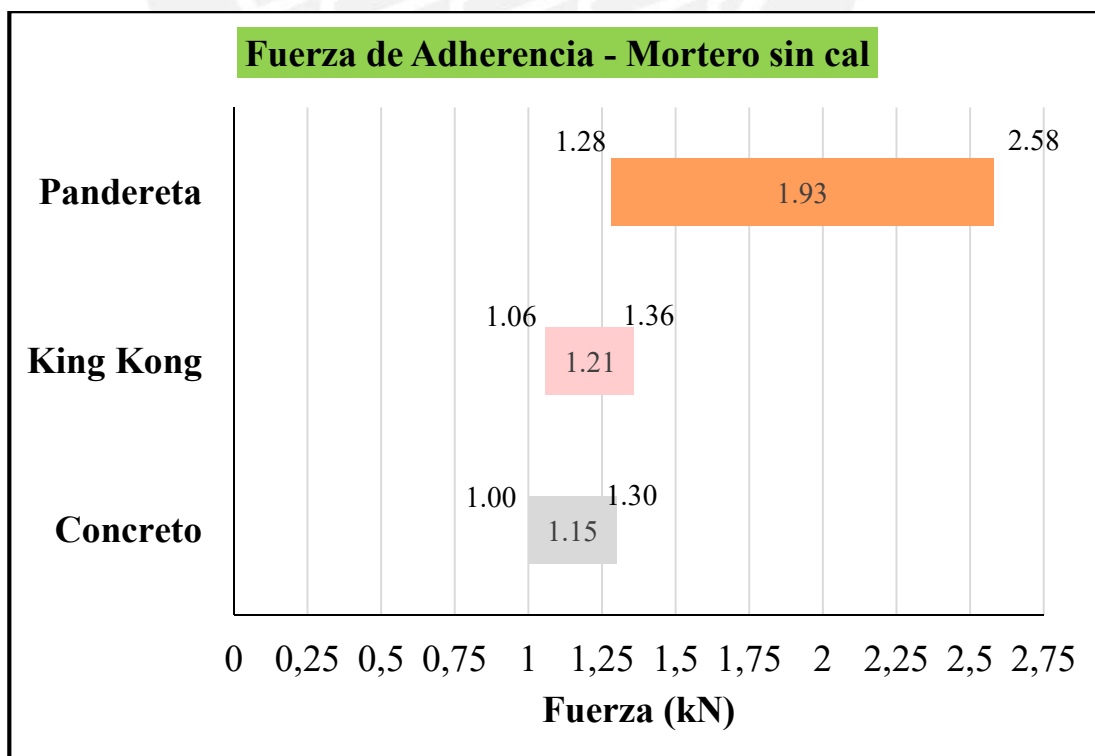
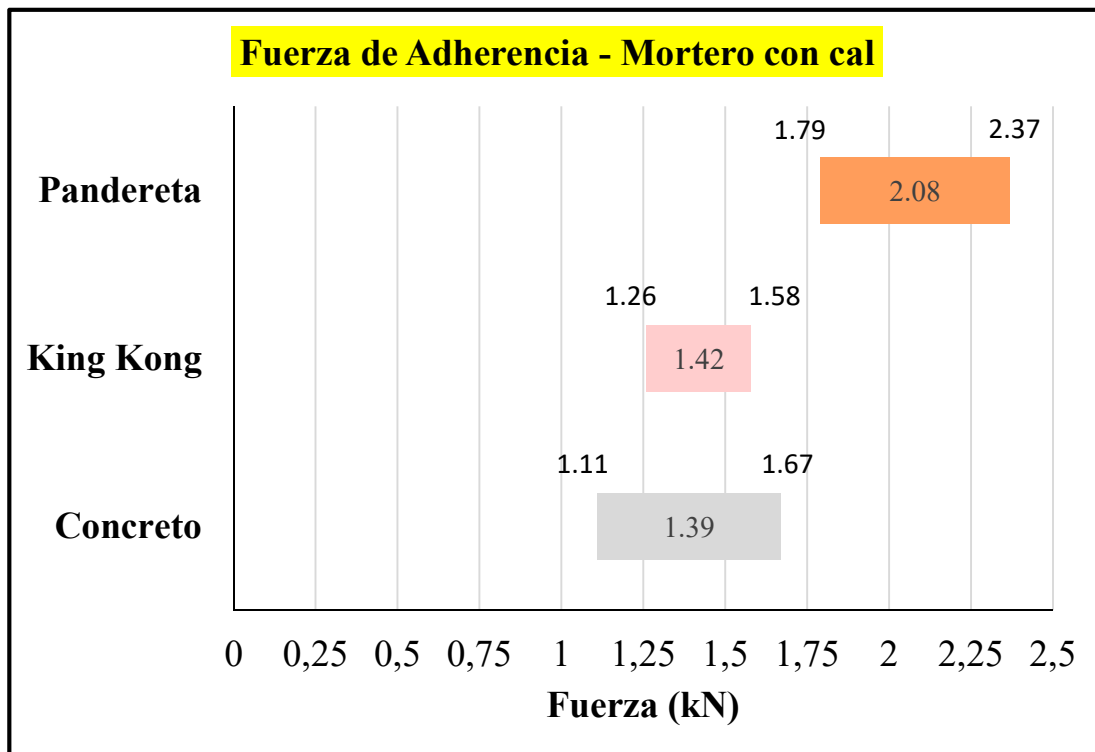
El siguiente análisis consiste en calcular de manera analítica la longitud de anclaje efectiva en base a la resistencia última de la geomalla y la resistencia adherente para cada combinación de motero-ladrillo. El tipo de falla III (desprendimiento de capa de mortero) ofrece una fuerza de falla que permite calcular la fuerza de adherencia última entre el motero y el ladrillo ya que, este se desprende completamente del mortero. En la Tabla 5.6 se muestra la fuerza promedio con su respectiva desviación estándar tomada de los resultados de los ensayos que mostraron tipo de falla III

Tabla 5.6 – *Fuerza última de adherencia.*

<b>Fuerza de adherencia de ensayos (kN)</b>		
	<b>CON CAL</b>	<b>SIN CAL</b>
<b>PANDERETA</b>	3 unidades 2.08 ± 0.29	2 unidades 1.93 ± 0.65
<b>KING KONG</b>	3 unidades 1.42 ± 0.16	2 unidades 1.26 ± 0.10
<b>CONCRETO</b>	2 unidades 1.39 ± 0.28	4 unidades 1.15 ± 0.15

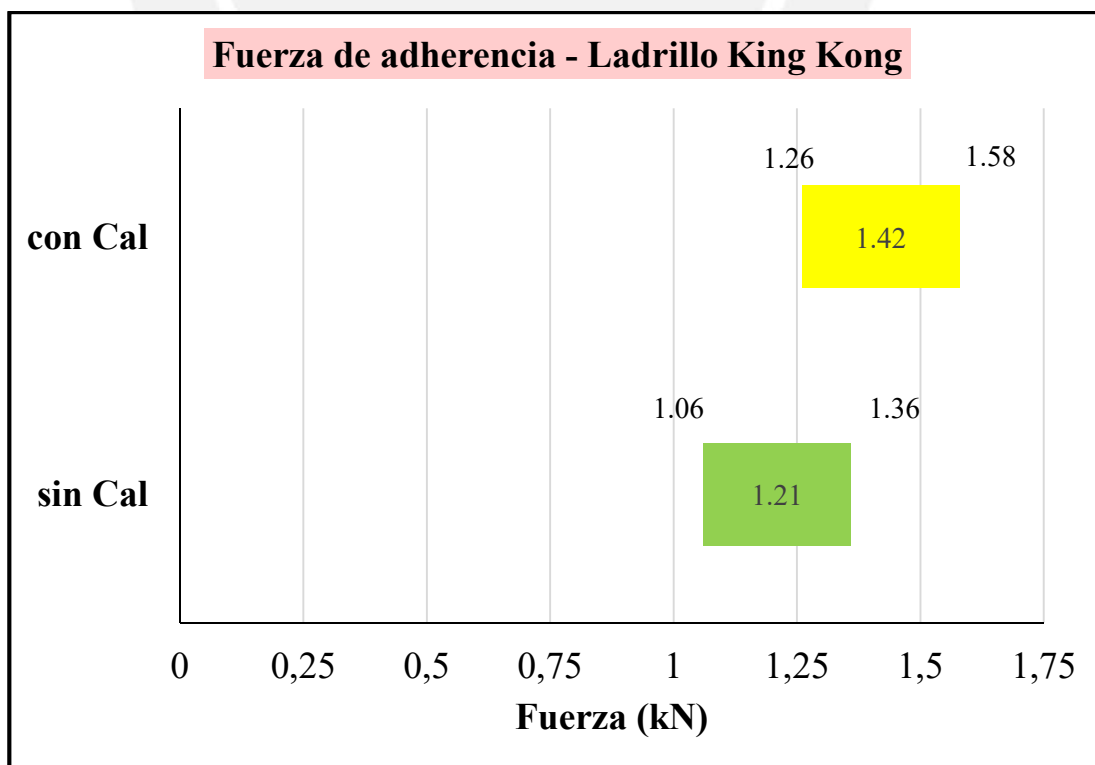
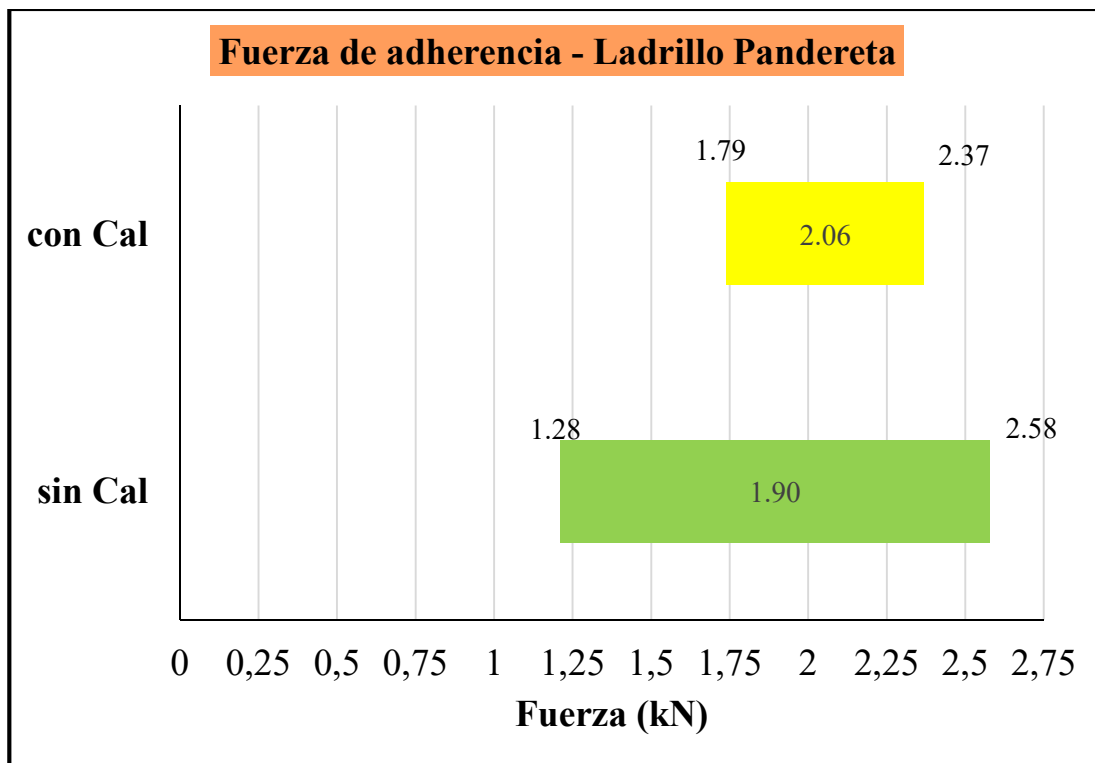
La influencia del tipo de ladrillo en la adherencia mortero-ladrillo, tomando en cuenta su variabilidad, se aprecia en la Figura 5.2.

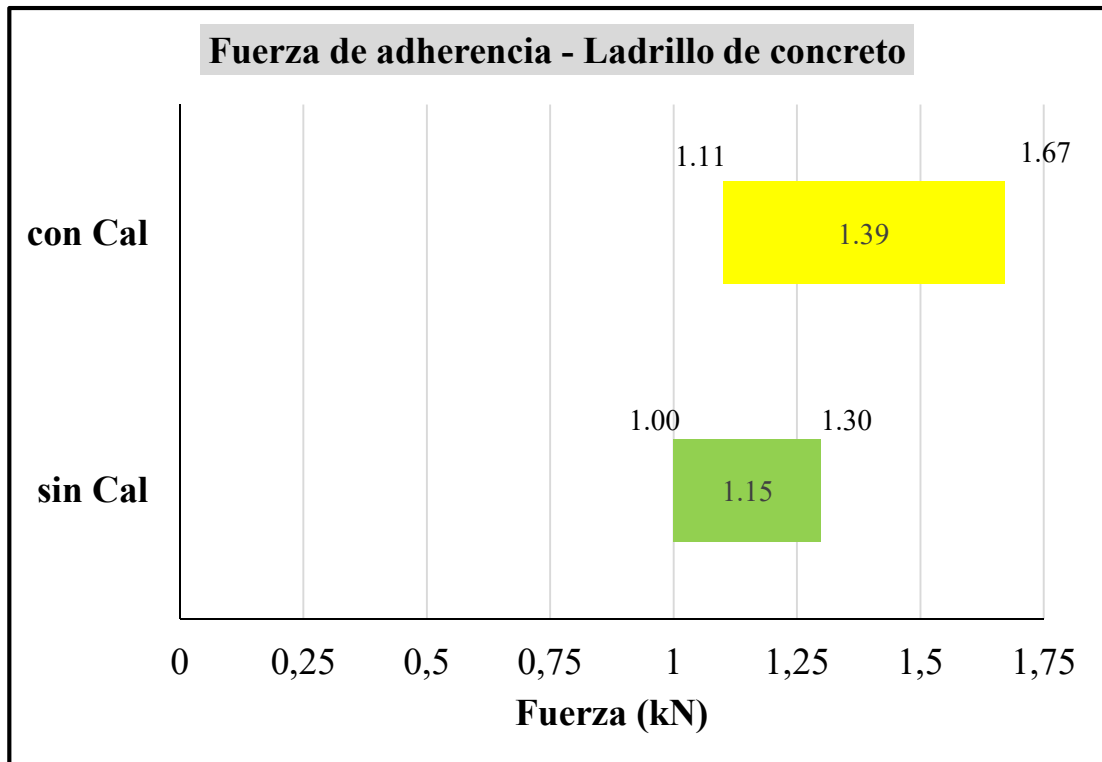
Figura 5.2 – Influencia del ladrillo en la fuerza de adherencia.



La influencia del tipo de mortero en la adherencia mortero-ladrillo, tomando en cuenta su variabilidad, se aprecia en la Figura 5.3.

Figura 5.3 – Influencia del mortero en la fuerza de adherencia.





En la Figura 5.2 se aprecia que el ladrillo pandereta marca la diferencia, en el cual tiene la más alta resistencia de adherencia sobre y cuyo rango de fuerza no se traslapa con el rango de fuerzas de los otros ladrillos. En cambio, las diferencias entre el ladrillo King Kong y el de concreto no son significativas y los rangos de fuerzas de ambos se traslapan; por lo tanto, la resistencia adherente del King Kong es igual al del concreto y la influencia del tipo de ladrillo se nota con el ladrillo pandereta.

En la Figura 5.3 muestra que la diferencia en el tipo de mortero no afecta significativamente a la fuerza de adherencia. Por ejemplo, para el ladrillo pandereta, los rangos de fuerzas entre el mortero con cal y el sin cal son similares. En el caso de ladrillo King Kong y de concreto, las diferencias son un poco más notorias, pero sólo si se analiza las fuerzas promedio, ya que sus respectivas desviaciones estándar generan que los rangos de fuerzas entre ambos morteros sean muy similares.

Esta resistencia de adherencia afecta a la longitud de anclaje efectiva y para calcularla se trabaja con los valores promedios de fuerza de adherencia. Para todos los ensayos la superficie de anclaje fueron de dimensiones 10 x 15cm, donde 10cm fue el ancho de ladrillo y 15cm de longitud de anclaje. Por ende, la superficie de anclaje fue



de 150cm<sup>2</sup> y el esfuerzo de adherencia de ladrillo-mortero se calcula dividiendo la fuerza de adherencia promedio entre esta área como se muestra en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 – *Esfuerzo promedio de adherencia.*

<b>Esfuerzo promedio de adherencia (kPa)</b>		
	<b>CON CAL</b>	<b>SIN CAL</b>
<b>PANDERETA</b>	139	129
<b>KING KONG</b>	95	84
<b>CONCRETO</b>	93	77

Según el proveedor de estas geomallas, el Anexo 1 muestra que la resistencia última a tracción de la geomalla biaxial es 12.8kN/m y el Anexo 3 muestra que para la geomalla triaxial la resistencia última es 25.4kN/m. En el Anexo 4 se explica el detalle del cálculo de la longitud de anclaje efectiva, pero básicamente esta se calcula como la resistencia última de la geomalla entre el esfuerzo de adherencia. Para el diseño, se puede expresar la longitud de anclaje mediante la siguiente fórmula general:

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

Donde:

L = longitud de anclaje efectiva (m)

F<sub>u</sub> = resistencia última a la tracción de la geomalla (kN/m)

τ = esfuerzo de adherencia ladrillo-mortero (kPa)

FS = Factor de Seguridad

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. En la Tabla 5.8 se muestra la longitud de anclaje efectiva para cada tipo de geomalla calculada con la fórmula general en donde el factor de seguridad se ha considerado equivalente a la unidad. En cada cuadro, el número superior representa la longitud de anclaje calculada por la fórmula. El color rojo de estas longitudes representa que es mayor a la longitud de anclaje utilizada en los ensayos, por lo que este espécimen tendría un comportamiento de tipo falla III. El número inferior representa la longitud de anclaje que se utilizaría variando la longitud de 5cm en 5cm.

Tabla 5.8 – Longitud de anclaje efectiva.

<b>Longitud de anclaje efectiva - BIAXIAL (m)</b>		
	CON CAL	SIN CAL
PANDERETA	0.09 <b>0.10</b>	0.10 <b>0.10</b>
KING KONG	0.14 <b>0.15</b>	0.15 <b>0.15</b>
CONCRETO	0.14 <b>0.15</b>	<b>0.17</b> <b>0.20</b>

<b>Longitud de anclaje efectiva - TRIAXIAL (m)</b>		
	CON CAL	SIN CAL
PANDERETA	<b>0.18</b> <b>0.20</b>	<b>0.20</b> <b>0.20</b>
KING KONG	<b>0.27</b> <b>0.30</b>	<b>0.30</b> <b>0.30</b>
CONCRETO	<b>0.27</b> <b>0.30</b>	<b>0.33</b> <b>0.35</b>

La Tabla 5.8 termina por manifestar la tendencia que se apreciaba en los primeros análisis. En efecto, el tipo de mortero no influye significativamente porque se necesitaría la misma longitud de anclaje para ambos morteros. En cambio, la influencia del tipo de ladrillo sí es notoria porque si se varía de ladrillo también se debe variar la longitud de anclaje. La tendencia muestra que en los especímenes con ladrillo pandereta se necesita menor longitud de anclaje que para los demás ladrillos y para los especímenes de mortero con cal se necesita menor longitud de anclaje que los de mortero sin cal.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

En esta tesis se determinó la influencia de los diferentes tipos de morteros y substratos de albañilería en la adherencia con geomallas. Los materiales utilizados presentan propiedades físicas y mecánicas diferentes las cuales manifiestan su influencia en diferentes resultados de los ensayos de adherencia.

La superficie lateral del tipo de ladrillo influye en la efectividad de la longitud de anclaje, y la superficie rayada o rugosa del ladrillo pandereta genera mejor adherencia con el mortero que las superficies lisas del ladrillo King Kong o de concreto.

La variación en el tipo de mortero no afecta significativamente en la efectividad de la longitud de anclaje. El desempeño es similar para los especímenes de mortero con cal y para los de mortero sin cal; sin embargo, para los especímenes de ladrillo King Kong y pandereta se nota la influencia positiva del mortero con cal sobre el mortero sin cal. Combinando la influencia del ladrillo y el mortero, el mejor desempeño se obtiene para especímenes con ladrillo pandereta y mortero con cal.

Acerca de la efectividad de la longitud de anclaje, 0.15 m de anclaje no es suficiente para todos los tipos de ladrillo o tipos de mortero. En los especímenes con geomalla biaxial la longitud de anclaje de 0.15m fue suficiente para que la geomalla desarrolle toda su capacidad resistente; por el contrario, en los especímenes con geomalla triaxial esta longitud de anclaje no fue suficiente y el mortero se desprendió del ladrillo en la mayoría de los casos.

En ningún caso sucedió que la geomalla se desprenda del mortero, ya que la geometría de la geomalla genera alta trabazón con el mortero.

La longitud de anclaje requerida, según este estudio, para especímenes con geomalla biaxial sería de 0.20m mientras que para especímenes con geomalla triaxial sería de 0.40m.

### **Futuras líneas de investigación**

- Investigar la efectividad del anclaje para morteros con cal de otras dosificaciones.
- Investigar analíticamente la longitud de anclaje óptima para otros tipos de materiales con base en sus propiedades mecánicas.
- Investigar la influencia de técnicas constructivas para mejorar la adherencia del mortero en la longitud de anclaje.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 440. (2010). *ACI 440.7R-10: Guide for Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures*. Michigan: American Concrete Institute.
- ACI Committee 549. (2013). *ACI 549.4R-13: Guide to Design and Construction of Externally Bonded Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures*. Michigan: American Concrete Institute.
- Alza Vilela, A. (2013). Geomallas. Obtenido de Presentacion de diapositivas de clase del profesor Augusto Alza en la Pontificia Universidad Católica del Perú
- ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- ASTM D4439-15a, Standard Terminology for Geosynthetics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org)
- Barbieri, G., Biolzi, L., Bocciarelli, M., & Cattaneo, S. (2015). Pull out of FRP reinforcement from masonry pillars: Experimental and numerical results. *Composites Part B: Engineering*, 69, 516–525. doi:10.1016/j.compositesb.2014.10.025
- Bossio, S., Blondet, M., & Rihal, S. (2013). Seismic behavior and shaking direction influence on adobe wall structures reinforced with geogrid. *Earthquake Spectra*, 29(1), 59-84. doi:10.1193/1.4000096
- Carlioni, C., & Subramaniam, K. (2012). FRP-Masonry Debonding: Numerical and Experimental Study of the Role of Mortar Joints. *Journal of Composites for Construction*, 16(5), 581-589. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000282
- Carozzi, F. G., & Poggi, C. (2015). Mechanical properties and debonding strength of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for masonry strengthening. *Composites Part B*, 70, 215-230. doi:10.1016/j.compositesb.2014.10.056

- Carozzi, F. G., Colombi, P., & Poggi, C. (2015). Calibration of end-debonding strength model for FRP-reinforced masonry. *Composite Structures*, 120, 366–377. doi:10.1016/j.compstruct.2014.09.033
- D'Ambrisi, A., Feo, L., & Focacci, F. (2013). Experimental and analytical investigation on bond between Carbon-FRCM materials and masonry. *Composites Part B*, 46, 15-20. doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.018
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Lima: Pucp.
- Ghiassi, B., Oliveira, D., Lourenço, P., & Marcari, G. (2013). Numerical study of the role of mortar joints in the bond behavior of FRP-strengthened masonry. *Composites Part B*, 46, 21-30. doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.017
- Koerner, R. M. (2012). *Designing with geosynthetics*. [S.l.]: Xlibris Corp.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.070 Albañilería*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento / Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO] .
- Morante Portocarrero, Á. A. (2011). *Mejora de la adherencia mortero-ladrillo de concreto*. Tesis de licenciatura publicada, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/176>
- Mortar Industry Association. (2004). *Admixtures for mortar*. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de Mortar Industry Association: [www.mortar.org.uk](http://www.mortar.org.uk)
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K., & Papathanasiou, M. (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading. *Materials and Structures*, 40(10), 1359-5997. doi:10.1617/s11527-006-9207-8
- San Bartolomé, Á. F. (1994). *Construcciones de albañilería : comportamiento sísmico y diseño estructural*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial PUCP.

Sofronie, R. (2005). *Application of reinforcing techniques with polymer grids for masonry buildings: No. 5*. CASCADE Report.

Torrealva, D. (2015). Refuerzo superficial para viviendas de albañilería de ladrillo. Obtenido de Presentacion de diapositivas de clase del profesor Daniel Torrealva en la Pontificia Universidad Católica del Perú

