

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto

**REFORZAMIENTO A CORTANTE EN PAREDES DE LADRILLO, BLOQUE Y ADOBE UTILIZANDO
MATERIALES COMPUESTOS FRCM DE CABUYA**

Autor:

Jahiro Alejandro Llerena Martínez

Tutor:

Ing. Oscar Cevallos PhD.

Riobamba – Ecuador

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: **“REFORZAMIENTO A CORTANTE EN PAREDES DE LADRILLO, BLOQUE Y ADOBE UTILIZANDO MATERIALES COMPUESTOS FRCM DE CABUYA”** presentado por **Jahiro Alejandro Llerena Martínez** y dirigida por Ing. Oscar Cevallos PhD. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en el cual se ha constado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la bibliografía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

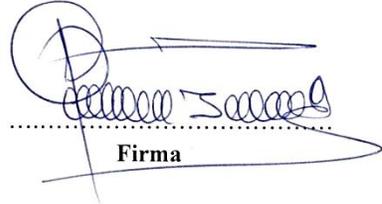
Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Oscar Cevallos PhD.
Director de Proyecto



Firma

Ing. Javier Palacios
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Víctor García PhD
Miembro del Tribunal



Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Oscar Cevallos**, en calidad de tutor de Tesis, cuyo tema es: “REFORZAMIENTO A CORTANTE EN PAREDES DE LADRILLO, BLOQUE Y ADOBE UTILIZANDO MATERIALES COMPUESTOS FRCM DE CABUYA”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor **Jahiro Alejandro Llerena Martínez** para que se presenten ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

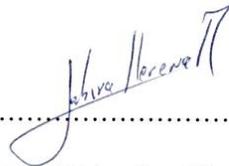
Atentamente,



.....
Ing. Oscar Cevallos
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación, corresponde exclusivamente a: Jahiro Alejandro Llerena Martínez e Ing. Oscar Cevallos; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad nacional de Chimborazo.

A handwritten signature in blue ink that reads "Jahiro Llerena". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal dotted line.

Sr. Jahiro Alejandro Llerena Martínez
C.I.1715952279

AGRADECIMIENTO

A Dios, por las bendiciones dadas al llevar esta vida universitaria y poder terminar esta etapa más en mi vida.

A mis padres Beatriz y Humberto por ser ese pilar fundamental y jamás dejarme solo en este camino.

A mis amigos, estudiantes y docentes que logre conseguir durante estos años compartidos dentro y fuera de las aulas.

A la universidad por darme las enseñanzas necesarias para poder lograr el objetivo de convertirme en un profesional.

En especial al Ing. Oscar Cevallos quien me apoyo a pesar de las adversidades presentadas, en esta investigación y poder lograr al final culminar con la misma.

Jahiro Alejandro Llerena Martínez

DEDICATORIA

A Dios por lograr tener esa fé incondicional de lograr los objetivos planteados.

A Beatriz y Humberto, quienes fortalecen mi vida y me guiaron en mi camino para poder lograr esta meta, y es un esfuerzo que tanto lo anhelaba como padres, verme como todo un profesional. Y a pesar de todo ellos son los primeros y los únicos quienes creyeron en verme cumplir esta meta.

A Josue y Helviz, mis hermanos esperando que ellos vean mis errores y no cometerlos para poder lograr cumplir con su meta futuros colegas.

A Catherine, mi novia quien en el tiempo estudiantil fue mi apoyo condicional en una ciudad de donde no pertenecía, y se convirtió en mi compañía y fortaleza diariamente.

A mis Familiares, Tías, Tíos, Primas Y Primos que de una u otra forma supieron darme aliento para lograr culminar con esta meta planteada.

A mis amigos, me cansaría nombrándoles pero saben quiénes de todo corazón me apoyaron de diferentes maneras, dando ánimos, apoyándome a realizar diferentes cosas dentro de la universidad y acompañarme también en la vida universitaria.

Jahiro Alejandro Llerena Martínez

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	III
INDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	V
ABSTRAC	VI
1. Introducción.....	1
3. Marco teórico.....	4
3.1. Mampostería	4
3.2. Mortero.	4
3.3. Refuerzo.....	5
3.4. Cabuya	5
3.5. FRCCM (Fabric-Reinforced-Cementitious-Matrix-Composites)	6
3.6. Compresión Diagonal en Mampostería	7
3.7. Resistencia básica de corte.....	9
4. Metodología:.....	10
4.1. Materiales y Métodos.....	11
4.1.1. Materiales	11
4.1.2. Métodos.....	14
4.1.2.1. Elaboración de Pilas y Paredes.....	16
5. Resultados y Discusión.....	26
5.1. Caracterización de materiales.	26
5.2. Resultados de las pruebas en pilas y paredes.....	29
5.3. Mecanismos de falla a compresión diagonal	46
5.4. -Análisis de la variación de resultados.....	50
6. CONCLUSIONES.....	59
7. Bibliografía:.....	61
8. Anexos:.....	64
8.1. Anexo 1. Ensayo de compresión de mampuestos de ladrillo.....	64

8.2.	Anexo 2. Ensayo de Flexión de mampuestos de ladrillo.	65
8.3.	Anexo 3. Ensayo de Absorción de mampuestos de ladrillo.....	66
8.4.	Anexo 4. Ensayo a Compresión de mampostería de Bloque.	67
8.5.	Anexo 5. Ensayo de Absorción de mampuestos de bloque.	68
8.6.	Anexo 6. Ensayo de compresión de mampuestos de Adobe.	69
8.7.	Anexo 7. Análisis Granulométrico. Agregado Fino (Macadam).	70
8.8.	Anexo 8.Masa Unitaria Suelta (<i>ASTM C29</i>).	75
8.9.	Anexo 8. Masa Unitaria Compactada (<i>ASTM C29</i>).	76
8.10.	Anexo 9. Densidad (<i>ASTM C127</i>).	77
8.11.	Anexo 10. Absorción (<i>ASTM C127</i>).	78
8.12.	Anexo 11. Densidad del Cemento.	79
8.13.	Anexo 12. Compresión en Mortero de Pega.	80
8.14.	Anexo 13. Flexión en Mortero de Pega.	81
8.15.	Anexo 14. Fluidez en Mortero de Pega.	82

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 TABLA DE ESTUDIOS PREVIOS EN COMPRESIÓN DIAGONAL.	8
TABLA 2 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.	26
TABLA 3 CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS Y FRCM	28
TABLA 4 COMPRESIÓN DE PILAS	30
TABLA 5 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMPRESIÓN DIAGONAL.....	35
TABLA 6 PROBABILIDAD Y CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS ESFUERZOS.	51
TABLA 7 PROBABILIDAD Y CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD.....	52
TABLA 8 PROBABILIDAD Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS ENERGÍAS DE ROTURA.	53
TABLA 9 PROBABILIDAD Y CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS DEFORMACIONES.	55
TABLA 10 PROBABILIDAD Y CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS ESFUERZOS A CORTE.	56
TABLA 11 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE LADRILLO.....	64
TABLA 12 ENSAYO DE FLEXIÓN EN LADRILLO.....	65
TABLA 13 ENSAYO DE ABSORCIÓN DE LADRILLO.	66
TABLA 14 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE BLOQUE.	67
TABLA 15 ENSAYO DE ABSORCIÓN EN BLOQUE.....	68
TABLA 16 ENSAYO DE COMPRESIÓN DE ADOBE.....	69
TABLA 17 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MACADAM M1.	70
TABLA 18 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MACADAM M2.	70
TABLA 19 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MACADAM M3.	71
TABLA 20 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MACADAM M4.	71
TABLA 21 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE MACADAM M5.	72
TABLA 22 ENSAYO DE MASA UNITARIA SUELTA DE AGREGADO FINO.	75
TABLA 23 ENSAYO DE MASA UNITARIA COMPACTADA DE AGREGADO FINO.	76
TABLA 24 ENSAYO DE DENSIDAD DE AGREGADO FINO.	77
TABLA 25 ENSAYO DE ABSORCIÓN EN AGREGADO FINO.	78
TABLA 26 DENSIDAD DEL CEMENTO.	79
TABLA 27 ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE MORTERO DE PEGA.	80
TABLA 28 ENSAYO DE FLEXIÓN DE MORTERO DE PEGA.	81
TABLA 29 ENSAYO DE FLUIDEZ MORTERO DE PEGA.	82

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA. 1 TIPOS DE FALLAS.....	9
FIGURA. 2 PROCESO DE LA METODOLOGÍA PLANTEADA.....	10
FIGURA. 3 MAMPUESTO- LADRILLO.....	11
FIGURA. 4 MAMPUESTO DE BLOQUE - DETALLE.....	11
FIGURA. 5 MAMPOSTERÍA-ADOBE.....	12
FIGURA. 6 TEJIDO DISEÑADO.....	14
FIGURA. 7 ELABORACIÓN DE MUESTRA.....	17
FIGURA. 8 MUESTRAS DE MAMPUESTOS COMPRESIÓN DIAGONAL.....	17
FIGURA. 9 PILAS DE MAMPUESTOS.....	18
FIGURA. 10 APLICACIÓN DEL FRCM.....	18
FIGURA. 11 DETALLE DE FRCM.....	19
FIGURA. 12 TIPOS DE FALLA EN PRISMAS DE MAMPOSTERÍA.....	20
FIGURA. 13 ESQUEMA DE ENSAYO A COMPRESIÓN DIAGONAL.....	21
FIGURA. 14 MUESTRA PARA COMPRESIÓN DIAGONAL.....	22
FIGURA. 15 MAMPOSTERÍA HUECA, ÁREA NETA. A) MUESTRA SIN REFUERZO .B) MUESTRA CON REFUERZO.....	24
FIGURA. 16 COMPRESIÓN DE PILAS DE LADRILLO (ESFUERZO- DEFORMACIÓN).....	31
FIGURA. 17 COMPRESIÓN DE PILAS DE BLOQUE. (ESFUERZO-DEFORMACIÓN).....	31
FIGURA. 18 COMPRESIÓN DE PILAS DE ADOBE. (ESFUERZO -DEFORMACIÓN).....	32
FIGURA. 19 COMPRESIÓN DIAGONAL MAMPUESTO DE LADRILLO SIN REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	37
FIGURA. 20 CARGA DIAGONAL MAMPUESTO DE BLOQUE SIN REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	38
FIGURA. 21 COMPRESIÓN DIAGONAL MAMPUESTO DE ADOBE SIN REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	39
FIGURA. 22COMPRESIÓN DIAGONAL MAMPUESTO DE LADRILLO CON REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	40
FIGURA. 24 COMPRESIÓN DIAGONAL MAMPUESTO DE BLOQUE CON REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	41
FIGURA. 25 COMPRESIÓN DIAGONAL MAMPUESTO DE ADOBE CON REFUERZO (CARGA VS DEFORMACIÓN).....	42
FIGURA. 26 MAMPUESTO DE LADRILLO SIN REFUERZO Y CON REFUERZO (ESFUERZO DE CORTE VS DEFORMACIÓN UNITARIA).....	43
FIGURA. 27 MAMPUESTO DE BLOQUE SIN REFUERZO Y CON REFUERZO (ESFUERZO DE CORTE VS DEFORMACIÓN UNITARIA).....	44
FIGURA. 28 MAMPUESTO DE ADOBE SIN REFUERZO Y CON REFUERZO (ESFUERZO DE CORTE VS DEFORMACIÓN UNITARIA).....	45
FIGURA. 29 PAREDES ENSAYADAS COMPRESIÓN DIAGONAL SIN REFUERZO.....	47
FIGURA. 30 PAREDES ENSAYADAS COMPRESIÓN DIAGONAL CON REFUERZO.....	48
FIGURA. 31 FALLA EN PAREDES DE BLOQUE, A. MUESTRA SIN REFUERZO. B. MUESTRA CON FRCM.....	49
FIGURA. 32 FALLA EN PAREDES DE LADRILLO CON REFUERZO.....	50
FIGURA. 33 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LOS ESFUERZOS BRUTOS DE LAS MUESTRAS DE PILAS.....	51
FIGURA. 34 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE LAS MUESTRAS DE PILAS.....	52
FIGURA. 35 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LAS ENERGÍAS DE ROTURA DE LAS MUESTRAS DE PILAS.....	53
FIGURA. 36 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LAS DEFORMACIONES UNITARIAS MÁXIMAS DE LAS MUESTRAS DE PILAS.....	54
FIGURA. 37 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LOS ESFUERZOS CORTANTES EN PAREDES.....	56
FIGURA. 38 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON LAS DEFORMACIONES MÁXIMAS UNITARIAS DE LAS PAREDES.....	57
FIGURA. 39 ANÁLISIS ESTADÍSTICO MÓDULO DE RIGIDEZ DE PAREDES.....	58
FIGURA. 40 GRANULOMETRÍA MACADAM M1.....	72
FIGURA. 41GRANULOMETRÍA MACADAM M2.....	73
FIGURA. 42 GRANULOMETRÍA MACADAM M3.....	73
FIGURA. 43 GRANULOMETRÍA MACADAM M4.....	74
FIGURA. 44 GRANULOMETRÍA MACADAM M5.....	74

RESUMEN.

El Ecuador, al encontrarse en el cinturón de fuego en América del Sur, tiene una gran incidencia de eventos sísmicos. La presencia de eventos sísmicos afecta considerablemente a los elementos de una edificación, por lo cual surge la necesidad de analizar nuevas técnicas de reforzamiento para la construcción y de esta manera, mitigar los efectos destructivos. Los materiales compuestos FRCM (Fabric-Reinforced-Cementitious-Matrix-Composites) son técnicas que ayudan al reforzamiento de los diferentes elementos estructurales tales como: columnas, vigas, y paredes. Las fibras comúnmente empleadas como reforzamiento son fibras artificiales, minerales y naturales. Para este estudio se emplearon fibras de cabuya que son fáciles de encontrar en el páramo andino. El presente estudio busca la utilización de materiales compuestos FRCM reforzados con fibras de cabuya para mejorar el comportamiento de paredes frente a solicitaciones de corte. En tal virtud, se construyeron 18 paredes y 18 pilas de diferentes medidas y tipos de mampuesto. Los tipos de mampostería utilizada fueron ladrillo, bloque y adobe. Para evaluar la eficacia del refuerzo se realizaron pruebas de compresión en las pilas y de compresión diagonal en las paredes. Los resultados se compararon con los obtenidos ensayando muestras de control sin refuerzo. El ensayo de compresión diagonal en paredes y de compresión en pilas evidenció el mejoramiento de hasta 20 veces la resistencia, respecto a las muestras no reforzadas. Además, los elementos de mampostería reforzados con sistemas FRCM de cabuya demostraron mayor ductilidad en comparación con las paredes no reforzadas.

Palabra claves: FRCM, cabuya, paredes, pilas, sismos, fibras, compresión diagonal

ABSTRACT

Ecuador is in the belt fire in South America, it has a great incidence of seismic events. The presence of this natural event affects significantly to the elements of a building, for which appear the necessity to analyze new techniques reinforcement for the construction and thus mitigate destructive effects. The composites from (fabric-reinforced-cementitious-Matrix-composites) are techniques that help to reinforce the different structural elements such as: columns, beams, and walls. Fibers commonly used as support are artificial fibers, Minerals and natural. For this study is used cabuya fibers, they are easy to find in the wilderness Andean. This study is looking for the use of composite materials from-reinforced fibers cabuya to improve the performance of walls against solicitations cutting. For this reason, built 18 walls and 18 batteries of different measures and types of mampuesto. Those types of masonry used were brick, block and Adobe. To evaluate the effectiveness of the reinforcement were made tests compression in batteries and compression diagonal in the walls. The results were compared with those obtained rehearsing control samples without reinforcement. Testing compression diagonal in walls and compression in batteries evidenced improving up to 20 times resistance, regarding the samples not protected. In addition, the elements of masonry-reinforced systems from of cabuya showed greater ductility compared to the walls not reinforced.

Key Words: from, cabuya, walls, batteries, earthquakes, fibers, compression diagonal



Reviewed by: López, Ligia,
LINGUISTIC COMPETENCES TEACHER



1. Introducción

El planeta tierra está siempre en constantes cambios y movimientos, un estudio de la BBC de Londres, afirma que el 90% de los terremotos suceden en lo que se ha denominado el “Cinturón de Fuego del Pacífico” (Tavares, 2018). Para enfrentar eventos telúricos y movimientos sísmicos son necesarias estructuras seguras que cumplan con las demandas de los códigos de construcción. Las paredes de mampostería son elementos de una estructura pero carecen de un adecuado comportamiento cuando las solicitaciones se presentan fuera del plano, es decir cuando estas no son fuerzas de compresión únicamente (Barros, 2017). Las acciones sísmicas producen serios daños en las estructuras debido al volcamiento de paredes; una de las causas puede ser la poca adherencia o limitada interacción entre el mampuesto y el material de unión (Venneri, 2011). En Ecuador, las paredes de mampostería se construyen de manera tradicional, usando ladrillo, bloque o adobe y un mortero de pega. Actualmente, el uso del adobe es muy limitado debido a los serios problemas estructurales que se han observado en las edificaciones (Suarez, 2014), por lo que, este tipo de edificaciones necesita de intervenciones de reforzamiento para dar seguridad a sus ocupantes frente a la ocurrencia de un sismo. Existen varias técnicas de reforzamiento de paredes que han demostrado su eficacia tales como refuerzo con FRP (Barros, 2017), refuerzo con barras (Paez, Parra, & Montaña, 2009) y refuerzo con malla electro soldada (Albuja & Pantoja, 2017). Sin embargo, el uso de materiales compuestos cementicios reforzados con tejidos (FRCM) ha despertado el interés durante los últimos años, como lo destaca Arboleda, (2014). Son varios los estudios que se han llevado cabo usando fibras sintéticas o minerales, tales como: vidrio (Elgaaly & Asce, 2005 , Sagar, Singhal, et al., 2013), carbono (Babaeidarabad et al., 2014), PBO (Cevallos et al., 2015), entre otras, y actualmente se han impulsado otro tipo de estudios relacionados al

posible uso de otro tipo de fibras que sean sostenibles y sustentables. Así, el uso de materiales del entorno como las fibras de cabuya (sisal) despierta el interés de los investigadores debido a que es un material que tiene buenas propiedades mecánicas, buena interacción entre matriz y sustrato, no es invasivo en su aplicación y ha demostrado tener potencial para el reforzamiento de estructuras de mampostería como lo ha hecho en columnas (Moreno & Rodas, 2017), vigas (Pazmiño & Guamán, 2016)(Parisi, et al, 2019)(Brito, et al, 2017)(Wan, 2005)

En la presente investigación se realizó una caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los elementos de la mampostería y se evaluó el comportamiento mecánico de paredes de ladrillo, bloque y adobe mediante pruebas de compresión diagonal según lo establecido por la norma ASTM-E519 (ASTM-E519, 2015) y mediante pruebas de compresión en pilas según la norma ASTM-C13 (ASTM-C13, 2014). Estos resultados se compararon con los obtenidos al reforzar pilas y paredes con materiales compuestos FRCM de cabuya. Los resultados del estudio indican que el sistema de reforzamiento permitió mejorar significativamente la resistencia y la capacidad de deformación de las pilas y paredes de mampostería sometidas a esfuerzos de compresión y de corte.

2. Objetivos:

Objetivo General

Analizar el reforzamiento a corte en paredes de ladrillo bloque y adobe utilizando un material compuesto FRCM de Cabuya.

Objetivo Específico

Determinar el comportamiento de materiales compuestos FRCM de cabuya, como reforzamiento en paredes de ladrillo, bloque y adobe.

Analizar pilas con reforzamiento y sin reforzamiento sometidas a ensayo de compresión.

Determinar el esfuerzos a corte presentes en paredes en sometidas al ensayo de compresión diagonal.

Identificar las fallas presentes en las paredes sometidas a cargas externas.

3. Marco teórico.

3.1.Mampostería

La mampostería es un sistema de construcción tradicional. Consiste en superponer rocas, ladrillos o bloques de concreto prefabricados, para la edificación de muros o paramentos. Los materiales uniformes o no, también llamados mampuestos, se disponen de forma manual y aparejada. Para su adición se emplea una mezcla de cemento o cal, con arena y agua.

Existe una variedad de mamposterías: ladrillos macizos, ladrillos huecos, bloques con perforación vertical, etc., mediante éstos materiales se realizan paredes conformadas por muros contruidos con unidades de mampostería que se unen con mortero.

Para que el funcionamiento de este sistema se considere monolítico, los muros deben ser continuos desde la cimentación hasta la cubierta. Los muros de mampostería reforzada externamente son aquellos en donde el refuerzo consiste en la utilización de mallas electro soldadas que se colocan dentro del mortero de recubrimiento en ambas caras laterales de los muros fijándose mediante conectores o clavos de acero (Albuja & Pantoja, 2017).

3.2.Mortero.

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Entre sus características deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento; y, además garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante (Gonzalez, 2012).

3.3.Refuerzo.

El refuerzo se utiliza para incrementar la resistencia y rigidez mecánicas, se emplean también refuerzos para mejorar el comportamiento a altas temperaturas o la resistencia a la abrasión (Stupenengo, 2011).

3.4.Cabuya

La cabuya es una de las fibras vegetales más representativas de América que ofrece infinidad de utilidades, esta planta produce tira larga, dura por lo que poseen atributos importantes. La cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono. Entre sus ventajas en su utilización son ambientales no contaminan el agua, así como económicas su bajo costo. La utilidad de la cabuya en la construcción es su gran resistencia que se debe a sus propiedades mecánicas (Checa & Jurado, 201):

- Densidad : 1,3 g/cm³
- Resistencia a la Tracción : 305,15 MPa
- Módulo de Elasticidad : 7,5 GPa
- Elongación a la fractura : 4,96 %

La composición química que posee las fibras de cabuya son las siguientes. (Checa & Jurado, 2001):

- Celulosa (% peso) : 62,7
- Lignina (% peso) : 15,5
- Pentosas (% peso) : 17,7

3.5.FRCM (Fabric-Reinforced-Cementitious-Matrix-Composites)

FRCM son sistemas de refuerzo su presencia en la mampostería determina su liberación, como sistema estructural, de las ataduras de las resistencias a la compresión, tracción y cortante. Poseen dos componentes primarios: la matriz cementicia y una o más mallas de refuerzo conformadas por haces de fibras. La matriz corresponde típicamente a un mortero fino compuesto por cemento portland puzolánico con una baja dosis de polímeros secos, una arena fina de granulometría continua y con una adición de microfibras para asegurar un desempeño tixotrópico en estado fresco y controlar la microfisuración asociada a la retracción del mortero (Sandoval, 2014).

La técnica de reforzamiento FRCM parte de un concepto básico que conforma el correcto complemento entre el tejido y el mortero usado, conteniendo una matriz cementicia que cumplirá adecuadamente con el interés de fortalecer estructuras.

El FRCM-cabuya tiene ventajas económicas por su bajo coste ya que no requiere de nuevas tecnologías para ser elaborado, sino que se fabrica de manera sencilla, simplificando su aplicación y uso (Arboleda, 2014).

La implementación de fibras de cabuya en un material compuesto utilizado como reforzamiento, mejora la resistencia a flexión y tracción de un mortero.

Las propiedades que ostentan las fibras de cabuya, generan un aumento en la resistencia de los elementos con FRCM de cabuya.

Según Marcillo & Miño, (2017) la cabuya usada como tejido complementario del refuerzo ayuda a la adherencia entre todos los elementos, gracias a su diseño y permitiendo por medio de este, mayor inserción del mortero, se entiende que al ocupar mayor espacios en el tejido complementara la matriz del material compuesto.

El FRCM de cabuya es de fabricación sencilla facilitando su aplicación y uso, esto genera ventajas económicas debido a que no requieren nuevas tecnologías en su elaboración (Arboleda, 2014).

3.6.Compresión Diagonal en Mampostería

En literatura se puede recabar información del comportamiento de elementos de mampostería determinado mediante pruebas de compresión diagonal. En estos estudios se han utilizado diversas técnicas de reforzamiento. A continuación se presenta un resumen de los resultados de estudios realizados en los últimos años para evaluar la eficacia de sistemas de reforzamiento y para mejorar las propiedades de los elementos frente a solicitaciones de corte (ver Tabla 1). Es importante destacar que la información todavía es limitada en este tema, más aun si se trata de sistemas FRCM de cabuya. Por otro lado, los trabajos realizados no estudian el reforzamiento de los tres tipos de mampuestos considerados en esta investigación.

Tabla 1 Tabla de Estudios Previos en Compresión Diagonal.

Referencia	Tipo de Mampuesto	Dimensiones (mm)			# de Muestras	Tipo de Reforzamiento		Esfuerzo a Corte (MPa)	Deformación a corte (mm/mm)	Incremento de Resistencia (%)	Incremento de capacidad de deformación (%)
						Nomenclatura	Capas				
(Babaeidarabad, Caso, et al., 2014)	Ladrillo	1145	1220	92	3	URM	0	0.603	0.00073	-	-
					3	FRCM de carbono	1	1.323	0.00067	119.40	-8.22
					3	FRCM de carbono	4	2.86	0.00077	374.29	5.48
(Sagar et al., 2013)	Ladrillo	352	345	78	3	URM	0	1.78	0.0017	-	-
					3	FRCM de Vidrio	1	1.86	0.018	4.49	958.82
(Menna et al., 2015)	Ladrillo	1180	1180	250	2	URM	0	0.141	0.0004	-	-
					2	C-HFC-PT Caano	1	0.7485	0.00138	430.85	-65.5
					2	C-HFC-MW Caano	1	0.7575	0.00078	437.23	-80.5
(Venneri, 2011)	Ladrillo	510	510	120	4	URM	0	1.09	0.00064	-	-
					2	FRCM de Caano	1	1.31	0.00075	20.18	17.19
					3	FRCM de Lino	1	1.56	0.0009	43.12	40.63
					4	FRCM de Vidrio	1	1.55	0.00068	42.20	6.25
(Babaeidarabad, Arboleda, Loreto, & Nanni, 2014)	Bloque	1220	1220	92	3	URM	0	1.06	0.00033	-	-
					3	FRCM de carbono	1	2.06	0.0012	94.33	263.64
					3	FRCM de carbono	4	2.493	0.00043	135.18	30.30
(Elgaaly & Asce, 2005)	Bloque	770	622	102	3	URM	0	0.81	0.00023	-	-
					3	FRP de vidrio	1	4.06	0.0014	401.23	508.69
(Suhelmidawati, 2010)	Adobe	275	275	50	3	URM	0	0.023*	-	-	-
					3	FRM de Abaca	1	0.033*	-	0.44	-

Nota: Datos calculados en funcion de las cargas y dimensiones de las muestras reportados en el estudio.

3.7. Resistencia básica de corte

De acuerdo a Baqueiro, Gómez, Rivera, & Marín,(2009)), la resistencia básica de corte se obtiene del cociente entre la carga de agrietamiento diagonal y el área bruta de la sección diagonal del murete.

Las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a compresión diagonal pueden ser de tres tipos:

a. Falla por tensión diagonal en bloques: se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta

b. Falla por tensión diagonal en juntas: se produce por la falla por adherencia bloque-mortero, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete

c. Falla por deslizamiento: se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal, estas fallas se pueden evidenciar en la Figura 1.

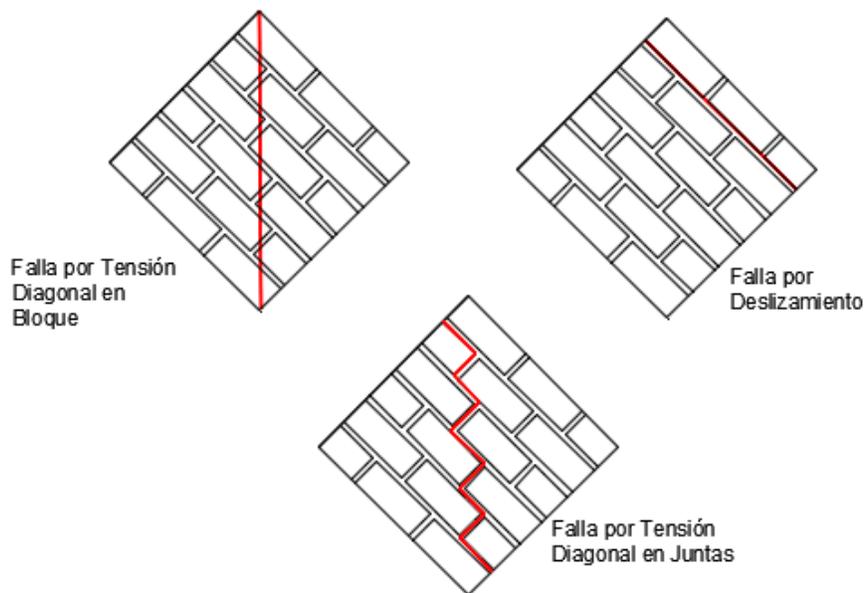


Figura. 1 Tipos de Fallas.
Fuente: (Baqueiro et al., 2009)

4. Metodología:

En el estudio se implementó un método que determina el cortante en mamposterías por medio de ensayos de laboratorios a través de su comportamiento con material compuesto como refuerzo y sin la implementación del mismo. A través del siguiente esquema grafico se observa el proceso a seguir. Figura 2:

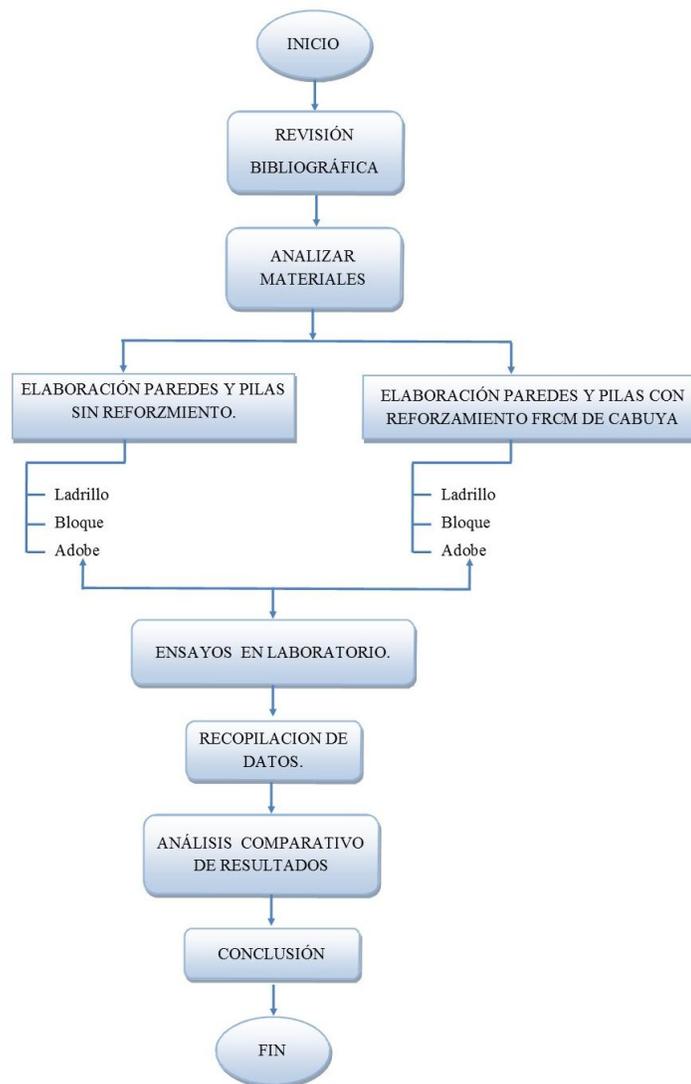


Figura. 2 Proceso de la metodología planteada.
Elaborado por: Jahiro Llerena

4.1. Materiales y Métodos

4.1.1. Materiales

Los materiales son todos los insumos físicos necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación.

- Mampuestos.

- Ladrillo.

Los ladrillos usados en este estudio fueron piezas rectangulares de arcilla cocida. Los ladrillos fueron obtenidos de fábricas del cantón Chambo. Sus dimensiones se presentan en la Figura 3.

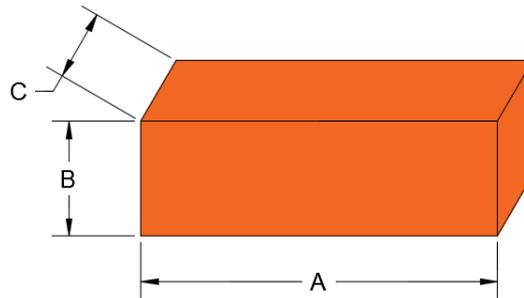


Figura. 3 Mampuesto- Ladrillo.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Donde:

$$A= 28 \text{ cm} \quad B= 9 \text{ cm} \quad C= 11 \text{ cm}$$

- Bloque.

Los bloques usados fueron prefabricados en hormigón simple. Los bloques fueron huecos y tuvieron forma prismática, con dimensiones normalizadas. Se obtuvieron de una fábrica de bloques ubicada en la vía Guano-Riobamba Km 5 sector de Langos; sus dimensiones se presentan en la Figura 4.

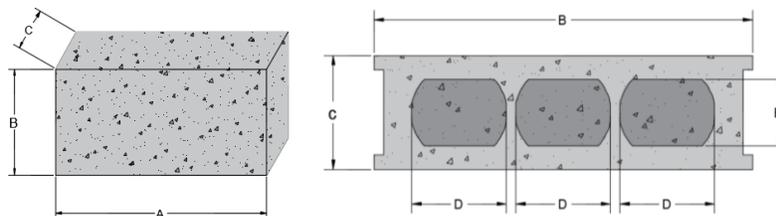


Figura. 4 Mampuesto de Bloque - Detalle.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Donde:

$$A= 40 \text{ cm} \quad B= 20 \text{ cm} \quad C= 12 \text{ cm} \quad D = 10 \text{ cm} \quad E= 7 \text{ cm}$$

- **Adobe.**

El adobe es una de las técnicas de construcción más antiguas y populares del mundo. Su uso ha sido documentado en más de 10 mil años en las más variadas zonas y climas del planeta (Suarez, 2014). Es posible hacer ladrillo de adobe con cualquier tipo de tierra, no exige una mezcla precisa de arcilla y arena, se secan al sol. Los mampuestos de adobe usados en este estudio fueron fabricados de forma manual en un taller utilizando tierra negra, paja y agua, sus dimensiones se enfocaron en lograr una anchura casi similar a las de las construcciones. En la Figura 5 se indican las medidas del mismo:

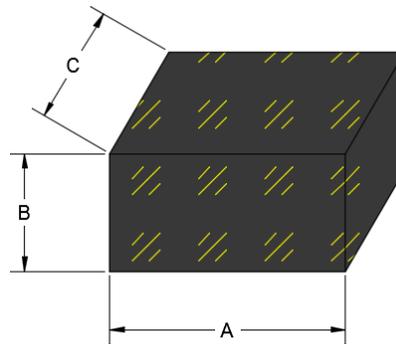


Figura. 5 Mampostería-Adobe.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Siendo:

$$A= 20 \text{ cm} \quad B= 10 \text{ cm} \quad C= 20 \text{ cm}$$

- **Agregado Fino**

- **Agregado para el mortero de pega**

El agregado usado en la presente investigación para el mortero de pega fue Agregado Fino (AF) obtenido de la mina “Tierra Prometida”, ubicada en el cantón Riobamba, parroquia Lizarzaburu. Se utilizó material previamente cernido.

- **Agregado para el mortero del FRCM**

La arena de río usada para preparar la matriz del material compuesto fue obtenida de minas ubicadas en el cantón Penipe. La arena fue tamizada por la malla No.20.

- **Cemento**

El material cementicio usado fue suministrado por la empresa Cemento Chimborazo, ubicado en la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Calpi. El material usado fue un cemento Portland tipo IP.

- **Mortero**

El mortero de pega usado para realizar las paredes se preparó con una dosificación 1:6 (cemento: AF). Con esta dosificación, se simuló el mortero que comúnmente se usa en viviendas para la edificación de paredes.

Por otro lado, el mortero usado en la preparación de los FRCM tuvo una dosificación de cemento 1142.86 kg/m^3 , agregado fino 1257.14 kg/m^3 , agua 525.71 kg/m^3 , aditivo Sika Plastificante B-V 40(según lo recomendado en la ficha técnica), mismo que alcanzó una resistencia a la compresión de 45 MPa.

El mortero de pega usado en las paredes de adobe fue una dosificación de 1:1, en la cual se usó una porción de tierra negra mezclada con cal (50% de tierra negra – 50% de cal) y una porción de cemento Portland.

- **Fibras de refuerzo (Cabuya)**

Siguiendo el estudio realizado por Marcillo y Miño (Marcillo & Miño, 2017), se utilizó un tejido de cabuya diseñado para tener una estructura abierta, lo que mejora las propiedades mecánicas y la adherencia del sistema FRCM. La geometría del tejido tiene una separación entre fibras verticales de 2 mm y transversales de 10 mm. Las fibras tienen un espesor de 2 mm como se muestra en la Figura 6. El tejido diseñado fue suministrado desde Colombia.

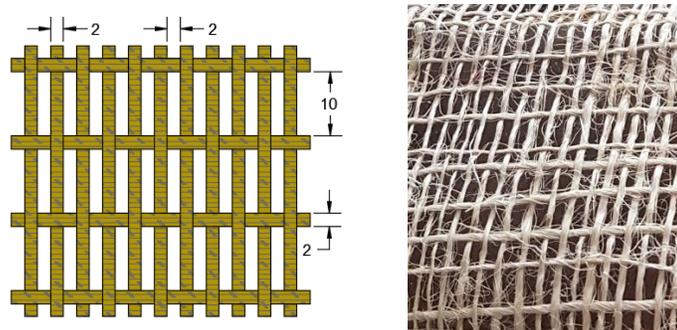


Figura. 6 Tejido Diseñado
Elaborado por: Jahiro Llerena

El tejido diseñado el cual se humedeció con una resina de poliéster ANDERPOL 859 para eludir el contacto directo del mortero con la cabuya y de esta manera amenorar los problemas de envejecimiento.

4.1.2. Métodos

Caracterización de los materiales.

Se realizó una caracterización de los diferentes materiales a utilizar, para obtener diferente información de los mismos.

- **Mampostería**

- **Ladrillo.**

Basados en la Norma ASTM C 67 (ASTM-C-67, 2018), Se determinó la resistencia a compresión, absorción y flexión. Se utilizó 5 unidades de ladrillo cocido para realizar este ensayo. Se realizó un capping en la cara inferior y superior donde se va a aplicar la carga.

- **Adobe.**

Usando la Norma ASTM C 67 (ASTM-C-67, 2018), que rige para mampuestos de ladrillo macizos se acoplo para el ensayo en muestras de adobe, usando 5 unidades para este ensayo.

- **Bloque.**

La Norma ASTM C140 (ASTM-C-140, 2018), determinó la resistencia a compresión en bloques huecos de concreto para la realización de mampostería, de igual manera se utilizó 5 muestras para la realización de los ensayos de compresión.

- **Agregados Fino. (Macadam)**

Se realizó los siguientes ensayos siguiendo las normas ASTM correspondientes:

- Granulometría ASTM C144 (ASTM-C-144, 2017).
- Masa Unitaria Suelta ASTM C29 (ASTM-C-29, 2007).
- Masa Unitaria Compactada ASTM C29 (ASTM-C-29, 2007).
- Densidad ASTM C127. (ASTM-C-127, 2004).
- Absorción ASTM C127 (ASTM-C-127, 2004).

- **Cemento (Cemento Chimborazo).**

o **Densidad.**

Para encontrar la densidad necesaria en caracterización del material se utilizó la norma ASTM C 188 (ASTM-C-188, 2017). El Peso específico real de este tipo de material debería oscilar entre 2.9 y 3.15 (g/cm³).

- **Mortero de pega.**

Se realizó el ensayo de compresión en el mortero de pega siguiendo la norma ASTM C 109/C 109M (ASTM-C-109, 2016).

El ensayo de flexión en el mortero de pega sigue la norma ASTM C 348 (ASTM-C-348, 2014), así como para el ensayo de fluidez en mortero de pega los procedimientos se basaron en la norma ASTM C 230 (ASTM-C-230, 2014) (Ver anexo1). En este estudio no se realizó la caracterización del mortero usado en la preparación del material compuesto, debido a que los datos se referenciaron de estudios previos realizados en la UNACH.

4.1.2.1.Elaboración de Pilas y Paredes.

Para estudiar las propiedades mecánicas a compresión y corte de la mampostería, se construyeron 36 paredes de cada tipo de mampostería. 18 paredes se usaron para el estudio de la compresión diagonal y 18 pilas para el estudio de resistencia a compresión. Las pruebas de compresión diagonal se basaron en los procedimientos de la norma ASTM-E-519 (ASTM-E-519, 2015). Para iniciar con la construcción de las muestras de mampostería se deben remojar los mampuestos durante 24 horas previo a la elaboración. Se recomienda un lugar limpio y nivelado para elaborar las muestras. Se inicia con la primera hilera de mampuestos usando el mortero de

pega considerado en el estudio, como lo muestra en la Figura 7. Se debe controlar el nivel y aplomo de la pared.



Figura. 7 Elaboración de muestra.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Las muestras de ladrillo a usarse en el ensayo de compresión diagonal tuvieron medidas de 82 cm x 82 cm, las muestras de bloque fueron de 85 cm x 85 cm, y las muestras de adobe fueron, en un inicio planteadas de 80 cm x 80 cm. En el caso de las muestras de adobe, se presentaron inconvenientes al momento del transporte de las muestras de 80 cm x 80 cm, debido al peso del espécimen y la poca adherencia entre el adobe y el material usado para la pega. Por este motivo, se modificaron las dimensiones de las paredes de adobe para el ensayo de compresión diagonal, y se prepararon muestras de 40 cm x 40 cm. En la figura 8 se presentan los esquemas de las paredes.

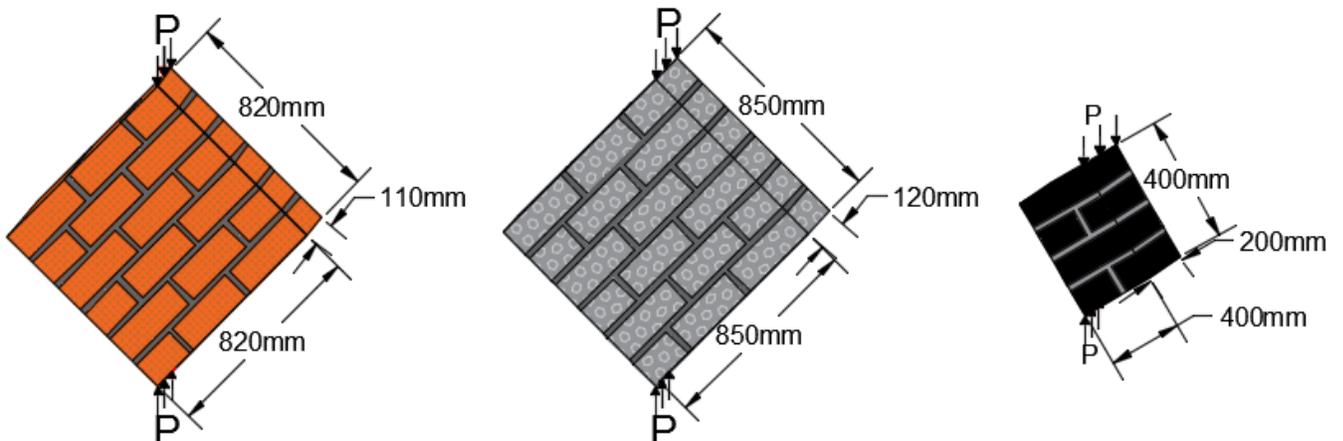


Figura. 8 Muestras de mampuestos Compresión Diagonal.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Las pilas de cada tipo de mampostería a analizar en la investigación mediante pruebas de compresión se construyeron con tres mampuestos, tal como se muestra en la figura 9.

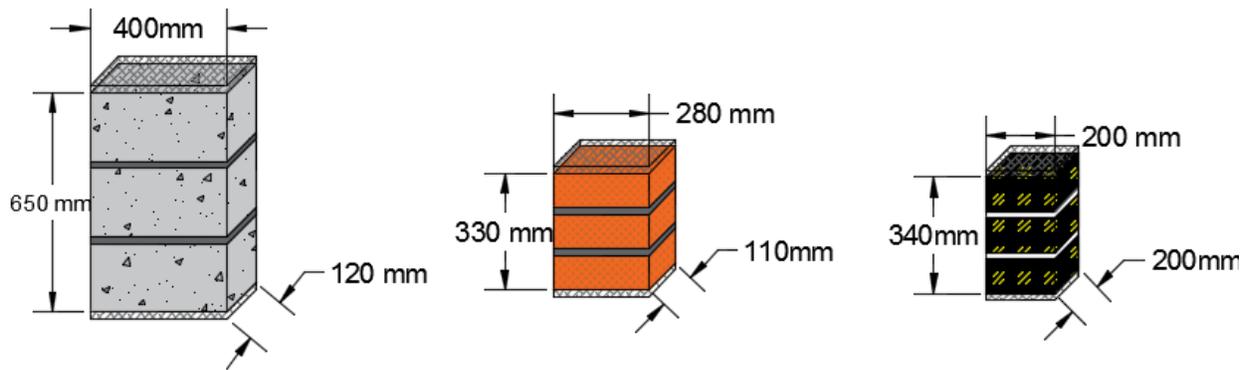


Figura. 9 Pilas de Mampuestos.
Elaborado por: Jahiro Llerena

4.1.2.2. Aplicación del reforzamiento FRCM en la mampostería.

Luego de 28 días de edad de las muestras de mampostería se procedió a reforzar la mitad de las muestras de paredes y pilas usando el material compuesto FRCM de cabuya. Se humedecieron previamente las muestras de pared antes de aplicar el reforzamiento. Se colocó una capa de 5 mm de espesor en la primera cara de la muestra. Después se procedió a colocar la primera capa (layer) de tejido de refuerzo pre-impregnado de mortero. El tejido se aplicó en tres estratos en toda la suficiente en cada cara de la muestra. En las figuras 10 y 11 se detalla el proceso de reforzamiento.



Figura. 10 Aplicación del FRCM.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Durante 28 días se curaron las paredes con reforzamiento y para que no se formen fisuras en la matriz del FRCM se impidió la pérdida de humedad recubriendo las paredes con láminas de plástico.

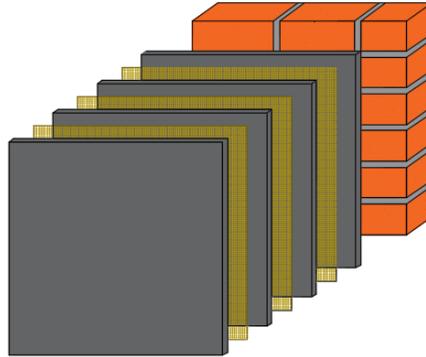


Figura. 11 Detalle de FRCM
Elaborado por: Jahiro Llerena

4.1.2.3. Ensayos de compresión en pilas y compresión diagonal en paredes.

- Compresión en Pilas.

La finalidad de realizar este ensayo es determinar cuál es la resistencia a compresión de mamposterías y determinar la capacidad de mejoramiento de resistencia al reforzar los elementos. Para la realización de este tipo de ensayo se siguieron la recomendación de la norma ASTM C 1314 (ASTM-C-1314, 2016), a continuación se presentan algunas:

- Se deben elaborar prismas constituidos por dos o más unidades de albañilería (ladrillos, bloque, adobe).
- Se deben utilizar las mismas unidades de los elementos que representan, asentadas una sobre otra mediante capas de mortero con las mismas propiedades del mortero que se utilizó en obra.
- La altura de estos prismas no debe ser excesiva, a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte desde el lugar de su construcción hacia el laboratorio.

Por otro lado, en las pilas de mampostería se aplicó un recubrimiento de mortero en la cara de aplicación de carga para que esta se uniforme, como se muestra en la Figura 9. Los ensayos de compresión de los prismas se realizaron en la Máquina de Prueba Universal modelo UH-F500kNX fabricado por SHIMADZU CORPORATION, a una velocidad de carga de 0.025 N/mm²/sec. La Norma ASTM C 1314 (ASTM-C-1314, 2016) menciona la posibilidad de formación de siete tipos de fractura que pueden presentar en el ensayo a compresión de prismas de mampostería, las cuales se ilustran en la Figura 12.

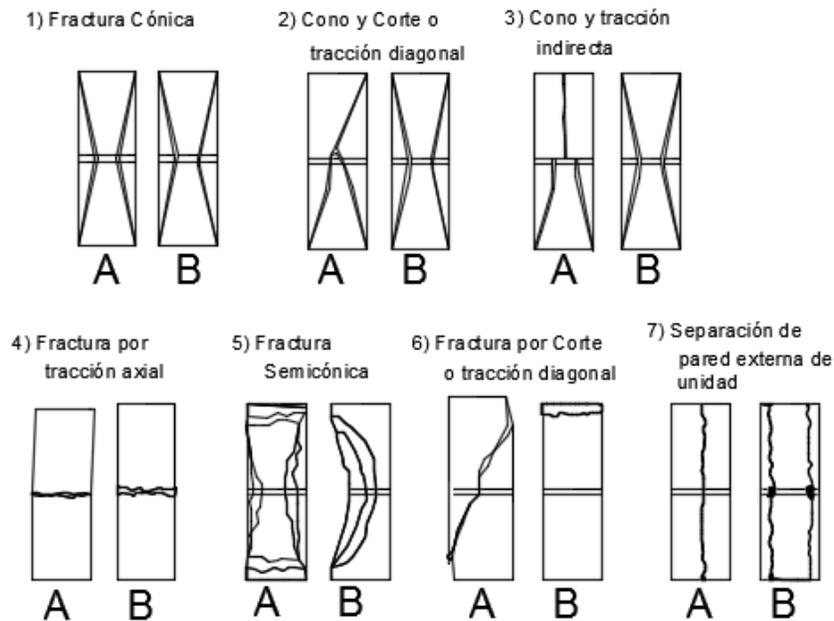


Figura. 12 Tipos de falla en prismas de mampostería.
Fuente: (ASTM -C -13-14,2016)

- **Compresión Diagonal.**

El método de ensayo permite medir con mayor precisión la resistencia a tracción diagonal (corte) de la mampostería. Una vez cumplidos los 28 días de fraguado del mortero de pega de las paredes, se procedió a realizar el ensayo en las muestras no reforzadas para determinar la

resistencia a corte basado en la Norma ASTM E 519 (ASTM-E-519, 2015). Para simular el ensayo a compresión diagonal con las muestras de la Figura 13, se usó un marco de pruebas de 50 toneladas. Se acoplaron dos soportes metálicos, mismos que permitieron realizar el ensayo requerido, lo que permitió obtener la resistencia a cortante de la mampostería. Este proceso se desarrolló como se observa en la Figura 13.



Figura. 13 Esquema de Ensayo a Compresión diagonal.
Elaborado Por: Jahiro Llerena.

Como se observa en las figuras 13 y 14, se colocaron transductores de deformación eléctricos para medir con precisión los desplazamientos verticales y horizontales que provocan las cargas de compresión diagonal en las muestras de paredes.



Figura. 14 Muestra para Compresión Diagonal.
Elaborado Por: Jahiro Llerena.

Durante el ensayo, la carga vertical generó esfuerzos de tensión crecientes que se orientan perpendicularmente a la dirección de la carga, este campo de esfuerzos de tensión conducen a la falla del murete a lo largo de una grieta, aproximadamente vertical, entre las dos esquinas. Las

pruebas se realizaron de acuerdo a la Norma ASTM-E-519 (ASTM-E-519, 2015). Se calculó el esfuerzo cortante mediante la siguiente formula:

$$\tau = \frac{0.707P}{A_n}$$

donde:

τ = Esfuerzo cortante en el área neta, MPa.

A_n =Superficie neta de la muestra, mm.

P = Carga aplicada, N.

$$A_n = \left(\frac{W + h}{2} \right) * t * n$$

donde:

W = Anchura de la muestra, mm.

h = Altura de la muestra, mm.

t = Espesor total de la muestra, mm.

n = Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólido, expresado como un decimal.

Nota: el factor n , en caso de mampostería hueca, Figura 15 será calculado de la siguiente forma.

$$n = 1 - \frac{Ah}{At}$$

donde:

A_h = Área de los huecos

A_t = Área total.

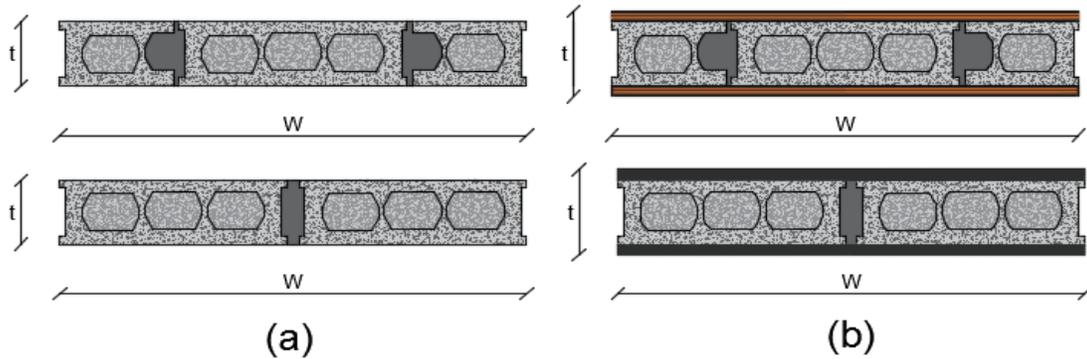


Figura. 15 Mampostería Hueca, Área neta. a) muestra sin refuerzo .b) muestra con refuerzo
Elaborado por: Jahiro Llerena

La deformación unitaria a corte se determina mediante la siguiente fórmula.

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

donde:

γ = Deformación unitaria a corte, mm/mm

ΔV = Promedio del acortamiento Vertical, mm.

ΔH = Promedio de la extensión Horizontal, mm.

g = Longitud calibrada, mm.

El módulo de rigidez (G) se obtiene usando la siguiente fórmula:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

Para las ductilidades presentes en las muestras se usaron las siguientes expresiones:

$$\mu_H = \frac{\Delta_{dH}}{\Delta_{dH \text{ Max.}}}$$

$$\mu_V = \frac{\Delta_{dV}}{\Delta_{dV \text{ Max.}}}$$

donde:

μ_H = Ductilidad Horizontal.

μ_V = Ductilidad Vertical.

Δ_{dH} = Desplazamiento Horizontal de rotura, mm.

Δ_{dV} = Desplazamiento Vertical de rotura, mm.

$\Delta_{dH \text{ Max}}$ = Desplazamiento Horizontal máximo, mm.

$\Delta_{dV \text{ Max}}$ = Desplazamiento Vertical máximo, mm.

4.1.2.4. Análisis Estadístico.

Con los resultados obtenidos de los ensayos en pilas y paredes, se desarrolló un análisis estadístico de la variabilidad de medias (ANOVA), que plantea una hipótesis nula y una hipótesis alternativa, en la cual intervienen las medias de los datos para comparar. Se clasifican las muestras en grupos en caso de presentar diferencias significativas. Este análisis se lo realiza por medio de un solo factor con el programa Minitab.16 (Minitab INC. PN.USA.). La media se analizó utilizando el algoritmo de Tukey con un nivel de significancia de 5% y de confianza del 95%.

5. Resultados y Discusión.

5.1. Caracterización de materiales.

La caracterización de los materiales incluyó pruebas para determinar las propiedades físicas y mecánicas de agregados, cemento, mortero y mampuestos. Los resultados de la caracterización se muestran en la Tabla 2. Se debe tomar en cuenta que la arena fue tamizada para ser usada en el mortero del material compuesto FRCM; de esta arena se realizó la caracterización.

Tabla 2 Caracterización de Materiales.

Materiales	Propiedades	Muestra	Unidad	Resultado	Desviación Estándar
Agregados	Tamaño Máximo Nominal	Agregado Fino	mm	0.80	0.004
		Arena	mm	0.60*	-
	Módulo de Finura	Agregado Fino	%	2.56	0.21
		Arena	%	2.03*	-
	M.U.S.	Agregado Fino	g/cm ³	1.41	0.003
		Arena	g/cm ³	1.23 *	0.004*
	M.U.C.	Agregado Fino	g/cm ³	1.55	0.007
		Arena	g/cm ³	1.36 *	0.004*
	Densidad	Agregado Fino	g/cm ³	2.43	0.03
		Arena	g/cm ³	2.58 *	0.026*
	Absorción	Agregado Fino	%	5.19	0.005
		Arena	%	5.14*	0.898*
Cemento	Densidad	Cemento Portland Tipo IP	g/cm ³	2.93	0.02
Mortero	Compresión	Mortero de pega 1:6	MPa	17.10	0.91
		Mortero de FRCM	MPa	46.68 *	1.95*
	Flexión	Mortero de pega 1:6	MPa	2.66	0.27
		Mortero de FRCM	MPa	7.47*	0.055*
	Fluidez	Mortero de pega 1:6	%	114.63	8.06
		Mortero de FRCM	%	122.25*	10.25*
Mampuesto	Compresión	Ladrillo	MPa	9.29	0.29
		Bloque	MPa	3.10	0.44
		Adobe	MPa	0.71	0.18
	Flexión	Ladrillo	MPa	3.04	0.69
	Absorción	Ladrillo	%	22.13	2.29
		Bloque	%	25.369	0.68

Nota: * Resultados tomados del estudio de Almache & Tapia, (2016)

Luego de hacer la caracterización de los materiales se puede destacar los resultados del módulo de finura entre el agregado fino (Macadam) y la arena de río, el AF obtuvo un módulo de finura de 2.56%, el cual es mayor al obtenido con la arena, esto podría deberse a que la arena de río fue previamente tamizada usando el tamiz N°20 para obtener partículas finas en la producción del material compuesto. En la caracterización de los agregados también se puede destacar que la densidad del agregado fino es menor a la de la arena, esto podría deberse a que la arena de río es un agregado de procedencia natural, siendo más compacto e íntegro; en cambio, el agregado fino (Macadam) es proveniente de la minería por trituración de rocas. Por lo tanto, es un agregado de menor calidad, menos compacto e íntegro, lo que se traduce en una menor densidad. La caracterización de cemento incluyó solo el análisis de densidad. Este resultado está dentro de los parámetros establecidos en la norma, debido a que es un cemento portland tipo IP.

Luego de realizar la caracterización del mortero se puede notar que, con una dosificación de 1:6 (cemento: agregado), el mortero de pega obtuvo resistencias a la compresión y flexión menores (17.10 MPa, 2.66 MPa, respectivamente) que el mortero del FRCM, pero estos valores se podrían esperar en un mortero usado en la construcción tradicional. En caso del mortero usado para preparar los FRCM, la dosificación fue previamente estudiada en investigaciones realizadas en la UNACH, como es el caso del estudio de Marcillo & Miño, (2017) y Almache & Tapia, (2016), dando como resultado resistencias a compresión y flexión altas. Estas resistencias altas permiten que el material compuesto tenga mejores características de transmisión de esfuerzos y de adherencia. En ambos casos se obtuvo valores de fluidez aceptables para este tipo de morteros.

En la tabla 2 se puede diferenciar la resistencia a la compresión de los mampuestos de ladrillo, bloque y adobe. El ladrillo es el mampuesto con mayor resistencia a la compresión, y esto

se debe a las propiedades de la materia prima, a la geometría sólida y al proceso de elaboración. El ensayo de flexión se realizó solo en un tipo de mampuesto, esto debido que la norma específica este tipo de pruebas únicamente para ladrillo. El ensayo de absorción se realizó en el ladrillo y bloque, dando como resultado que el bloque tiene mayores porcentajes de absorción. Esto podría deberse a la alta porosidad del bloque. Por otro lado, si se hubiera realizado la prueba de absorción en el adobe y dada la metodología de prueba, el adobe se hubiera destruido o disgregado sin poder obtener el resultado requerido. Los resultados que se presentan en la Tabla 3, relacionados a las propiedades de los tejidos de refuerzo y de los FRCM, fueron obtenidos de investigaciones previas realizadas con el mismo tipo de tejido (Marcillo & Miño, 2017). Al replicar el tipo de matriz y de reforzamiento en esta investigación, se han decidido usar los mismos resultados de estas investigaciones reportados en la siguiente tabla.

Tabla 3 Caracterización de Fibras y FRCM

Materiales	Propiedades	Unidad	Resultado *
Fibras	Tex (Long.)	g/km	778.67
	Tex (Trac.)	g/km	824.29
	masa/unidad de área	g/m ²	278.4
	No. Hilos Longitudinales	u/cm	2.4
	No. Hilos Transversales	u/cm	1
	σ Tracción (Long.)	MPa	293.96
	ϵ u (Long.)	mm/mm	0.04
FRCM	σ Tracción	MPa	12.003
	ϵ u Tracción	mm/mm	0.07
	σ Flexión	MPa	26.959
	ϵ u Flexión	mm/mm	1.973

Nota: * Resultados Tomados del estudio de Marcillo & Miño, (2017)

5.2. Resultados de las pruebas en pilas y paredes

A continuación se muestra los resultados obtenidos de los ensayos a compresión en pilas y a corte diagonal en paredes. Los resultados obtenidos más importantes son mostrados en tablas y en gráficas.

En la tabla 4 se muestran los resultados de las pilas. Se ha tomado como datos a considerar los esfuerzos a compresión, las deformaciones unitarias máximas y de rotura; se ha determinado el módulo de elasticidad y la cantidad de energía que absorbe cada pila. Además, se detalla el tipo de falla manifestado en cada pila sometida al ensayo de compresión, que se presentaron en la figura 12.

Tabla 4 Compresión de Pilas

Mampostería	Espécimen	P (N)	Def. Max. (mm)	Def. Rot. (mm)	Esfuerzo Bruto σ (MPa)	Esfuerzo Neto σ (MPa)	Tipo de Falla	Def. Unit. Max. (mm/mm)	Def. Unit. Rot. (mm/mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Energía (J)
LADRILLO	P-L-SR-1	160034.70	1.880	2.154	5.850	5.850	4-A Fractura por Tracción Axial	0.005370	0.006150	6.407	267.297
	P-L-SR-2	200306.50	1.790	2.386	7.330	7.330	2 -B Fractura por Corte o Tracción Diagonal	0.005110	0.006820	5.131	329.490
	P-L-SR-3	110748.20	1.640	2.386	4.060	4.060	2 -B Fractura por Corte o Tracción Diagonal	0.004690	0.006820	7.396	298.390
	Promedio	157029.80	1.770	2.309	5.747	5.747	-----	0.005060	0.006600	6.311	298.392
	Des. Est.	44854.70	0.121	0.134	1.637	1.637	-----	0.000346	0.000384	1.135	31.097
	P-L-CR-1	367158.70	2.600	3.030	9.410	9.410	7-A Separación de Pared Externa de Unidad	0.007430	0.008660	4.828	675.989
	P-L-CR-2	392328.55	2.870	2.910	10.060	10.060	7-A Separación de Pared Externa de Unidad	0.008200	0.008310	4.016	172.765
	P-L-CR-3	458328.90	2.940	3.060	11.750	11.750	7-A Separación de Pared Externa de Unidad	0.008400	0.008740	4.700	317.033
	Promedio	405938.72	2.803	3.000	10.407	10.407	-----	0.008010	0.008570	4.515	388.596
	Des. Est.	47084.27	0.180	0.079	1.208	1.208	-----	0.000513	0.000227	0.436	259.132
BLOQUE	P-B-SR-1	77317.63	2.678	3.302	1.611	2.860	6-A Fractura por Corte o Tracción Diagonal	0.004120	0.005080	2.422	218.100
	P-B-SR-2	59638.18	2.069	3.532	1.243	2.210	6-A Fractura por Corte o Tracción Diagonal	0.003180	0.005430	1.866	223.567
	P-B-SR-3	60794.04	2.491	3.531	1.266	2.250	6-A Fractura por Corte o Tracción Diagonal	0.003830	0.005430	1.176	150.280
	Promedio	65916.62	2.413	3.455	1.373	2.440	-----	0.003710	0.005320	1.821	197.316
	Des. Est.	9890.47	0.312	0.133	0.206	0.364	-----	0.000480	0.000204	0.624	40.826
	P-B-CR-1	208051.60	4.671	9.346	2.730	3.780	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.007190	0.014400	1.618	1736.350
	P-B-CR-2	179968.80	3.304	9.976	2.360	3.270	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.005080	0.015300	1.068	1553.820
	P-B-CR-3	173348.30	4.349	9.229	2.281	3.150	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.006690	0.014200	1.036	787.219
	Promedio	187122.90	4.108	9.517	2.457	3.400	-----	0.006320	0.014600	1.241	1359.130
	Des. Est.	18424.59	0.715	0.402	0.240	0.329	-----	0.001100	0.000618	0.327	503.627
ADOBE	P-A-SR-1	6371.66	9.795	10.311	0.239	0.239	5 -A Fractura semi- Cónica	0.029700	0.031200	0.024	25.023
	P-A-SR-2	9644.56	7.727	11.157	0.241	0.241	5 -A Fractura semi- Cónica	0.023400	0.033800	0.032	74.15
	P-A-SR-3	4675.07	6.605	9.565	0.205	0.205	5 -A Fractura semi- Cónica	0.020000	0.029000	0.039	28.785
	Promedio	6897.10	8.042	10.344	0.228	0.228	-----	0.024400	0.031300	0.032	42.653
	Des. Est.	2526.07	1.618	0.797	0.020	0.020	-----	0.004900	0.002410	0.008	27.342
	P-A-CR-1	46250.66	1.747	2.010	0.925	0.925	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.005290	0.006090	0.675	35.866
	P-A-CR-2	40284.08	1.674	2.570	0.805	0.805	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.005070	0.007790	0.608	62.561
	P-A-CR-3	43970.83	1.875	2.460	0.879	0.879	7-B Separación de Pared Externa de Unidad	0.005680	0.007450	0.461	66.113
	Promedio	43501.86	1.765	2.347	0.870	0.870	-----	0.005350	0.007110	0.581	54.847
	Des. Est.	3010.81	0.102	0.297	0.061	0.061	-----	0.000308	0.000899	0.109	16.533

Los datos de área neta de los mampuestos huecos usados en esta investigación se ocupan en el cálculo para obtener esfuerzo Neto, en los macizos se toma el área bruta para obtener el esfuerzo bruto. El valor característico necesario para evaluar la calidad de mampuestos es el que obtiene con el área bruta.

Las figuras 16, 17 y 18 detallan los resultados de los ensayos en las pilas de ladrillo, bloque y adobe, respectivamente, comparando los resultados de las muestras sin refuerzo con los resultados de las muestras reforzadas con los FRCM.

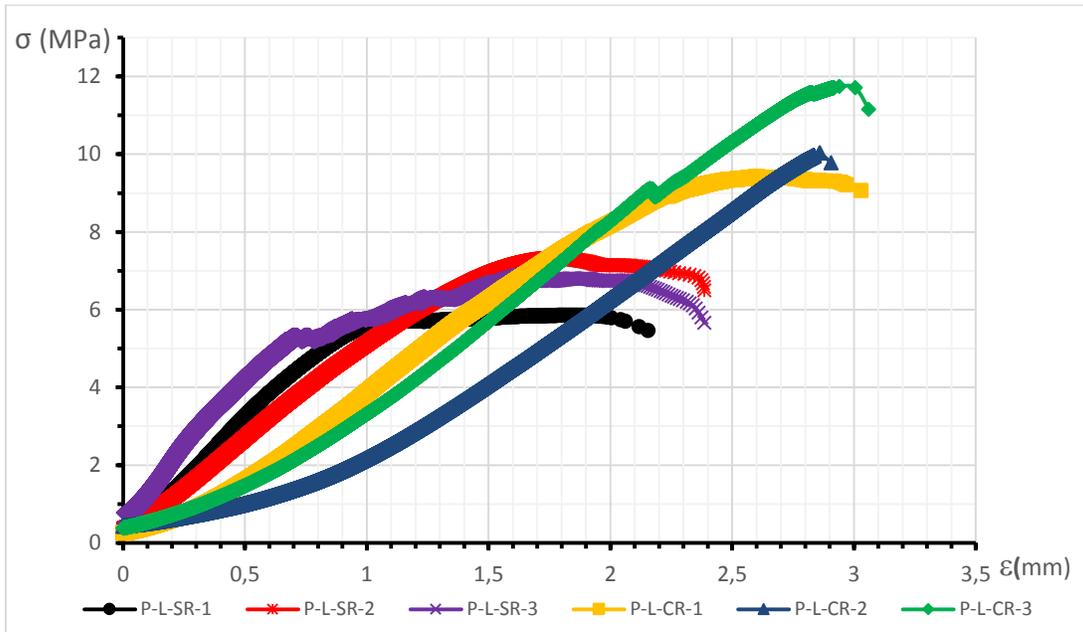


Figura. 16 Compresión de Pilas de Ladrillo (Esfuerzo- Deformación)
Elaborado por: Jahiro Llerena

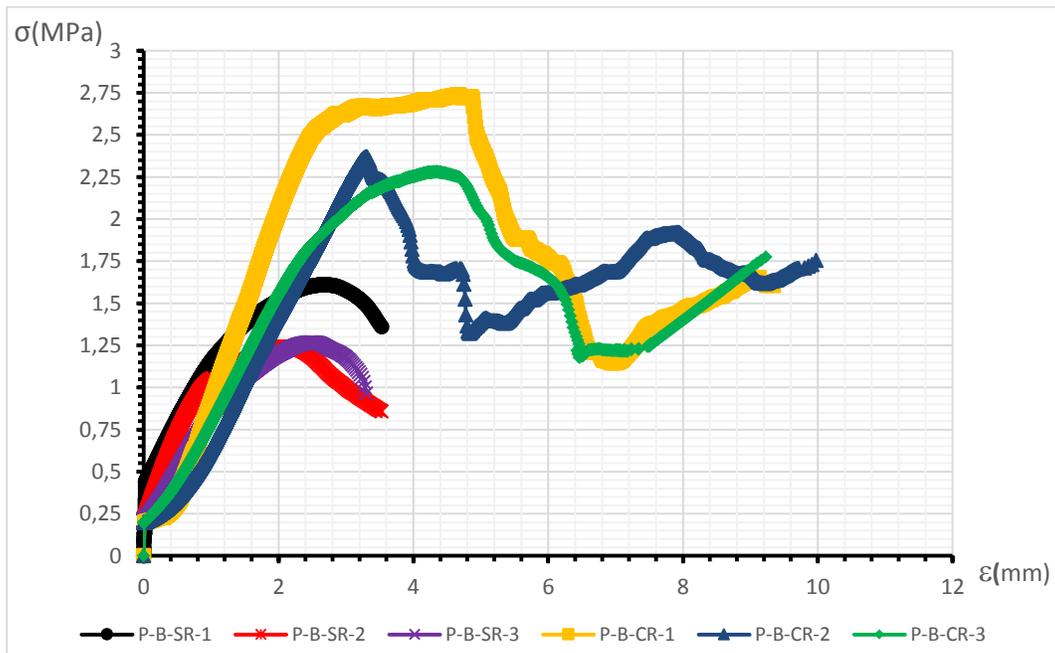


Figura. 17 Compresión de Pilas de Bloque. (Esfuerzo-Deformación).
Elaborado por: Jahiro Llerena

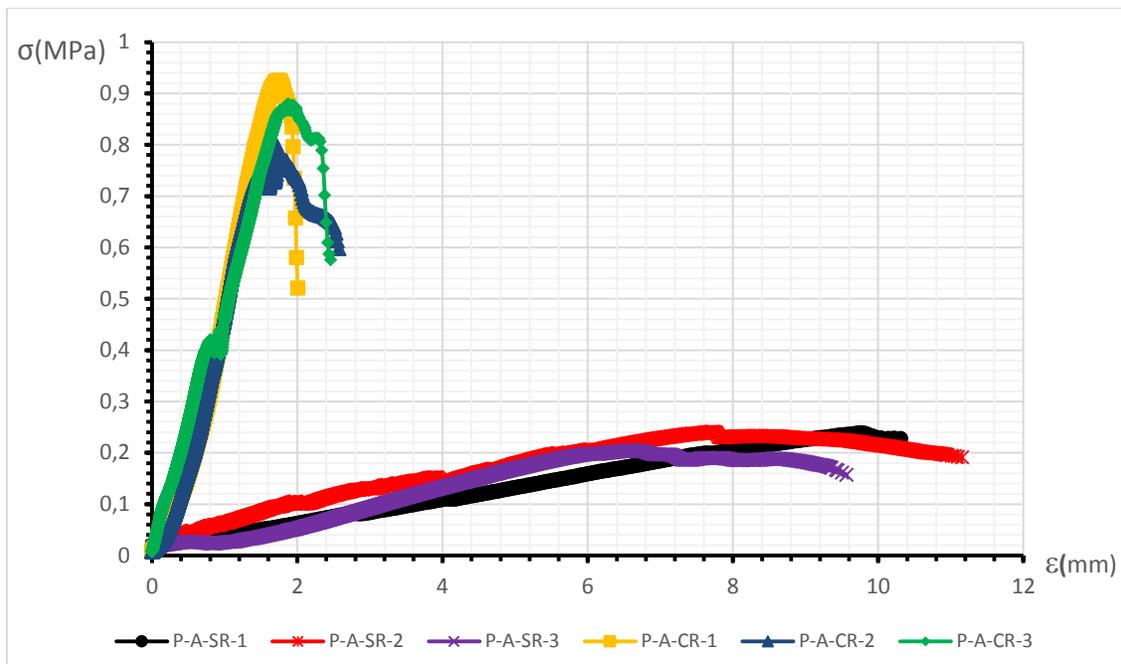


Figura. 18 Compresión de Pilas de Adobe. (Esfuerzo -Deformación)
Elaborado por: Jahiro Llerena

La figura 16 evidencia el aumento del 81.08% en el esfuerzo a corte y del 58.3% en la deformación unitaria a corte que se obtuvo en las pilas de ladrillo reforzadas con el sistema FRCM en comparación con las pilas de ladrillo sin refuerzo.

En lo referente a la energía, se obtiene un incremento del 30.23% en las pilas reforzadas, en relación con las que no poseen refuerzo. Se debe considerar que la resistencia a compresión más alta fue obtenida ensayando pilas de ladrillos.

Por otro lado, en las pilas de ladrillo se observa un efecto de aumento de las deformaciones en cargas bajas y se llega a una rotura a cargas mayores. Esto podría deberse a que el mampuesto y el reforzamiento trabajan de manera conjunta ante las cargas y se llega a la rotura de las muestras sin que se produzcan recuperación de carga durante la prueba, efecto que sí estuvo presente durante

las pruebas en las muestras de bloque (ver figura 17), y lo que prolonga las deformaciones evitando el colapso, y provoca el aumento de energía en el ensayo de compresión.

Es así que, en las muestras de bloque se presenta un incremento de energía de 588.88 % en las muestras que poseen el sistema FRCM. El incremento de resistencia en las muestras de bloque reforzadas fue de 78.95% y también se notó un incremento de 70.35% en la deformación unitaria con respecto a las muestras no reforzadas.

La Figura 18 presenta el comportamiento mecánico de las pilas de adobe en términos de esfuerzo de corte vs deformación unitaria de corte. Se puede notar la gran diferencia de resistencia que existe entre las curvas de las muestras reforzadas respecto a las no reforzadas. El incremento de resistencia a corte fue de 281.58%. Sin embargo, existió una disminución en la deformación unitaria a corte del 78.07% cuando se aplicó reforzamiento a las muestras. Este fenómeno se lo puede atribuir a que la capacidad de resistencia de una pila de adobe sin refuerzo es mínima y se produce el desmoronamiento en niveles de carga muy bajos, porque no hay adherencia entre el mortero y el mampuesto.

Por otro lado, las pilas reforzadas de adobe se convierten en un elemento monolítico, que va a trabajar en conjunto con el material compuesto de cabuya, lo que hace también que la mampostería sea más rígida y se deforme menos.

Al aplicar reforzamiento en las muestras de adobe se logra un incremento en su energía de 28.59% comparando con las que no poseen FRCM. En las tres muestras, el sistema de reforzamiento ayudó a que los esfuerzos internos se distribuyan mejor, y así se logró incrementar la capacidad resistente de las muestras.

Las deformaciones unitarias presentes en las muestras de bloque y ladrillo son mayores en pilas reforzadas, esto se podría atribuir a que durante el ensayo de compresión el reforzamiento ayudó a las muestras a que mantengan su integridad y así adquirieron una capacidad de deformación mayor.

La tabla 5 muestra el resumen de los resultados del ensayo de compresión diagonal en las paredes de ladrillo, bloque y adobe. Mediante un análisis de estos resultados se puede comprender los efectos de la incorporación de un sistema FRCM en el comportamiento de paredes sometidas a compresión diagonal.

Tabla 5 Resultados de las pruebas de Compresión Diagonal

Mampostería	Espécimen	P (N)	Acortamiento Vertical Max. (mm)	Acortamiento Vertical Rot. (mm)	Extensión Horizontal Max. (mm)	Extensión Horizontal Rot. (mm)	Esfuerzo a Corte τ (MPa)	Def. Unit. Max. γ	Def. Unit. Rot. γ	Módulo de Rigidez G (MPa)	Ductilidad Horizontal μ_H	Ductilidad Vertical μ_V
LADRILLO	CD-ML-SR-1	29500	0.560	0.590	0.430	0.450	0.231	0.001650	0.001073	139.711	1.047	1.054
	CD-ML-SR-2	31875	0.620	0.650	1.170	1.210	0.333	0.002940	0.003060	84.664	1.034	1.048
	CD-ML-SR-3	30500	0.860	0.900	0.920	0.950	0.240	0.003050	0.003170	78.211	1.033	1.047
	Promedio	30625	0.680	0.713	0.840	0.870	0.282	0.002550	0.002650	100.862	1.038	1.049
	Des. Est.	1192.424	0.159	0.164	0.376	0.386	0.051	0.000778	0.000798	33.799	0.008	0.004
	CD-ML-CR-1	174000	0.810	6.180	0.550	4.710	0.979	0.002280	0.014000	430.222	8.564	7.630
	CD-ML-CR-2	169000	2.010	5.490	2.550	5.480	0.951	0.007350	0.018400	129.459	2.149	2.731
	CD-ML-CR-3	150000	3.620	5.230	4.800	6.230	0.844	0.014200	0.019300	59.406	1.298	1.445
	Promedio	164333.333	2.147	5.633	2.633	5.473	0.925	0.007940	0.017300	206.362	4.004	3.935
	Des. Est.	12662.28	1.410	0.491	2.126	0.760	0.071	0.005990	0.002840	197.007	3.972	3.263
BLOQUE	CD-MB-SR-1	25000	0.600	0.660	0.220	0.250	0.289	0.000615	0.000652	476.929	1.136	1.100
	CD-MB-SR-2	21800	0.840	1.900	0.370	0.660	0.257	0.002030	0.004290	126.669	1.784	2.262
	CD-MB-SR-3	26400	1.960	1.570	0.690	0.750	0.305	0.003950	0.004110	77.064	1.087	0.801
	Promedio	24400	1.133	1.377	0.427	0.553	0.284	0.002200	0.003010	226.887	1.336	1.388
	Des. Est.	2357.965	0.726	0.642	0.240	0.267	0.024	0.001670	0.002050	217.958	0.389	0.772
	CD-MB-CR-1	57000	3.460	3.460	0.190	0.190	0.424	0.006090	0.006090	69.504	1.000	1.000
	CD-MB-CR-2	104800	1.990	4.980	0.190	0.180	0.783	0.003840	0.008470	204.022	0.947	2.503
	CD-MB-CR-3	80400	2.750	3.830	0.160	0.170	0.598	0.004780	0.006570	124.887	1.063	1.393
	Promedio	80733.333	2.733	4.090	0.180	0.180	0.602	0.004900	0.007050	132.804	1.003	1.632
	Des. Est.	23901.743	0.735	0.793	0.017	0.010	0.180	0.001130	0.001260	67.608	0.058	0.779
ADOBE	CD-MA-SR-1	2500	0.100	0.120	0.040	0.045	0.018	0.000400	0.001630	44.188	1.125	1.200
	CD-MA-SR-2	1800	0.120	0.130	0.020	0.025	0.016	0.000400	0.000483	39.769	1.250	1.083
	CD-MA-SR-3	2000	0.200	0.210	0.060	0.070	0.018	0.000743	0.000800	23.793	1.167	1.050
	Promedio	2100	0.140	0.153	0.040	0.047	0.017	0.000514	0.000970	35.917	1.181	1.111
	Des. Est.	360.555	0.053	0.049	0.020	0.023	0.001	0.000198	0.000592	10.729	0.064	0.079
	CD-MA-CR-1	49000	3.010	3.590	0.100	0.350	0.321	0.008890	0.011300	36.099	3.500	1.193
	CD-MA-CR-2	34000	3.150	3.450	0.150	0.480	0.223	0.009430	0.011200	23.606	3.200	1.095
	CD-MA-CR-3	41000	2.800	3.800	0.220	0.520	0.268	0.008630	0.012300	31.106	2.364	1.357
	Promedio	41333.33	2.987	3.613	0.157	0.450	0.271	0.008980	0.011600	30.270	3.021	1.215
	Des. Est.	7505.55	0.176	0.176	0.060	0.089	0.049	0.000408	0.000639	6.288	0.589	0.132

Se observan resultados interesantes al notar las grandes diferencias en términos de esfuerzo a corte, en el cual podemos notar el aumento en todas las muestras al momento de reforzar con FRCM de Cabuya.

En cuanto al módulo de rigidez de las muestras reforzadas de ladrillo, estas presentan un aumento de 104.6%, pero no sucede lo mismo en las muestras de bloque que tienen una disminución del 41.47 % y en la muestra de adobe se disminuye el 13.92%.

La deformación unitaria a corte presenta un aumento entre las muestras reforzadas con las muestras no reforzadas. El incremento en el caso de las muestras de ladrillo fue del 211.37%, el caso de las muestras de bloque aumenta 122.72% y en las muestras de adobe aumento 1647.08%, y las ductilidades en las muestras de bloque muestran una diferencia interesante a comparación de las otras muestras, se encuentra una disminución del 24.92 % en las ductilidades horizontales, las demás muestras presentan un aumento que va entre el 9.36% y el 285.74% en cada una de las muestras con refuerzo y sin refuerzo.

Adicionalmente, en las Figura 19, 20 y 21 se muestran las curvas de Carga vs Acortamiento vertical y Extensión Horizontal, de las paredes de ladrillo sin refuerzo sometidas a compresión diagonal.

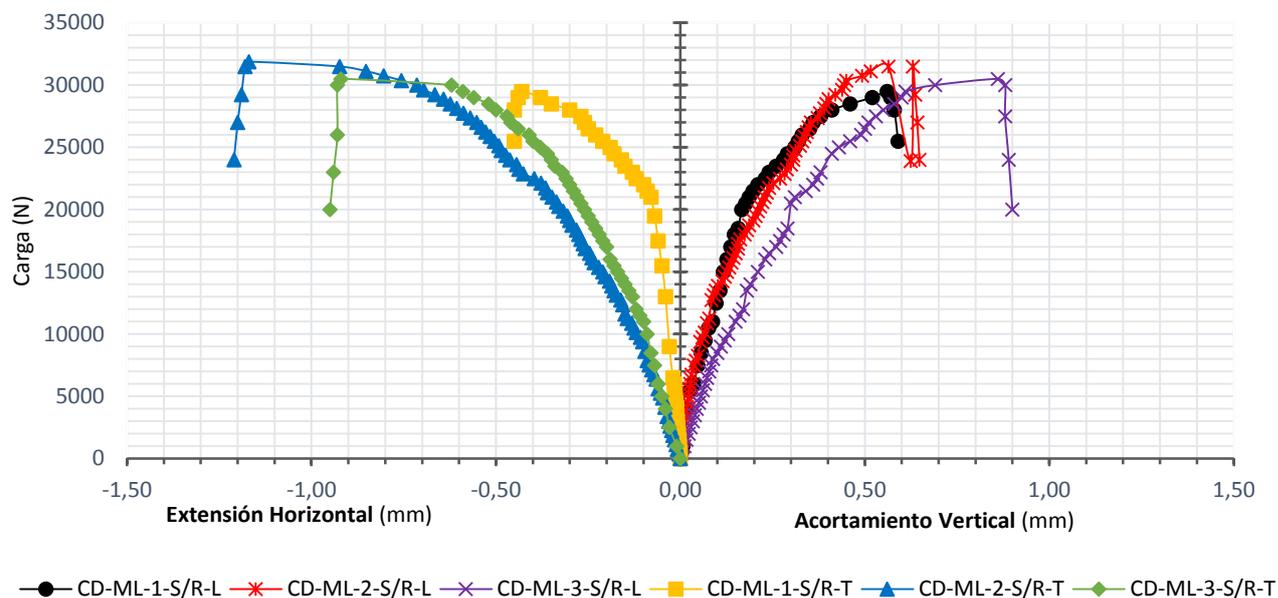


Figura. 19 Compresión Diagonal Mampuesto de Ladrillo Sin Refuerzo (Carga vs Deformación).

Elaborado Por: Jahiro Llerena

Se observa en la Figura 19 que existieron mayores extensiones horizontales que acortamientos verticales; esto debido a que las cargas verticales se distribuyeron mejor en las muestras, lo que provocó un correcto funcionamiento del mortero de pega con el mampuesto, pero al fallar primero el mortero de pega se produjeron extensiones horizontales mayores.

Las ductilidades presentes en las muestras de ladrillo sin refuerzo presentan un comportamiento vertical y horizontal de forma muy similar.

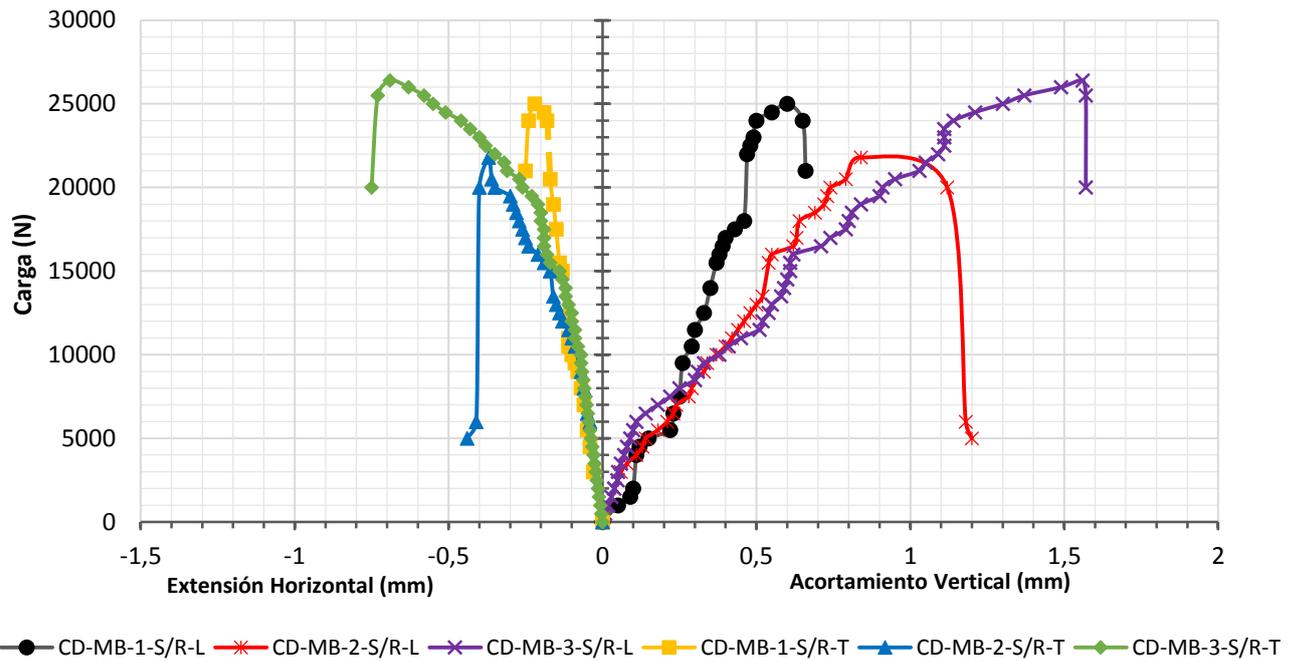


Figura. 20 Carga Diagonal Mampuesto de Bloque Sin Refuerzo (Carga vs Deformación).

Elaborado Por: Jahiro Llerena

En la Figura 20 se observan acortamientos verticales mayores que las extensiones horizontales. Esto podría deberse a la falla prematura que presentan las muestras en los apoyos, ocasionada por la baja resistencia de los bloques huecos en los apoyos, en comparación con la mayor resistencia del elemento de mampostería en zonas diferentes al apoyo. Este problema evitó que se distribuyan los esfuerzos en las muestras de una manera adecuada y una vez que la carga se incrementó, los bloques huecos de los apoyos fallaron.

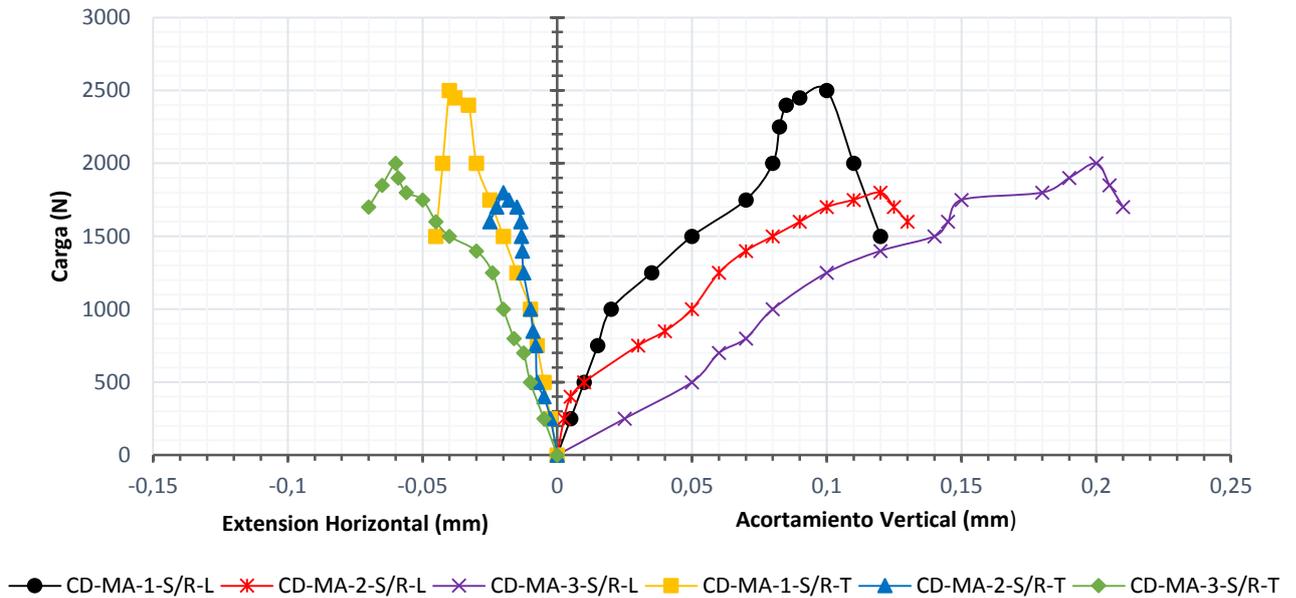


Figura. 21 Compresión Diagonal Mampuesto de Adobe Sin Refuerzo (Carga vs Deformación).
Elaborado Por: Jahiro Llerena.

Al observar la Figura 21 se pueden apreciar los resultados de las pruebas a compresión diagonal de las muestras de adobe una carga de 2100 N dando un valor mejor en comparación con las muestras de ladrillo (30625 N) y bloque (24400 N); esto debido a la baja resistencia del adobe y la poca adherencia con el mortero de pega. La capacidad de deformación en estos elementos también fue afectada por los problemas de resistencia. Las fisuras en estos elementos se formaron de manera abrupta, produciendo fallas frágiles en los elementos.

En las muestras de adobe se observó una mayor ductilidad vertical; esto se puede deber a la falla frágil manifestada durante las pruebas, lo que provocó un mecanismo de colapso no controlado.

Las Figuras 22, 23 y 24 muestran los ensayos a compresión diagonal de las paredes con refuerzo utilizando FCRM. Los resultados demuestran un aumento en la resistencia de hasta 228.01%, en el caso de la mampostería de ladrillo, de hasta 111.97% en la mampostería de bloque y de hasta 1494.12%, en el caso de la mampostería de adobe, en relación de las muestras de mampostería no reforzada. En todas las muestras reforzadas, las deformaciones fueron

menores antes de llegar a la carga máxima, en comparación con las muestras no reforzadas; este efecto podría deberse a que el reforzamiento actúa en conjunto con la muestra incrementando la rigidez de la mampostería. Luego de la carga máxima se presenta un incremento de la ductilidad de las muestras.

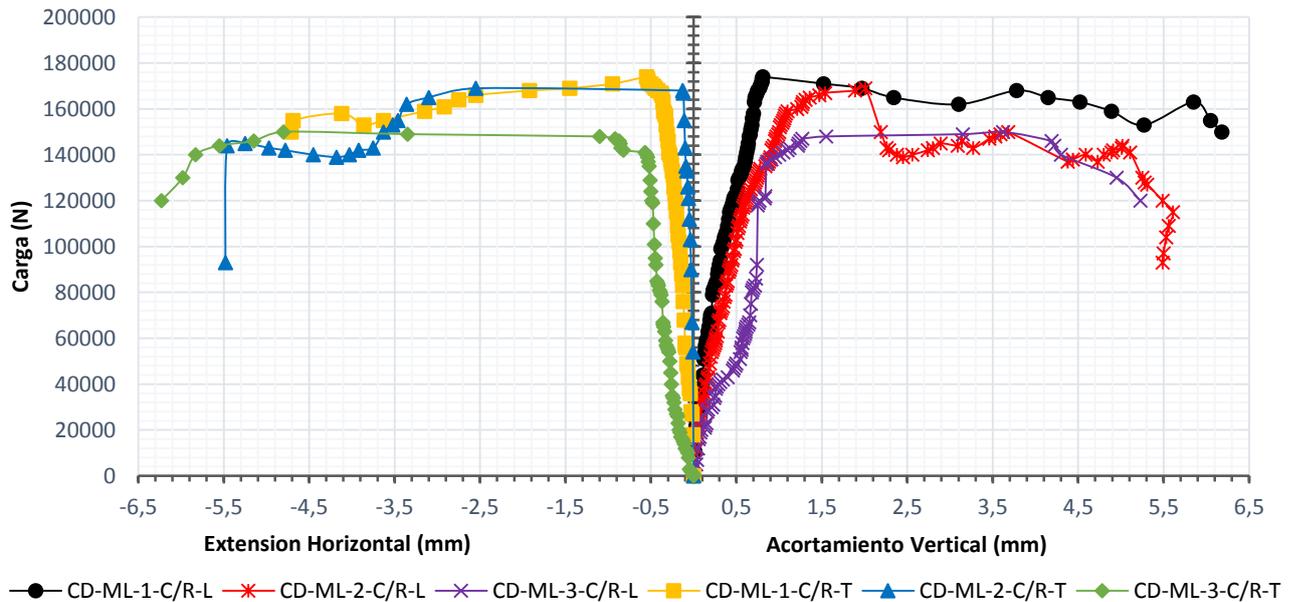


Figura. 22 Compresión Diagonal Mampuesto de Ladrillo Con Refuerzo (Carga vs Deformación).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

La Figura 22 muestra el comportamiento de las muestras de ladrillo con refuerzo después de llegar a su carga máxima, manteniendo una regularidad en las cargas y aumentando considerablemente su deformación, aspecto que se presenta después de alcanzar su carga máxima. El elemento, en el punto de apoyo, falla, aumentando su deformación. Durante la falla de las muestras se forman fisuras a lo largo del eje de aplicación de carga y en la zona central de la muestra. Donde se concentran los esfuerzos de corte. El refuerzo no permitió el desmoronamiento y colapso de las paredes durante de las pruebas, lo que si sucedió con las muestras no reforzadas.

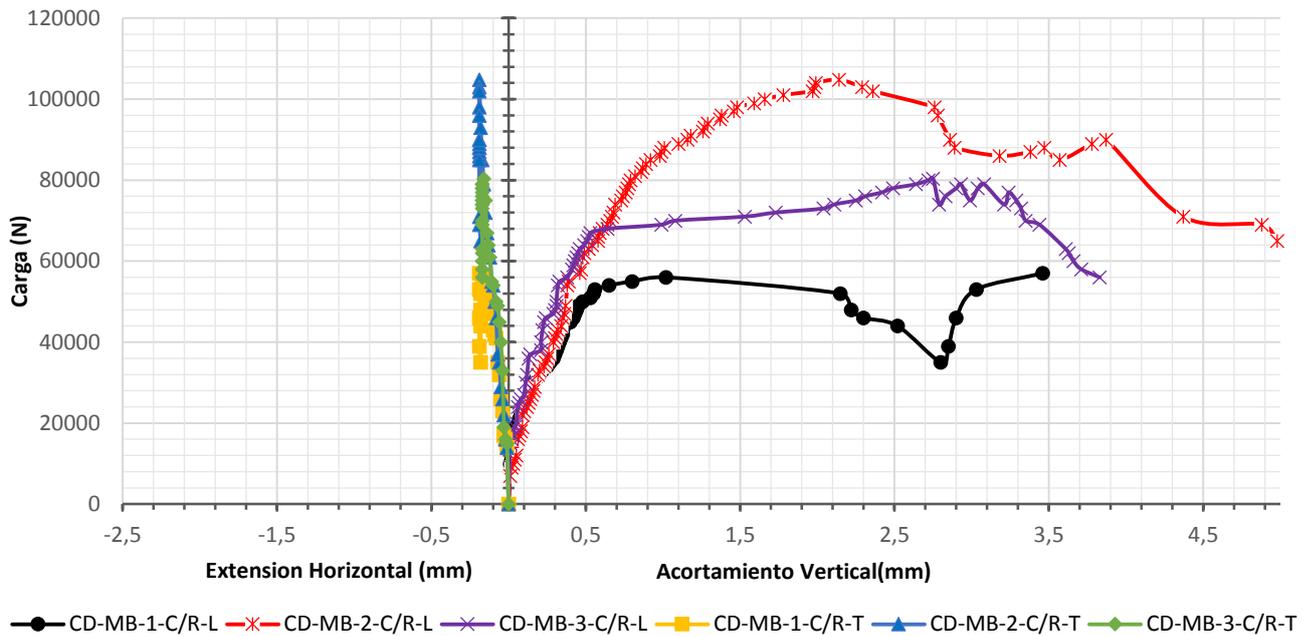


Figura. 23 Compresión Diagonal Mampuesto de Bloque Con Refuerzo (Carga vs Deformación).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

En la Figura 23, se observa el comportamiento de las muestras de bloque con refuerzo. Se nota que las muestras logran recuperar carga luego de llegar a su carga máxima; esto puede deberse a la interacción del reforzamiento con los elementos de la muestra, ayudando a distribuir los esfuerzos a lo largo de todo el elemento. También presenta un crecimiento mínimo en las deformaciones transversales, después de alcanzar su carga máxima comparadas con la deformaciones longitudinales. Se debe notar que existen deformaciones en la parte central por la acumulación de tensiones en los apoyos, por la baja resistencia que presentan los mampuestos de bloque.

Las muestras de bloque sin refuerzo presentan una mayor ductilidad vertical comparando con la ductilidad horizontal; esto podría deberse a la falla presente en las muestras en los apoyos lo cual provocó un desplazamiento vertical mayor.

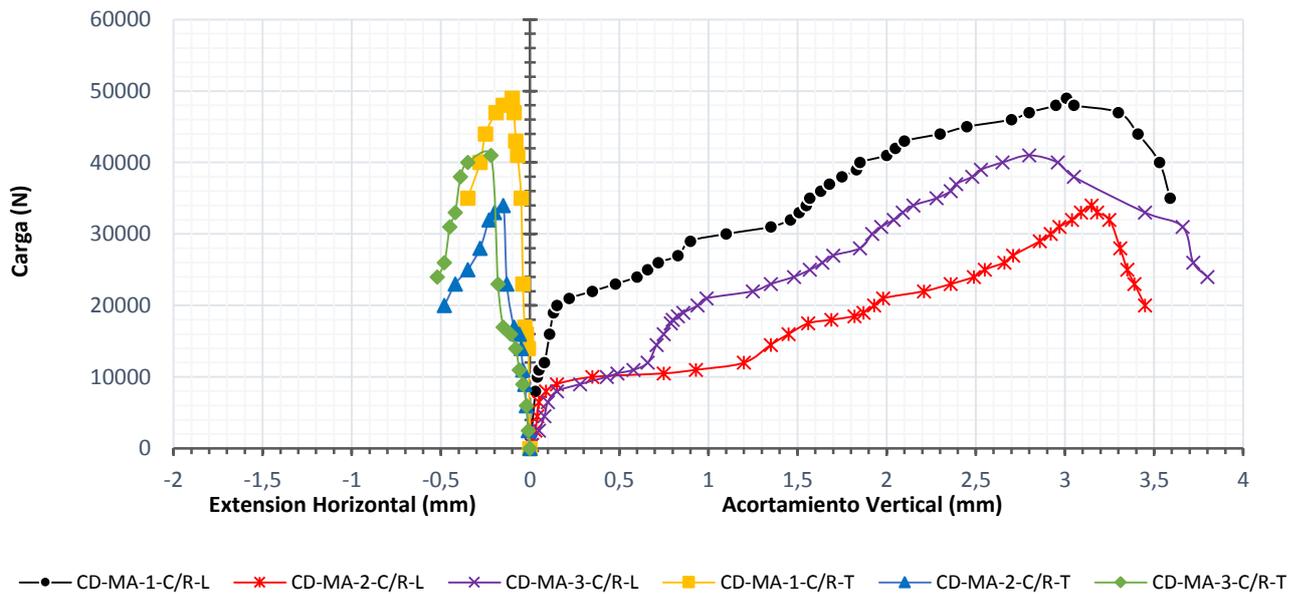


Figura. 24 Compresión Diagonal Mampuesto de Adobe Con Refuerzo (Carga vs Deformación).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

En la figura 24, se puede observar que en las paredes de adobe con refuerzo, la capacidad resistente se ve mejorada notablemente en comparación con las muestras no reforzadas. De la misma manera, las deformaciones antes de la carga máxima son mayores a las presentadas en las muestras sin refuerzo, esto puede atribuirse a que el reforzamiento actuó como un confinamiento en la muestra para soportar mayores cargas e incrementan sus deformaciones.

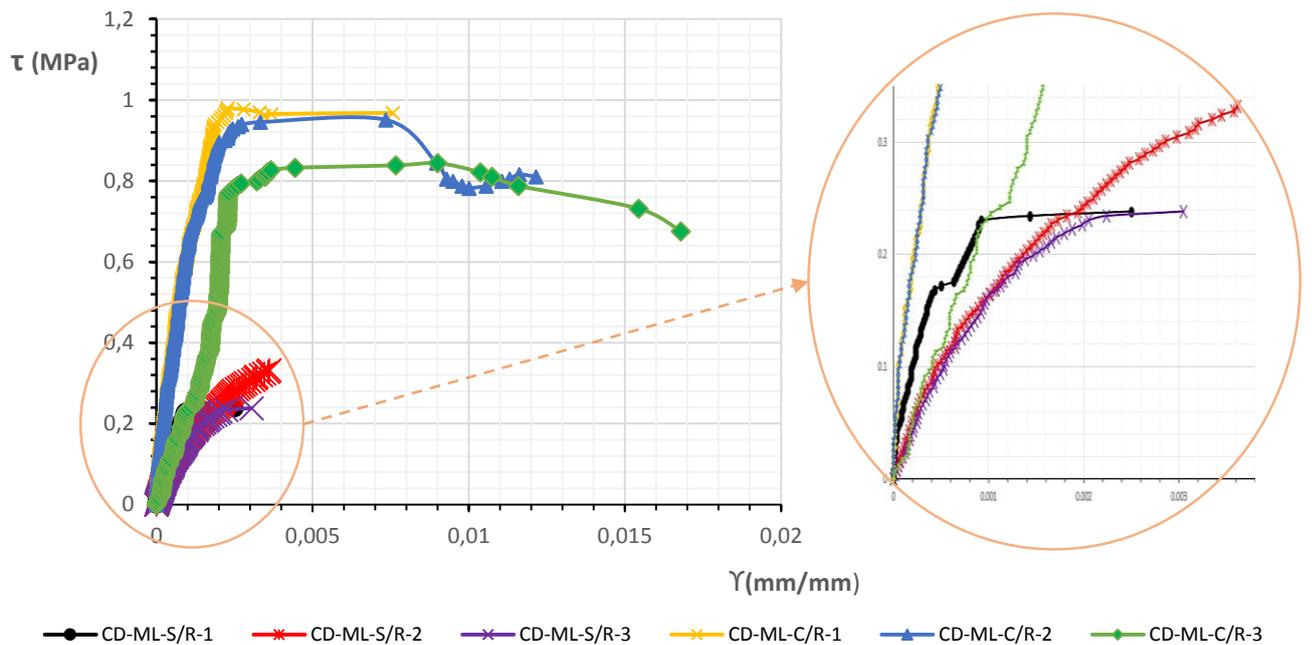


Figura. 25 Mampuesto de Ladrillo Sin Refuerzo y Con Refuerzo (Esfuerzo de Corte vs Deformación Unitaria).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

La Figura 25, presenta el esfuerzo a corte y deformación unitaria a corte que obtuvieron las paredes de ladrillo sin refuerzo y con refuerzo. Se puede notar que los esfuerzos cortantes presentes en las paredes con reforzamiento son mayores hasta 2.28 veces más. Las muestras reforzadas prolongan su rotura soportando esfuerzos continuos e incrementando considerablemente su deformación, debido a la correcta interacción que se obtuvo entre la matriz del refuerzo y los mampuestos. Esto ayudó a formar un solo cuerpo que alcanzó altos esfuerzos. Cuando se formaron fisuras en el FRCM significó que la unión entre mampuesto y mortero de pega falló internamente. Esto provocó el aumento de la deformación sin llegar a esfuerzos mayores.

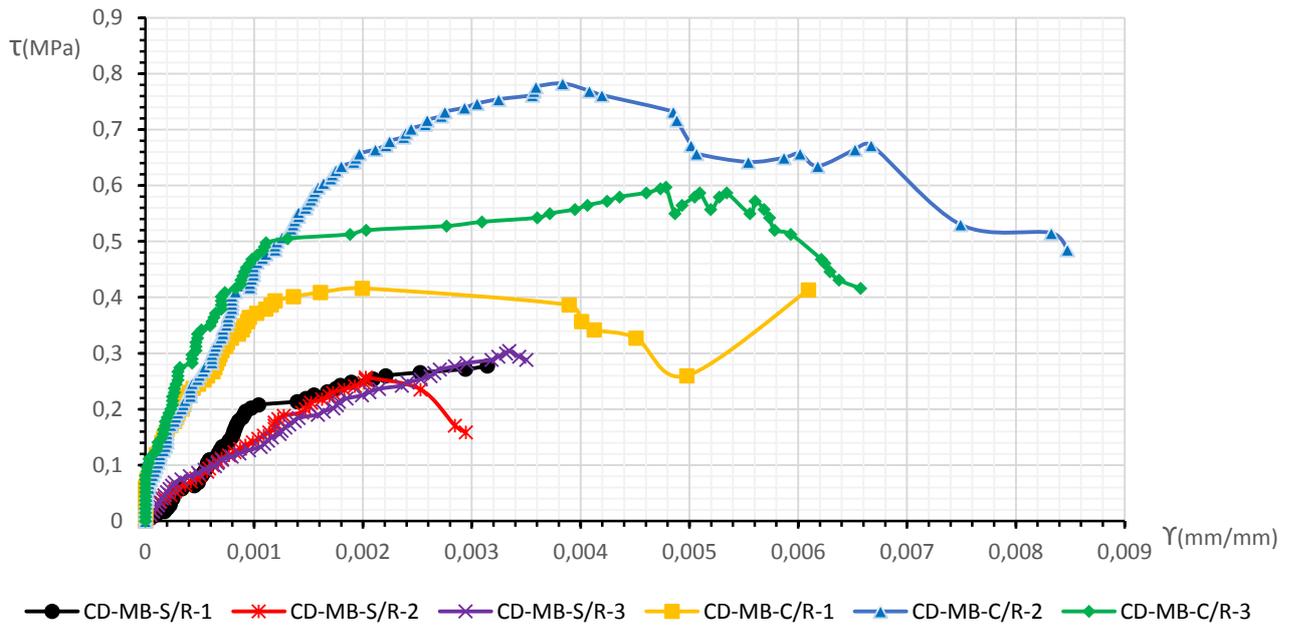


Figura. 26 Mampuesto de Bloque Sin Refuerzo y Con Refuerzo (Esfuerzo de Corte vs Deformación Unitaria).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

En la Figura 26 se muestran las curvas de esfuerzos a corte vs deformaciones unitarias a corte de las muestras de bloque sometidas a compresión diagonal. Se puede notar que las resistencias y deformaciones son mayores en las muestras con refuerzo a las de las muestras sin refuerzo. El uso de reforzamiento ayudó a la muestra a recobrar esfuerzos después de llegar esfuerzo máximo, debido a que el reforzamiento permitió distribuir los esfuerzos acumulados en los apoyos donde se produjeron las fallas de los bloques huecos. De manera que el FRCM ayudó a distribuir mejor los esfuerzos verticales soportados por toda la muestra.

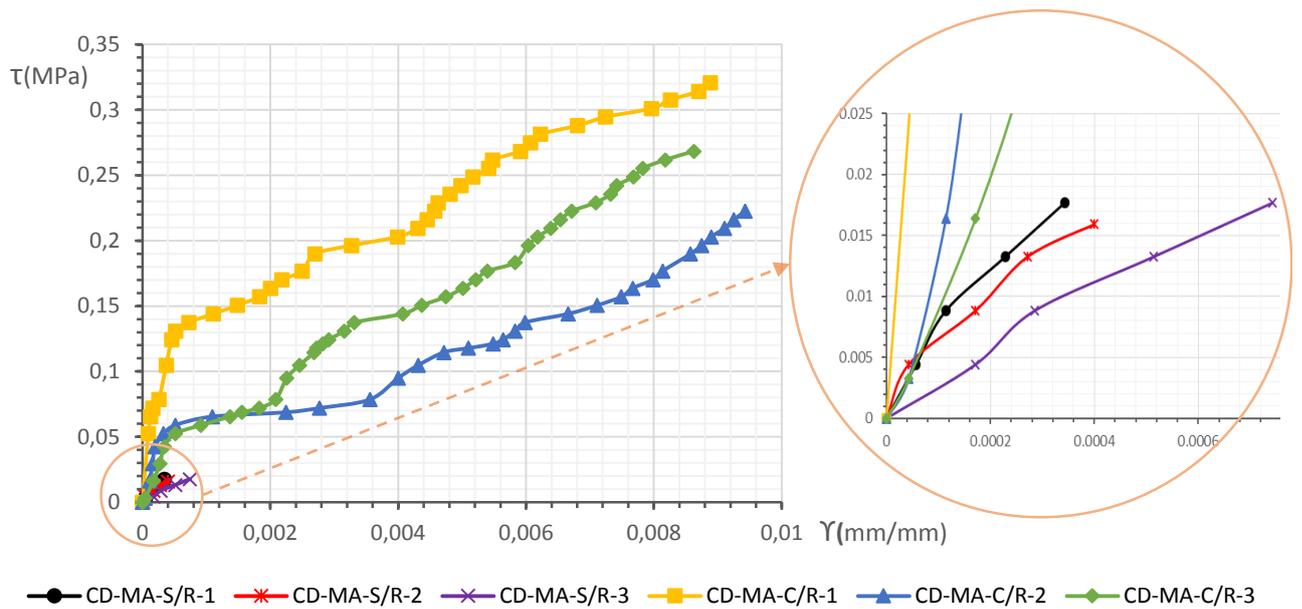


Figura. 27 Mampuesto de Adobe Sin Refuerzo y Con Refuerzo (Esfuerzo de Corte vs Deformación Unitaria).
Elaborado Por: Jahiro Llerena

La Figura 27 presenta los esfuerzos a corte vs las deformaciones que presentan las muestras de adobe con refuerzo y sin refuerzo sometidas a compresión diagonal. Es claro el efecto que se logra al reforzar las paredes. Las capacidades resistentes y de deformación son grandemente mejoradas. Este resultado podría deberse a que el material compuesto comienza a actuar y distribuye las tensiones en otras zonas de la pared, llegando a un esfuerzo máximo que es igual al de rotura.

5.3. Mecanismos de falla a compresión diagonal

El comportamiento de las muestras al ser sometidas a este tipo de ensayo se caracterizó por la formación de fallas debidas a esfuerzos cortantes provocados por cargas verticales. Las fallas más frecuentes en esta investigación son:

- **Falla tensional diagonal en juntas (FTDJ).**

Falla causada por la falla de la adherencia entre el mampuesto y mortero de pega. Su trayectoria es de forma escalonada, aproximadamente en el centro de la muestra. Esta falla fue muy común en las muestras sin refuerzo de ladrillo y adobe.

- **Falla por desplazamiento (FD).**

Es común la falla entre mampuestos y mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal. Estas fallas se presentaron en las muestras de ladrillo sin refuerzo.

- **Falla por aplastamiento (FA).**

Son provocadas cuando la mampostería es de baja calidad o cuando se usan unidades tipo rejilla de paredes delgadas (bloques huecos). Esta falla es muy común en las muestras de bloque sin refuerzo y en las muestras con refuerzo de ladrillo bloque y adobe.

- **Falla de separación externa (FSE).**

En las muestras con refuerzo se presentó la falla mediante una separación del reforzamiento al llegar a su carga de rotura. Esta falla se dió en las muestras de bloque y adobe.



CD-ML-SR-1 – Fallas FTDJ-FD



CD-ML-SR-2– Falla FTDJ



CD-ML-SR-3– Fallas FTDJ-FD



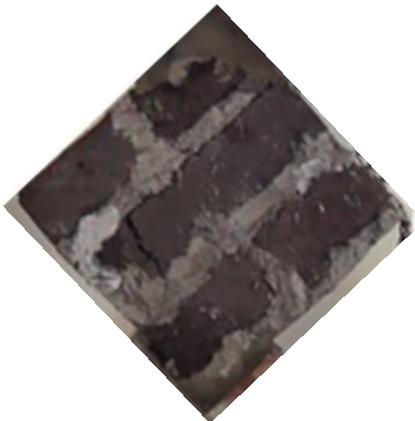
CD-MB-SR-1-Falla FA



CD-MB-SR-2-Falla FA



CD-MB-SR-3-Falla FA



CD-MA-SR-1– Fallas FTDJ-FD



CD-MA-SR-2– Fallas FTDJ



CD-MA-SR-3– Fallas FTDJ

Figura. 28 Paredes ensayadas Compresión Diagonal sin refuerzo.
Elaborado por: Jahiro Llerena.



CD-ML-CR-1 – Falla FTDJ



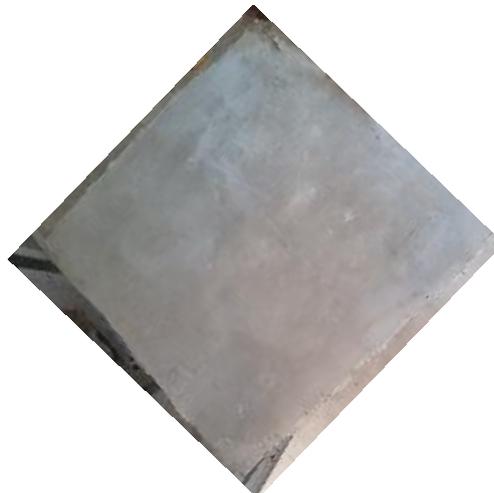
CD-ML-CR-2 – Falla FTDJ



CD-ML-CR-3 – Falla FTDJ



CD-MB-CR-1 – Falla FA



CD-MB-CR-2 – Falla FA



CD-MB-CR-3 – Falla FA



CD-MA-CR-1 – Falla FSE



CD-MA-CR-2 – Falla FSE



CD-MA-CR-3 – Falla FSE

Figura. 29 Paredes ensayadas Compresión Diagonal con refuerzo.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

En el caso de las paredes de bloque se produjo el aplastamiento en la zona del apoyo; esto se produjo debido a que la resistencia que presenta el mortero de pega es mayor que la resistencia del mampuesto, resultando intacta la muestra en un 93.75 %, como a continuación se presenta en la Figura 30. Este mecanismo de falla se evidenció en las paredes de bloque sin reforzamiento y con reforzamiento.

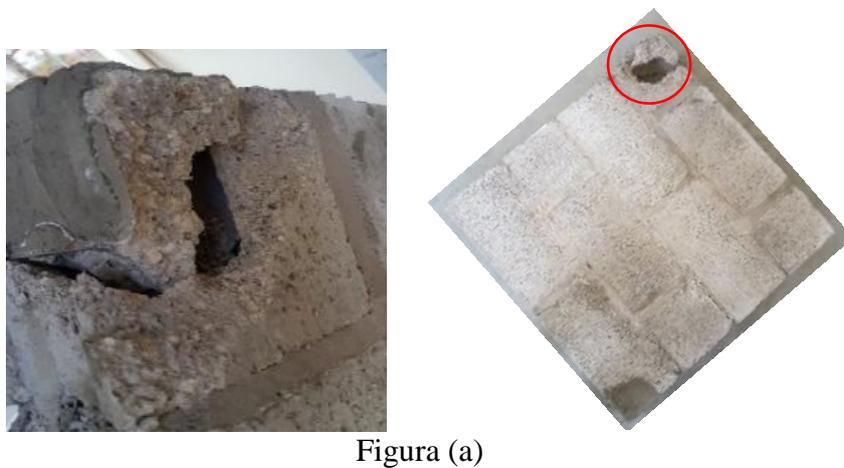


Figura (a)

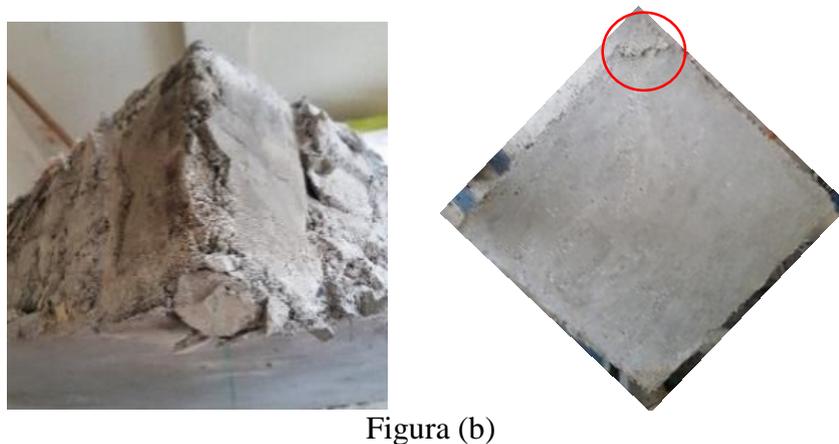


Figura (b)

Figura. 30 Falla en paredes de bloque, a. Muestra sin refuerzo. b. Muestra con FRCM.
Elaborado por: Jahiro Llerena

La falla se repitió en las paredes con refuerzo de ladrillo y bloque. En el caso del ladrillo se presentaron fisuras en el interior de la muestra y aplastamiento en el apoyo, como se aprecia en la Figura 31.



Figura. 31 Falla en paredes de ladrillo con refuerzo.
Elaborado por: Jahiro Llerena

5.4.-Análisis de la variación de resultados

Análisis Estadístico.

Mediante un análisis de varianza (ANOVA) se realizó la validación de los datos obtenidos entre los ensayos realizados en las muestras de pilas y paredes no reforzadas con las muestras que reforzadas con FRCM de cabuya.

Se analizó cada muestra de pilas y paredes dependiendo del tipo de mampostería y se determinó si existen diferencias significativas.

- Pilas.

LSR= Pilas de Ladrillo sin refuerzo.

LCR=Pilas de Ladrillo con refuerzo.

BSR= Pilas de Bloque in refuerzo.

BCR=Pilas de Bloque con refuerzo.

ASR= Pilas de Adobe sin refuerzo.

ACR=Pilas de Adobe con refuerzo.

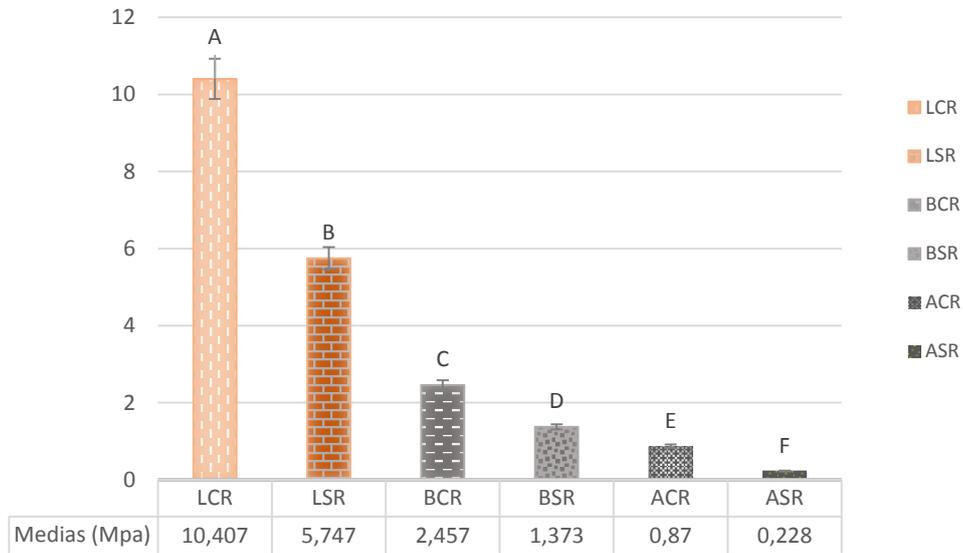


Figura. 32 Análisis Estadístico con los esfuerzos brutos de las muestras de pilas.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Tabla 6 Probabilidad y conclusión del análisis de varianza de los esfuerzos.

Criterio de comparación	Esfuerzo Bruto	
	Probabilidad	Conclusión
LCR-LSR-BCR-BSR-ASR-ACR	0.00000002997	SI
LSR-LCR	0.01658401	SI
BCR-BSR	0.00403587	SI
ASR-ACR	0.00006401	SI
LSR-BSR	0.010108556	SI
LSR-ASR	0.004294717	SI
LSR-BCR	0.026220921	SI
LSR-ACR	0.006720046	SI
LCR-BSR	0.00021679	SI
LCR-ASR	0.000128263	SI
LCR-BCR	0.000364235	SI
LCR-ACR	0.000166421	SI
BSR-ASR	0.000664926	SI
BSR-ACR	0.015344332	SI
BCR-ASR	0.00008819	SI
BCR-ACR	0.000372031	SI

Analizando los esfuerzos presentados en la Tabla 6, las medias de los diferentes tipos de muestras de mampuestos no presentan similitudes en ningún grupo.

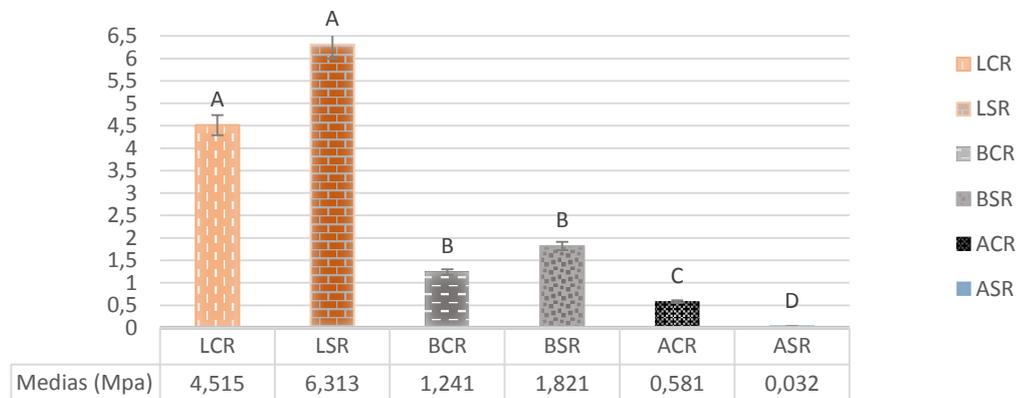


Figura. 33 Análisis Estadístico con los módulos de elasticidad de las muestras de pilas.

Elaborado por: Jahiro Llerena

Tabla 7 Probabilidad y conclusión del análisis de varianza de los módulos de elasticidad.

Criterio de comparación	Módulo de Elasticidad	
	Probabilidad	Conclusión
LCR-LSR-BCR-BSR-ASR-ACR	0.0000007444	SI
LSR-LCR	0.06277319	NO
BCR-BSR	0.22671838	NO
ASR-ACR	0.00097087	SI
LSR-BSR	0.003878461	SI
LSR-ASR	0.000663853	SI
LSR-BCR	0.001749955	SI
LSR-ACR	0.000961162	SI
LCR-BSR	0.003601081	SI
LCR-ASR	0.000058752	SI
LCR-BCR	0.00048377	SI
LCR-ACR	0.000111052	SI
BSR-ASR	0.007675085	SI
BSR-ACR	0.027553486	SI
BCR-ASR	0.00306312	SI
BCR-ACR	0.02965	SI

En la Tabla 7 y en la figura 33 se puede notar una clara agrupación entre tipos de mampuestos, en el caso de las muestras de ladrillo y bloque. En el caso de las pilas de adobe,

si existen diferencias significativas entre grupos, dándose a ver que el módulo de elasticidad que presenta el adobe sin refuerzo es menor al que se tiene con FRCM de cabuya.

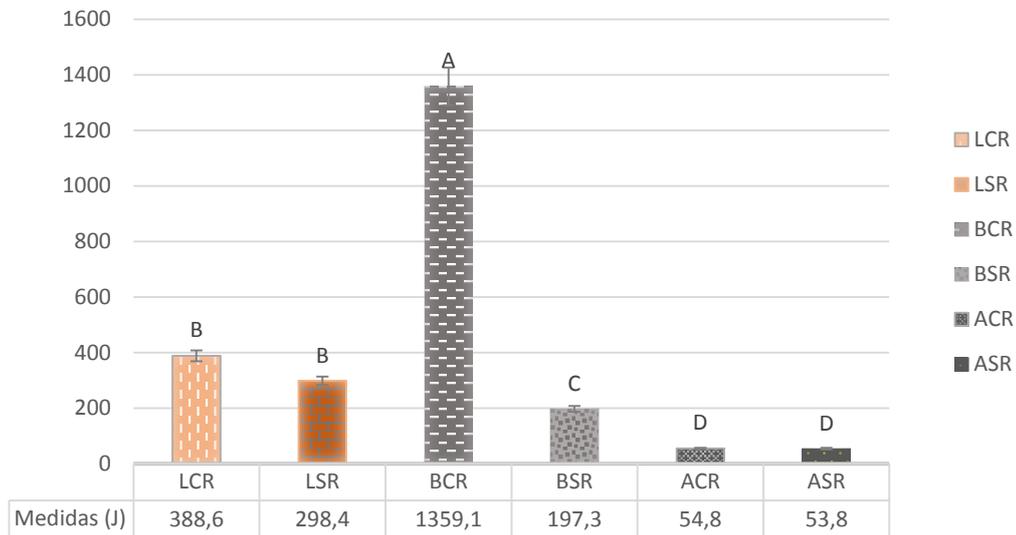


Figura. 34 Análisis Estadístico con las Energías de Rotura de las muestras de pilas.

Elaborado por: Jahiro Llerena

Tabla 8 Probabilidad y conclusiones del análisis de varianza de las energías de rotura.

Criterio de comparación	Energía	
	Probabilidad	Conclusión
LCR-LSR-BCR-BSR-ASR-ACR	0.00014031425	SI
LSR-LCR	0.58167110	NO
BCR-BSR	0.01636572	SI
ASR-ACR	0.544740351	NO
LSR-BSR	0.026993932	SI
LSR-ASR	0.000432665	SI
LSR-BCR	0.02194328	SI
LSR-ACR	0.000278456	SI
LCR-BSR	0.275212918	NO
LCR-ASR	0.082981713	NO
LCR-BCR	0.041226791	SI
LCR-ACR	0.089983384	NO
BSR-ASR	0.005499568	SI
BSR-ACR	0.004984576	SI
BCR-ASR	0.01065097	SI
BCR-ACR	0.010962787	SI

Como se puede apreciar en la Tabla 8 y en la figura 34, las muestras de BCR tuvieron más de cuatro veces energía de rotura que el resto de muestras. Las medias de las muestras de

ladrillo tienen similitudes, las cuales le agrupan en el grupo B, teniendo diferencias significativas con la media de las muestra de BSR, y este a su vez siendo tres veces más su media que las que presentan ACR y ASR.

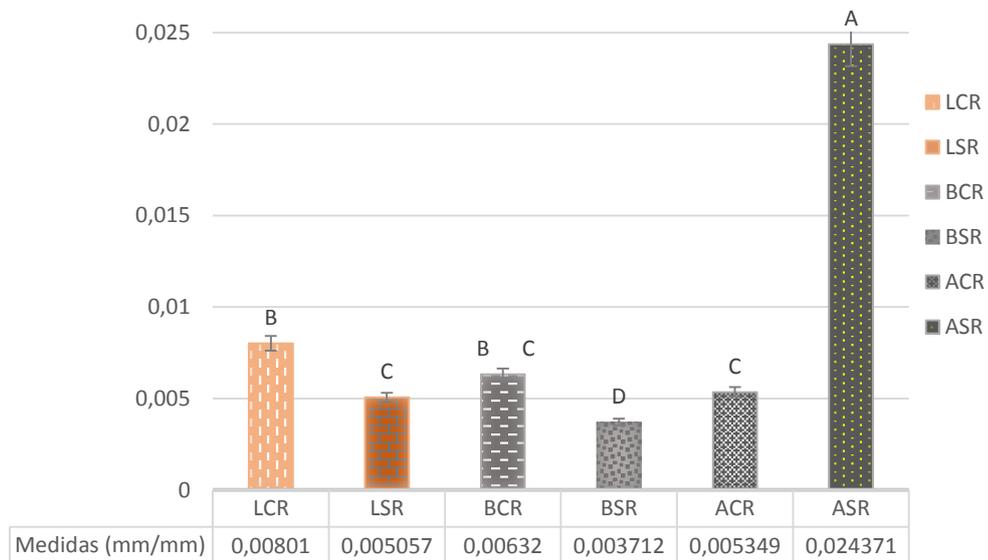


Figura. 35 Análisis Estadístico con las deformaciones unitarias máximas de las muestras de pilas.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Las deformaciones máximas que se observan en la figura 35, dan como resultado las medias de las muestras de ASR con mayores deformaciones. Esto es debido a su colapso inmediato al llegar a su carga máxima, y agrupando a las medias de LCR y BCR, siendo las medias promedio más relevante, entre las medias de BCR y ACR, muestran una similitud considerable. La muestra de BSR es la media con menor valor, esto puede deberse a sus deformaciones bajas cuando las cargas fueron altas.

Tabla 9 Probabilidad y conclusión del análisis de varianza de las deformaciones.

Criterio de comparación	Deformación Unitaria Máxima	
	Probabilidad	Conclusión
LCR-LSR-BCR-BSR-ASR-ACR	0.00000036746	SI
LSR-LSR	0.001151808	SI
BCR-BSR	0.019816599	SI
ASR-ACR	0.002610392	SI
LSR-BSR	0.016876931	SI
LSR-ASR	0.002471411	SI
LSR-BCR	0.131003082	NO
LSR-ACR	0.337790903	NO
LCR-BSR	0.000448884	SI
LCR-ASR	0.00460693	SI
LCR-BCR	0.073734848	NO
LCR-ACR	0.001521093	SI
BSR-ASR	0.001936519	SI
BSR-ACR	0.007726384	SI
BCR-ASR	0.003447165	SI
BCR-ACR	0.214919616	NO
LSR-BCR-ACR	0.141410749	NO

Las deformaciones unitarias presentes en los ensayos de pilas de bloque y adobe con refuerzo FRCM de cabuya se asemejan a los presentados por una muestra de ladrillo sin refuerzo, debido al sistema de reforzamiento ayudando a mejorar notablemente los datos que presentan las muestras de adobe y bloque sin refuerzo.

- Paredes.

De las paredes ensayadas a compresión diagonal se analizó estadísticamente todas las muestras, y se obtiene como resultado agrupaciones que nos indican diferencias significativas y similitudes en los resultados.

MLSR= Paredes de Ladrillo sin refuerzo.

MLCR= Paredes de Ladrillo con refuerzo.

MBSR= Paredes de Bloque in refuerzo.

MBCR= Paredes de Bloque con refuerzo.

MASR= Paredes de Adobe sin refuerzo.

MACR= Paredes de Adobe con refuerzo.

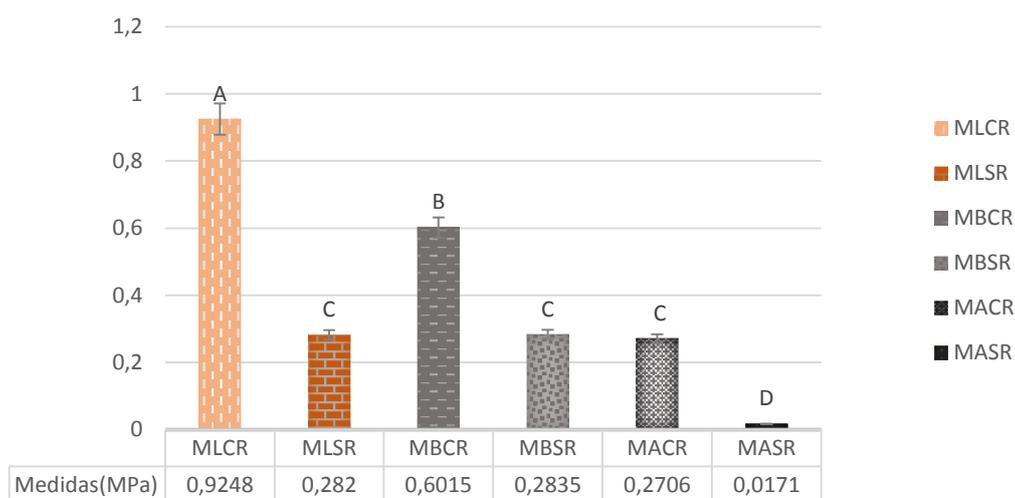


Figura. 36 Análisis Estadístico con los esfuerzos cortantes en paredes.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Tabla 10 Probabilidad y conclusión del análisis de varianza de los esfuerzos a corte.

Criterio de comparación	Esfuerzo a Corte	
	Probabilidad	Conclusión
MLCR-MLSR-MBCR-MBSR-MASR-MACR	0.00000033189	SI
MLSR-MLCR	0.000234841	SI
MBCR-MBSR	0.038403771	SI
MASR-MACR	0.00086490	SI
MLSR-MBSR	0.682007989	NO
MLSR-MASR	0.001540689	SI
MLSR-MBCR	0.037263464	SI
MLSR-MACR	0.953726443	NO
MLCR-MBSR	0.000123309	SI
MLCR-MASR	0.000025017	SI
MLCR-MBCR	0.044274163	SI
MLCR-MACR	0.000196342	SI
MBSR-MASR	0.000046610	SI
MBSR-MACR	0.70224247	NO
MBCR-MASR	0.004873141	SI
MBCR-MACR	0.036913799	SI
MLSR-MBSR-MACR	0.904465849	NO

Como se muestra en la figura 36 y en la Tabla 10, las medias de los ensayos de compresión diagonal de las muestras de ladrillo bloque y adobe, se puede notar una similitud en las medias presentadas por las muestras MLSR, MBSR, MACR, esto se podría deber a que

el sistema de reforzamiento usado ayuda a las muestras de adobe a llegar resistencias altas y lograr compararlas con las paredes de ladrillo y bloque sin refuerzo.

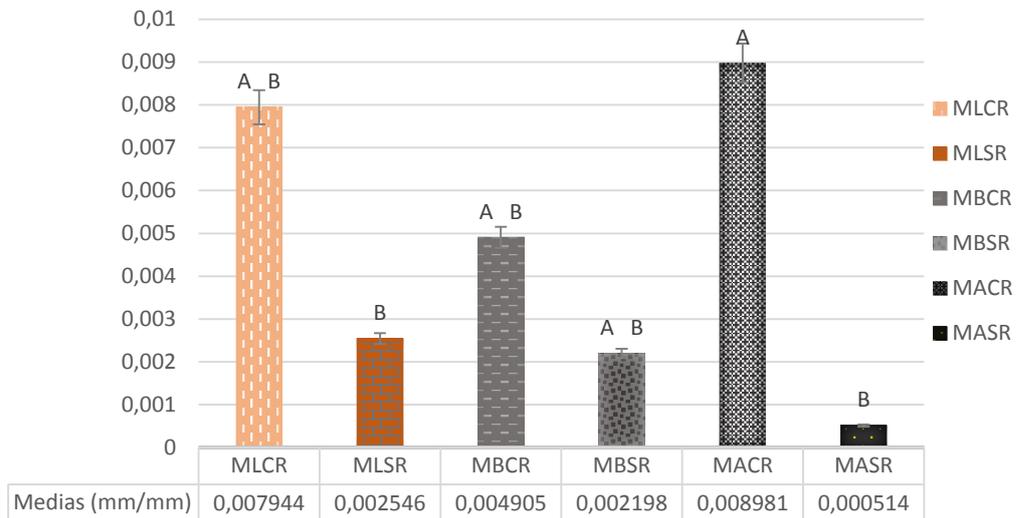


Figura. 37 Análisis Estadístico con las deformaciones máximas unitarias de las paredes.
Elaborado por: Jahiro Llerena

En la figura 37 se puede notar dos grupos de medias, en las cuales podemos identificar en el grupo “A” a las muestras de MLCR, MBCR, MACR, y sus medias tienen una similitud significativa entre ellas. En la siguiente agrupación se puede notar entre las muestras MLSR, MASR y MBSR, de las cuales las muestras MASR tuvieron menor valor de sus medias y las medias de MBSR pueden tener similitudes con las medias de las muestras de MLCR y MBCR.

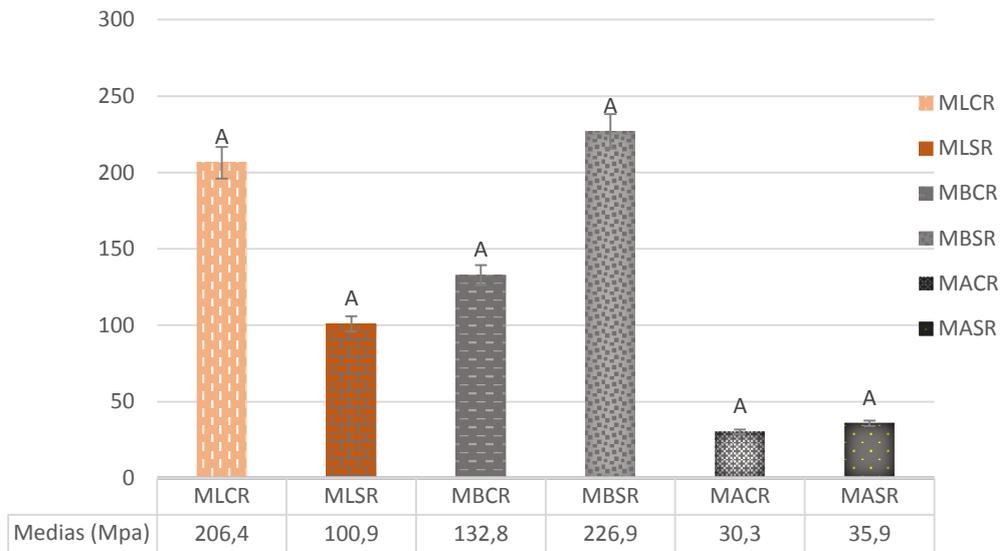


Figura. 38 Análisis Estadístico módulo de rigidez de paredes.
Elaborado por: Jahiro Llerena

Se muestra en la Figura 38 una similitud con las medias de cada muestras usa para el ensayo de compresión diagonal, estos datos se puede justificar debido a la dispersión de datos en cada grupo lo cual da mayor intervalos entre cada media.

6. CONCLUSIONES.

La investigación se enfocó en el estudio de paredes de ladrillo, bloque y adobe sometidas a pruebas de compresión y pruebas de compresión diagonal para evaluar la eficacia de un sistema de reforzamiento a base de una matriz cementicia reforzada con tejidos de cabuya. Para esto, los resultados de muestras de mampostería no reforzada se compararon con los de muestras de mampostería reforzada.

El material de refuerzo FCRM de cabuya ayudó a mejorar las propiedades mecánicas de elementos de mampostería sometidos a compresión y compresión diagonal, considerando en el caso de los esfuerzos de corte, la poca adherencia o limitada interacción entre los mampuestos y el material de unión.

Las paredes que obtuvieron una mayor resistencia frente a esfuerzos cortantes fueron las paredes de ladrillo reforzadas con sistemas FCRM, obteniendo un esfuerzo cortante promedio de 0.92 MPa.

El resultado en muretes determinó un aumento promedio de los esfuerzos a corte al usar tres capas de tejido con mortero de alta resistencia (FRCM de cabuya), dio como resultados que las paredes de ladrillo y bloque tengan un aumento en el esfuerzo a corte de tres a cinco veces a comparación de las que no tienen reforzamiento.

El reforzamiento FRCM de cabuya ayudó a mejorar la adherencia entre mampuesto y mortero de pega, lo cual ayudó en evitar el desmoronamiento de las muestras y a conservar su integridad durante el ensayo.

La falla de las muestras de mampostería de bloque sometidas a compresión diagonal se caracterizó por el aplastamiento de los bloques huecos en los apoyos. El sistema de reforzamiento no evito la falla por aplastamiento de los bloques en los apoyos.

El sistema de reforzamiento fue más eficaz para reforzar mampostería de ladrillo sometida a compresión diagonal, ya que la distribución de esfuerzos se garantizó en todo el elemento, produciendo la falla del material compuesto en conjunto con la falla de la mampostería.

Las muestras de adobe con unos sistemas de reforzamiento FRCM de cabuya sometida a compresión diagonal, alcanzan resistencias a esfuerzos cortantes de 0.2071 Mpa que igualan a las presentadas por las paredes de ladrillo y bloque sin refuerzo (0.282 Mpa y 0.284Mpa, respectivamente), esto debido a que el material compuesto actúa de manera que los esfuerzos lograr distribuirse en toda la muestra.

El presente estudio abre las puertas para futuras investigaciones sobre nuevas formas de utilización de fibras naturales como es el caso de la cabuya en la sierra y la fibra de coco en la costa, materiales que se encuentran en el medio favoreciendo la restauración, edificación y construcción en el Ecuador a través de la innovación en los métodos de reforzamiento.

7. Bibliografía:

- Albuja, D., & Pantoja, J. (2017). Estudio del reforzamiento de la mampostería de bloque de hormigón con malla electrosoldada mediante ensayos destructivos.
- Almache, J., & Tapia, D. (2016). Estudio de la Adherencia de un Sistema Compuesto FRCM Sostenible para el Reforzamiento de Elementos de Hormigón Armado.
- Arboleda, D. (2014). Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) Composites for Infrastructure Strengthening and Rehabilitation : Characterization Methods.
- Babaeidarabad, S., Arboleda, D., Loreto, G., & Nanni, A. (2014). Shear strengthening of unreinforced concrete masonry walls with fabric-reinforced-cementitious-matrix, *65*, 243–253.
- Babaeidarabad, S., Caso, F. De, Ph, D., Nanni, A., Ph, D., & Asce, F. (2014). URM Walls Strengthened with Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Composite Subjected to Diagonal Compression, (2006), 1–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000441](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000441).
- Babaeidarabad, S., Ph, D., Caso, F. De, Ph, D., Nanni, A., Ph, D., & Asce, F. (2013). Out-of-Plane Behavior of URM Walls Strengthened with Fabric-Reinforced Cementitious Matrix Composite, *549*, 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC)
- Baqueiro, F., Gómez, M., Rivera, V., & Marín, J. V. (2009). Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto Determination of the diagonal compressive strength and the shear modulus of masonry constructed with hollow concrete blocks, *2*, 41–50.
- Barros, D. (2017). Comportamiento Ante Carga Perpendicular al Plano, de Muros de

Mampostería en Concreto, Reforzados con Barras de FRP.

- Brito, C., Bello, D. C., Cecchi, A., Meroi, E., & Oliveira, D. V. (2017). Experimental and Numerical Investigations on the Behaviour of Masonry Walls Reinforced with an Innovative Sisal FRCM System, *747*, 190–195.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.747.190>
- Cevallos, O. (2015). Sustainable Fabric-Reinforced Cementitious Composites for the Strengthening of Masonry Elements.
- Elgaaly, M., & Asce, F. (2005). Behavior of Composite Unreinforced Masonry – Fiber-Reinforced Polymer Wall Assemblages Under In-Plane Loading, *9*(February), 73–83.
- Gonzalez, J. (2012). Estudio del mortero de pega usado en el cantón cuenca. Propuesta de mejora, utilizando adiciones de cal. *El Escorial*, *34*, 56.
- Marcillo, A., & Miño, A. (2017). Material compuesto FRCM de cabuya: Mejora de adherencia mediante la redistribucion de los hilos del tejido de refuerzo.
- Menna, C., Asprone, D., Durante, M., Zinno, A., Balsamo, A., & Prota, A. (2015). Structural behaviour of masonry panels strengthened with an innovative hemp fibre composite grid. *CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS*, *100*, 111–121.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.051>
- Moreno, D., & Rodas, V. (2017). *Reforzamiento de Columnas de Ladrillo Trabado con Materiales Compuestos FRCM a Base de Fibras de Sisal (Cabuya)*.
- Paez, D., Parra, X., & Montañó, C. (2009). Alternativa estructural de resuerzo horizontal en muros de mampostería., (14), 51–69.
- Parisi, F., Menna, C., & Prota, A. (2019). *Fabric-Reinforced Cementitious Matrix (FRCM)*

composites: mechanical behavior and application to masonry walls. Failure Analysis in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites. Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102293-1.00010-3>

Pazmiño, M., & Guamán, J. (2016). Sistemas Compuestos FRCM a Base de Tejidos de Fibras de Cabuya y Vidrio para el Fortalecimiento de Columnas y Vigas de Concreto Reforzado.

Sagar, S. L., Singhal, V., Rai, D. C., Asce, M., & Gudur, P. (2013). Diagonal Shear and Out-of-Plane Flexural Strength of Fabric-Reinforced Cementitious Matrix – Strengthened Masonry Wall Joints, 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000796](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000796).

Suarez, M. (2014). Caracterización de materiales antiguos de construcción (tapial y adobe) en las iglesias de Cisneros , Villada y Boada de Campos (Falencia) Characterization of ancient construction materials (mud walls and adobe) in the churches at Cisneros , Villada and Boada de Campos (Falencia), (March 2000).
<https://doi.org/10.3989/mc.2000.v50.i257.416>

Suhelmidawati, E. (2010). In-Plane Diagonal Compression Test of Masonry Wall Retrofitted by Natural Fiber Reinforced Cement Mortar Suhelmidawati, 2–7.

Veneri, A. (2011). Comportamento A Taglio Di Elementi Murari Rinforzati Con Compositi Frcm In Fibre Naturali.

Wan, K. T. (2005). Investigation of Natural Fibre Reinforced Cementitious Composite for Structural Retrofitting of Building Structures.

8. Anexos:

8.1. Anexo 1. Ensayo de compresión de mampuestos de ladrillo.

Se tomaron encuesta los datos de 5 ensayos a compresión sacando el promedio para obtener la resistencia de los mampuesto a usar en la investigación.

Tabla 11 Ensayo de compresión de ladrillo.

Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (mm²)	Carga (N)	Resistencia (MPa)
ML-C-1	102	251	25602	249171	9.73
ML-C-2	108	254	27432	248734	9.07
ML-C-3	102	260	26520	249304	9.40
ML-C-4	103	262	26986	248968	9.23
ML-C-5	106	260	27560	249146	9.04
Promedio de Resistencia					9.29
Desviación Estándar					0.29

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a la compresión (MPa)

F_{max} = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A= El área de aplicación de la carga (mm²).

Nota: se utilizó el mismo cálculo para muestras de ladrillo y adobe.

8.2. Anexo 2. Ensayo de Flexión de mampuestos de ladrillo.

Tabla 12 Ensayo de flexión en ladrillo.

Muestra	Carga de Rotura (N)	Ancho de la cara (mm)	Espesor de Cara (mm)	Distancia de Apoyo (mm)	Módulo de Rotura (MPa)
ML-F-1	11876	102	86	150	3.54
ML-F-2	10077	102	82	150	3.31
ML-F-3	9.631	103	84	150	2.98
ML-F-4	12538	105	84	150	3.50
ML-F-5	9433	102	87	150	1.87
Promedio de Resistencia					3.28
Desviación Estándar					0.42

$$R = \frac{3 * G * I}{2bd^2}$$

Dónde:

R= módulo de rotura (Mpa)

G= Carga de rotura (N)

I= distancia entre apoyos (mm).

b= ancho de cara a cara de la muestra (mm).

d= promedio del espesor de cara a cara de las muestras (mm).

8.3.Anexo 3. Ensayo de Absorción de mampuestos de ladrillo.

Tabla 13 Ensayo de absorción de ladrillo.

Muestra	Mampuesto Seco (g)	Mampuesto Sumergido (g)	% Absorción
ML-A-1	3.172	3.987	25.69
ML-A-2	3.157	3.777	19.64
ML-A-3	3.171	3.827	20.69
ML-A-4	3.178	3.888	22.34
ML-A-5	2.964	3.625	22.30
Promedio de % Absorción			22.13
Desviación Estándar			2.29

$$\%A = \frac{Msm - Msc}{Msc} * 100$$

Dónde:

%A= Porcentaje de Absorción del agua

Msm= mampuesto sumergido (g)

Msc= mampuesto seco (g)

8.4.Anexo 4. Ensayo a Compresión de mampostería de Bloque.

Tabla 14 Ensayo de compresión de bloque.

Muestra	Ancho	Largo	Área de Huecos	Área Neta	Carga	Resistencia
MB-C-1	112	400	21000	23800	72810	3.06
MB-C-2	111	390	21000	22290	86094	3.86
MB-C-3	112	380	21000	21560	60747	2.82
MB-C-4	112	410	21000	24920	72954	2.93
MB-C-5	111	400	21000	23400	65773	2.81
Promedio de Resistencia						3.10
Desviación Estándar						0.44

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_{neta}}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a la compresión (MPa)

F_{max} = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A_{neta} =Es área bruta restando la área de los huecos, (mm^2).

8.5.Anexo 5. Ensayo de Absorción de mampuestos de bloque.

Tabla 15 Ensayo de absorción en bloque.

Muestra	Mampuesto Seco (g)	Mampuesto Sumergido (g)	% Absorción
MB-A-1	6.523	8.188	25.53
MB-A-2	6.235	7.881	26.40
MB-A-3	6.54	8.171	24.94
MB-A-4	6.516	8.175	25.46
MB-A-5	6.532	8.139	24.60
Promedio de % Absorción			25.39
Desviación Estándar			0.68

$$\%A = \frac{Msm - Msc}{Msc} * 100$$

Dónde:

%A= Porcentaje de Absorción del agua

Msm= mampuesto sumergido (g)

Msc= mampuesto seco (g)

8.6. Anexo 6. Ensayo de compresión de mampuestos de Adobe.

Tabla 16 Ensayo de compresión de Adobe.

Muestra	Ancho (mm)	Largo (mm)	Área (mm²)	Carga (N)	Resistencia (MPa)
ML-C-1	200	200	40000	20300	0.51
ML-C-2	199	200	39800	30500	0.77
ML-C-3	202	201	40602	35700	0.88
ML-C-4	200	200	40000	21000	0.53
ML-C-5	201	198	39798	33800	0.85
Promedio de Resistencia					0.71
Desviación Estándar					0.18

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo último a la compresión (Mpa)

F_{max} = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A = El área de aplicación de la carga (mm^2).

8.7. Anexo 7. Análisis Granulométrico. Agregado Fino (Macadam).

Tabla 17 Ensayo de granulometría de macadam M1.

Muestra 1							
TAMIZ		MASA RETENIDA (g)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LIMITES ESPECIFICACION	
mm	pulg.					Inferior	Superior
0.15	#100	312	2.50	0.00	97.50	10	0
0.3	#50	357	17.13	17.13	80.37	30	5
0.6	#30	305	17.93	35.05	62.44	60	25
0.18	#16	358	15.27	50.33	47.17	85	50
2.36	#8	342	17.88	68.20	29.29	100	80
4.75	#4	50	15.62	83.83	13.67	100	100
BANDEJA		273					
Masa Total		1997					
M.F.		2.55					

Tabla 18 Ensayo de granulometría de macadam M2.

Muestra 2							
TAMIZ		MASA RETENIDA	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LIMITES ESPECIFICACION	
mm	pulg.					Inferior	Superior
0.15	#100	310.00	3.65	0.00	96.35	10	0
0.3	#50	305.00	17.87	17.87	79.63	30	5
0.6	#30	332.00	18.02	35.89	61.61	60	25
0.18	#16	360.00	16.62	52.50	44.99	85	50
2.36	#8	357.00	15.27	67.77	29.73	100	80
4.75	#4	73.00	15.52	83.28	14.21	100	100
BANDEJA		261.00					
Masa Total		1998.00					
M.F.		2.57					

Tabla 19 Ensayo de granulometría de macadam M3.

Muestra 3							
TAMIZ		MASA RETENIDA	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LIMITES ESPECIFICACION	
mm	pulg.					Inferior	Superior
0.15	#100	301.00	3.66	0.00	96.34	10	0
0.3	#50	291.00	18.54	18.54	78.96	30	5
0.6	#30	328.00	18.34	36.87	60.62	60	25
0.18	#16	366.00	16.43	53.31	44.19	85	50
2.36	#8	370.00	14.58	67.89	29.61	100	80
4.75	#4	73.00	15.08	82.97	14.53	100	100
BANDEJA		267.00					
Masa Total		1996.00					
M.F.		2.60					

Tabla 20 Ensayo de granulometría de macadam M4.

Muestra 4							
TAMIZ		MASA RETENIDA	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LIMITES ESPECIFICACION	
mm	pulg.					Inferior	Superior
0.15	#100	305.00	2.75	0.00	97.25	10	0
0.3	#50	308.00	17.47	17.47	80.03	30	5
0.6	#30	323.00	18.22	35.69	61.81	60	25
0.18	#16	364.00	16.17	51.85	45.64	85	50
2.36	#8	349.00	15.42	67.27	30.23	100	80
4.75	#4	55.00	15.27	82.53	14.96	100	100
BANDEJA		294.00					
Masa Total		1998.00					
M.F.		2.55					

Tabla 21 Ensayo de granulometría de macadam M5.

Muestra 5							
TAMIZ mm	TAMIZ pulg.	MASA RETENIDA	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	%PASA	LIMITES ESPECIFICACION	
						Inferior	Superior
0.15	#100	0.00	2.90	0.00	97.10	10	0
0.3	#50	0.00	17.71	17.71	79.79	30	5
0.6	#30	0.00	18.46	36.17	61.33	60	25
0.18	#16	0.00	16.31	52.48	45.02	85	50
2.36	#8	LS	14.66	67.13	30.36	100	80
4.75	#4	10.00	15.61	82.74	14.75	100	100
BANDEJA		287.00					
Masa Total		1999.00					
M.F.		2.56					

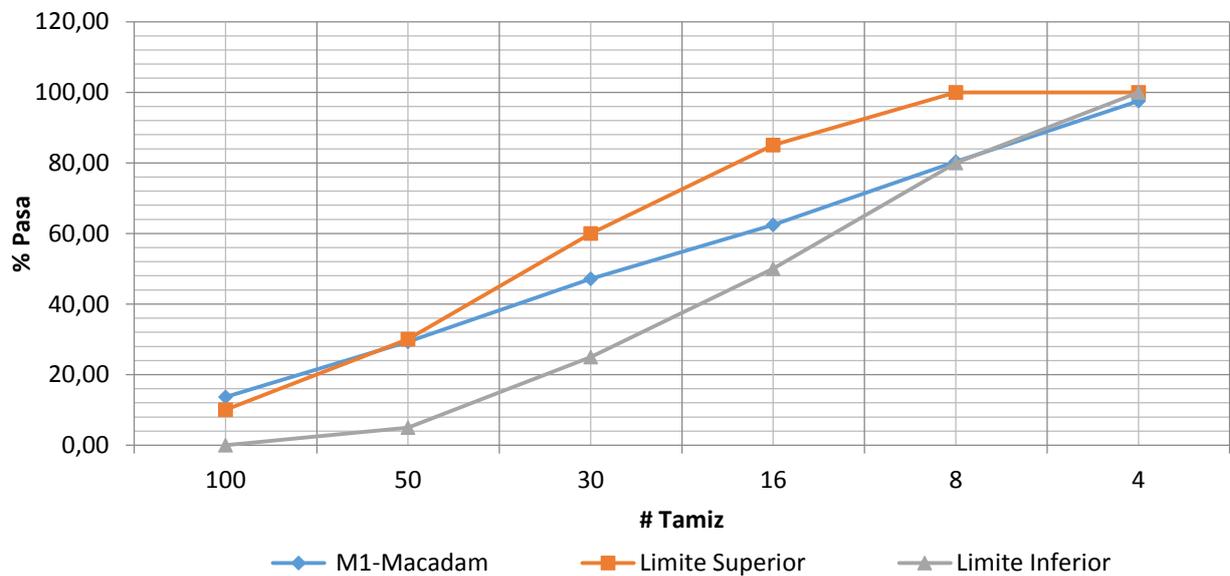


Figura. 39 Granulometría macadam M1.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

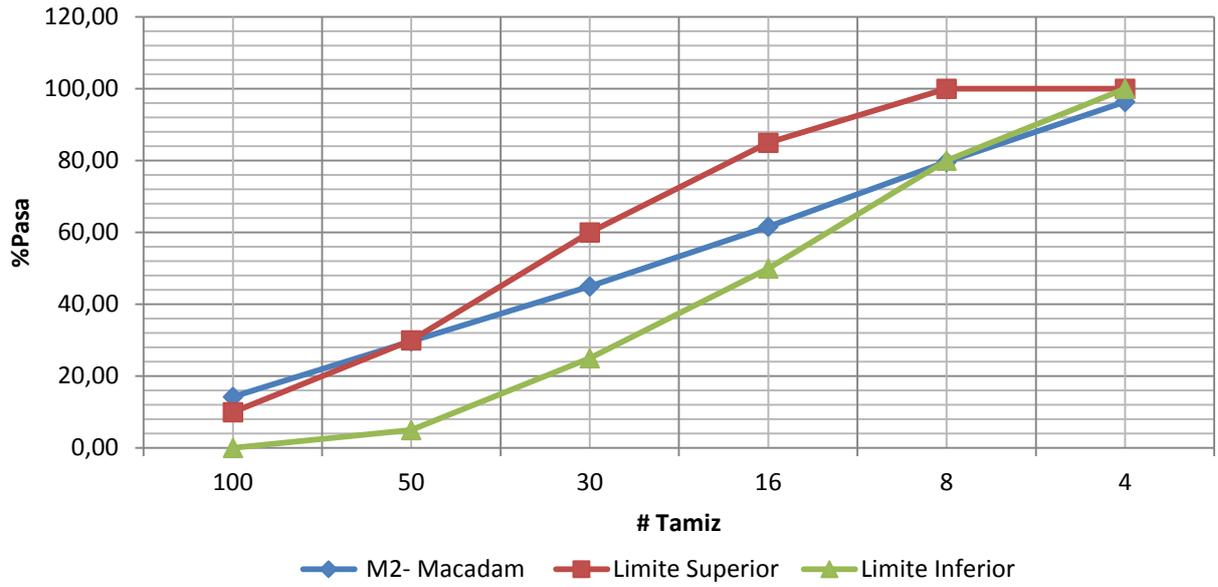


Figura. 40 Granulometría macadam M2.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

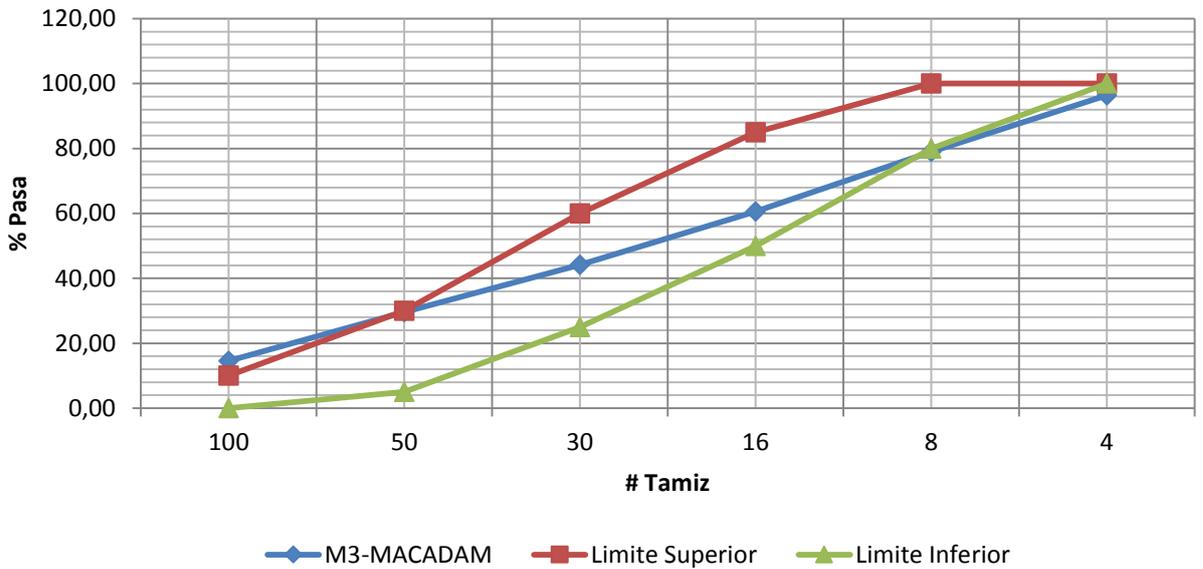


Figura. 41 Granulometría macadam M3.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

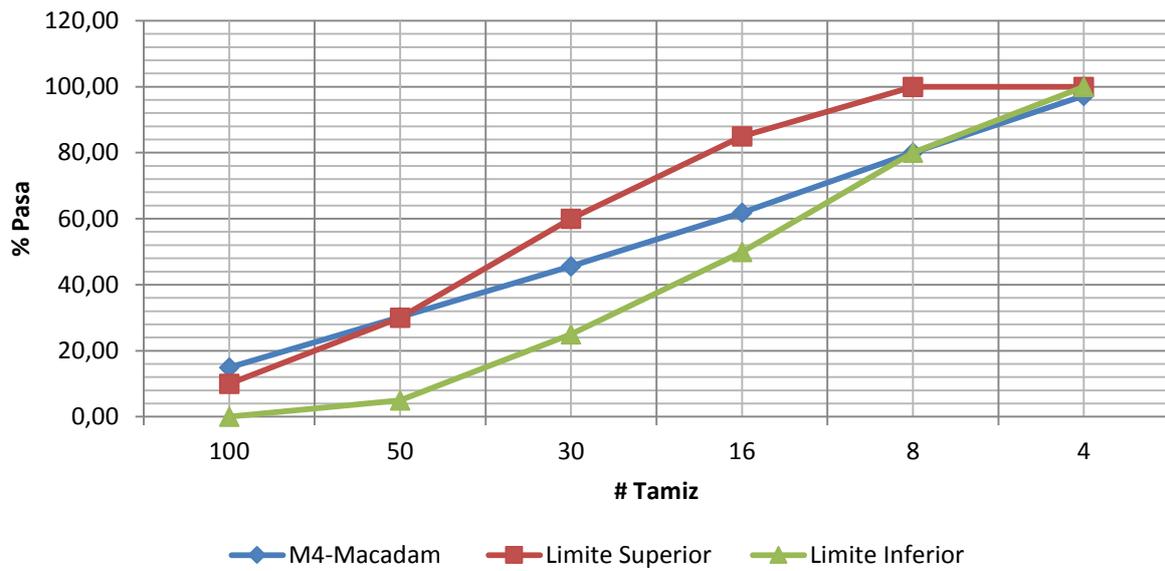


Figura. 42 Granulometría macadam M4.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

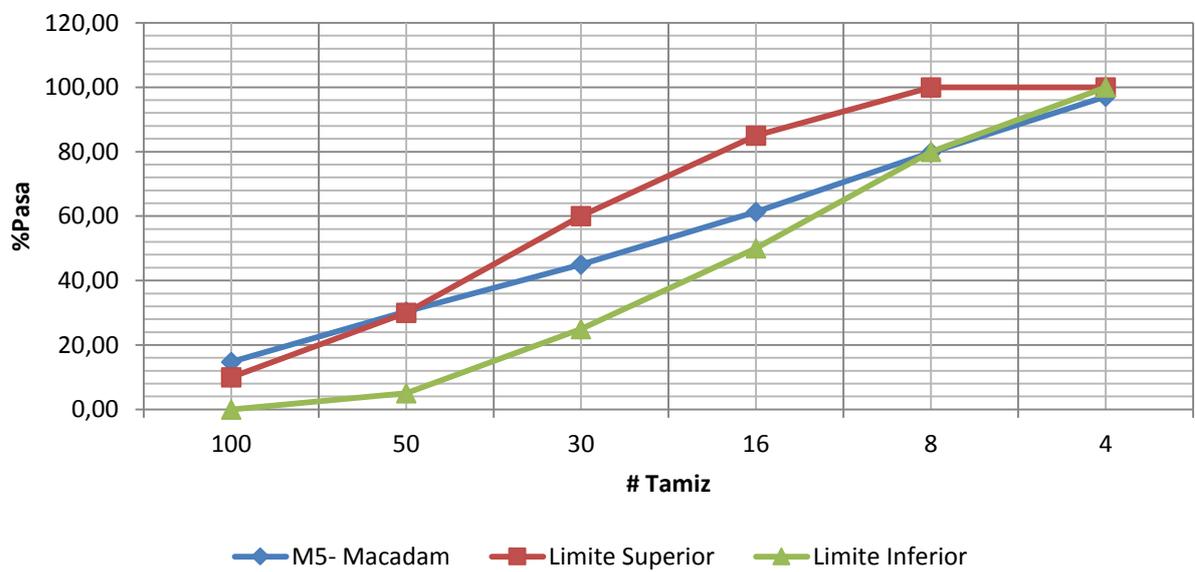


Figura. 43 Granulometría macadam M5.
Elaborado por: Jahiro Llerena.

8.8.Anexo 8.Masa Unitaria Suelta (ASTM C29).

Tabla 22Ensayo de masa unitaria suelta de agregado fino.

Muestra	Masa del recipiente	Masa del recipiente calibrado	Masa de árido + recipiente	Masa del Árido	Volumen del recipiente	Masa unitaria suelta
M1	3151	6093	7292	4141	2942	1.408
M2	3151	6093	7297	4146	2942	1.409
M3	3151	6093	7306	4155	2942	1.412
M4	3151	6093	7296	4145	2942	1.409
M5	3151	6093	7287	4136	2942	1.406
Promedio M.U.S.						1.41
Desviación Estándar						0.0023

$$MSU = \frac{MA}{VR}$$

MA= Masa de Árido

VR= Volumen de recipiente

MUS= Masa Unitaria Suelta

8.9. Anexo 8. Masa Unitaria Compactada (ASTM C29).

Tabla 23 Ensayo de masa unitaria compactada de agregado fino.

Muestra	Masa del recipiente	Masa del recipiente calibrado	Masa de árido + recipiente	Masa del Árido	Volumen del recipiente	Masa unitaria Compactada
M1	3151	6093	7730	4579	2942	1.556
M2	3151	6093	7710	4559	2942	1.549
M3	3151	6093	7735	4584	2942	1.558
M4	3151	6093	7683	4532	2942	1.540
M5	3151	6093	7715	4564	2942	1.551
Promedio M.U.S.						1.55
Desviación Estándar						0.0069

$$MSU = \frac{MA}{VR}$$

MA= Masa de Árido

VR= Volumen de recipiente

MUS= Masa Unitaria Suelta

8.10. Anexo 9. Densidad (ASTM C127).

Tabla 24 Ensayo de Densidad de Agregado Fino.

Muestra	Masa picnómetro + árido sss +agua (g)	Masa del picnómetro calibrado (g)	Masa Árido SSS (g)	Volumen Desalojado (cm3)	Masa Seca al Horno (g)	Densidad Relativa (g/cm3)
D1	1540	1237	500	197	473	2.40
D2	1542	1237	500	195	476	2.44
D3	1543	1237	500	194	477	2.46
Promedio						2.43
Desviación Estándar						0.03

$$DR = \frac{MSH}{VD}$$

DR= Densidad Relativa

MSH= Masa Seca al Horno

VD= Volumen Desalojado

8.11. Anexo 10. Absorción (ASTM C127).

Tabla 25 Ensayo de absorción en Agregado Fino.

Muestra	Masa picnómetro + árido sss (g)	Masa del picnómetro Vacío (g)	Masa Árido SSS (g)	Masa Seca al Horno (g)	Densidad Relativa (g/cm ³)
A1	917	417	500	473	5.71
A2	917	417	500	476	5.04
A3	917	417	500	477	4.82
Promedio					5.19
Desviación Estándar					0.005

$$A\% = \frac{MA_{sss} - MSH}{MSH} * 100$$

A%= Porcentaje de Absorción.

MSH= Masa Seca al Horno

MA_{sss}=Masa Árido SSS

8.12. Anexo 11. Densidad del Cemento.

Tabla 26 Densidad del Cemento.

Lectura Inicial Aceite (ml)	0.5
Lectura Inicial Aceite + Cemento (ml)	22.8
Lectura Final 1 (ml)	22.5
Lectura Final 2 (ml)	22.2
Lectura Final 3 (ml)	22.3
Promedio Lectura Final (ml)	22.3333333

$$\rho_c = \frac{\text{Masa del cemento [gr]}}{\text{Volumen desplazado [cm}^3\text{]}}$$

Masa del Cemento = 64g

Lectura Final= 22.33 cm³

$\rho_c = 2.93 \text{ g/cm}^3$

8.13. Anexo 12.Compresion en Mortero de Pega.

Tabla 27 Ensayos de compresión de mortero de pega.

Muestra	Carga Máxima (N)	Área (mm²)	Resistencia (MPa)
1	39800	2500	15.92
2	42300	2500	16.92
3	45070	2500	18.028
4	43800	2500	17.52
Promedio			17.097
Desviación Estándar			0.906

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo ultimo a la compresión (Mpa)

F_{max} = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

A = El área de aplicación de la carga (mm²).

8.14. Anexo 13. Flexión en Mortero de Pega.

Tabla 28 Ensayo de Flexión de mortero de pega.

Muestra	Carga Máxima (N)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Longitud Apoyo (mm)	Esfuerzo (MPa)
1	1000	38	38	100	2.73363464
2	1090	39	38	100	2.90326017
3	880	40	38	100	2.28531856
4	1100	39	39	100	2.78157083
Promedio					2.67594605
Desviación Estándar					0.27

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max} * L}{b_v * d^2}$$

Dónde:

σ_{max} = Esfuerzo ultimo a la flexión (Mpa)

F_{max} = Carga Máxima antes de la ruptura en (N)

L= longitud entre apoyos (mm)

b_v = ancho de la sección transversal (mm)

d= Alto de la sección transversal (mm)

8.15. Anexo 14. Fluidez en Mortero de Pega.

Tabla 29 Ensayo de Fluidez mortero de pega.

Muestra	Diámetro Promedio (mm)	Diámetro Inicial (mm)	Fluidez (%)
1	113	50	126
2	106.125	50	112.25
3	106.625	50	113.25
4	103.5	50	107
Promedio			114.625
Desviación Estándar			8.06

$$\%F = \left(\frac{\Phi_{prom} - \Phi_{original}}{\Phi_{original}} \right) * 100\%$$

Dónde:

$\%F$ = Porcentaje de Fluidez del Mortero.

Φ_{prom} = Diámetro promedio de mortero ensayado. (mm)

$\Phi_{original}$ = Diámetro inicial. (mm)