UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN



"ANÁLISIS TEÓRICO, DISEÑO Y ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DE REFUERZO COMPUESTO PARA MAMPOSTERÍA CONFINADA SUJETA A CARGAS LATERALES"

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: MAESTRO EN INGENIERIA DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:

ING. ADÁN EDUARDO ALCANTAR OLIVAS

DIRECTOR:

DR. JOSÉ FRANCISCO LIZÁRRAGA PEREDA

CO - DIRECTOR:

DR. RAMÓN CORRAL HIGUERA

CULIACÁN, SINALOA, MEXICO

NOVIEMBRE DE 2020.



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



COSO Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

Agradecimientos.

Todo mi agradecimiento a mis directores, Dr. José Francisco Lizárraga Pereda y Dr. Ramon Corral Higuera, por inspirar mi trabajo con sus valiosos consejos. Mi más afectuoso agradecimiento al investigador Dr. Martin Leal Graciano por su ayuda y apoyo durante este proyecto y al M.I. Jonathan Antonio de Sadot Ramírez Ramírez por sus consejos y aportación de conocimientos para la práctica profesional.

Agradezco mucho a la Universidad Autónoma de Sinaloa y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la oportunidad y todos los conocimientos que me han otorgado.

Resumen.

En esta investigación se trabajó un novedoso refuerzo de fibra de vidrio en piezas de mampostería, que mejoraron las propiedades mecánicas de la mampostería de corte y compresión.

Se realiza la evaluación teórica y experimental en elementos de mampostería con y sin refuerzo. Se obtuvieron las propiedades mecánicas de piezas de mampostería reforzadas con material compuesto utilizando Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio (GFRP). La propuesta de reforzamiento consistió en reforzar las piezas de mampostería con estribo de GFRP. Y la evaluación experimental en:

Pruebas al GFRP de resistencia a tensión y adherencia con distintas áreas de traslape. Ensayos a compresión de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo. Ensayos a flexión de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo. Ensayos a pilas de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo. Y ensayos a muretes de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo. Y ensayos a muretes de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo. Y ensayos a muretes de piezas huecas de block de concreto utilizando piezas con refuerzo y sin refuerzo.

Durante y después de cada prueba se realizó el análisis teórico de los resultados obtenidos en cada prueba de laboratorio.

Y por último se presenta análisis de precios unitarios de las piezas con refuerzo.

Palabras clave.

- Mampostería confinada.
- GFRP.
- Cargas laterales.

Abstract.

In this research, a novel fiberglass reinforcement was worked on masonry pieces, which improved the mechanical properties of the cutting and compression masonry.

The theoretical and experimental evaluation is carried out on masonry elements with and without reinforcement. The mechanical properties of masonry pieces reinforced with composite material were obtained using Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP). The reinforcement proposal consisted of reinforcing the masonry pieces with GFRP stirrups. And the experimental evaluation in:

GFRP tests for tensile strength and adhesion with different areas of overlap. Compression tests of hollow pieces of concrete block using pieces with and without reinforcement. Bending tests of hollow pieces of concrete block using pieces with and without reinforcement. Stack tests of hollow pieces of concrete block using pieces with and without reinforcement. And tests on walls of hollow pieces of concrete block using pieces with reinforcement and without reinforcement.

During and after each test, the theoretical analysis of the results obtained in each laboratory test was performed.

And finally, an analysis of unit prices of the pieces with reinforcement is presented.

Keywords.

- Confined masonry.
- GFRP.
- Lateral loads.

Índice

1. Intr	oduc	ción	. 1
1.1.	Pre	sentación	. 1
1.2.	Def	Finición del problema seleccionado	. 1
2. Fun	ndam	ento teórico	2
2.1.	Hip	oótesis	2
2.2.	Ma	rco histórico y contextual	2
2.3.	Esta	ado del arte	4
2.4.	Ma	rco teórico	10
2.5.	Ma	rco legal	14
3. Pro	yecto	o de intervención	15
3.1.	Obj	jetivo general	15
3.2.	Obj	jetivos específicos	15
3.3.	Just	tificación	15
3.4.	Me	todología	16
3.4.	.1.	Definición de variables	16
3.4.	.2.	Estudios e ingeniería de detalle	17
3.4.	.3.	Recursos técnicos	18
3.4.	.4.	Procedimientos	19
3.5.	Ana	álisis de resultados	29
3.5.	.1.	Pruebas al compuesto de fibra de vidrio y resina polimérica (GFRP)	29
3.5.	.2.	Pruebas a compresión y flexión a piezas de mampostería	41
3.5.	.3.	Pruebas a mortero	57
3.5.	.4.	Pruebas a pilas	60
3.5.	.5.	Pruebas a muretes	68
3.5.	.6.	Análisis de costos de producción	74
4. Est	rateg	ias de implementación	80
4.1.	Pla	n de acción	80
4.2.	Est	rategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto	80
5. Adı	minis	stración del proyecto	81
5.1.	Cro	nograma de actividades	81
5.2.	Rec	cursos	82

6.	Con	clusiones y recomendaciones	83
6	.1.	Conclusiones y recomendaciones	83
Ref	erend	cias documentales y bibliografía complementaria	84

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones de prensa universal 35
Tabla 2. Resultados de pruebas a tensión de GFRP 38
Tabla 3. Resultados de pruebas de adherencia 41
Tabla 4. Resistencia a la compresión media y de diseño de piezas de mampostería, con
referencia en la "Tabla 0.2 Valores mínimos permitidos" de la NTC-2017
Tabla 5. Dimensiones de piezas de mampostería 43
Tabla 6. Resultados de ensaye a compresión de piezas de mampostería sin refuerzo51
Tabla 7. Resultados de ensaye a compresión de piezas de mampostería con refuerzo 51
Tabla 8. Resultados de ensaye a flexión de piezas de mampostería sin refuerzo54
Tabla 9. Resultados de ensaye a flexión de piezas de mampostería con refuerzo54
Tabla 10. Tabla 0.1 "Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero
dosificado en obra", de la NTC-201757
Tabla 11. Resultados de ensayes de resistencia a compresión de mortero tipo I, utilizado en
pilas
Tabla 12. Resultados de ensayes de resistencia a compresión de mortero tipo I, utilizado en
muretes
Tabla 13. Tabla 0.2 "Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de
concreto", de la NTC-201761
Tabla 14. Resultados de ensayes de resistencia a compresión en pilas de piezas de
mampostería sin refuerzo
Tabla 15. Resultados de ensayes de resistencia a compresión en pilas de piezas de
mampostería con refuerzo
Tabla 16. Tabla 0.5 "Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de
mampostería, de la NTC-2017
Tabla 17. Resultados de ensayes de resistencia a compresión diagonal en muretes de piezas
de mampostería sin refuerzo70
Tabla 18. Resultados de ensayes de resistencia a compresión diagonal en muretes de piezas
de mampostería con refuerzo
Tabla 19. Costos de materiales, consumibles, herramientas y mano de obra, utilizados para
Ta implementacion del retuerzo de GFRP
Tabla 20. Tarjeta AAFV-01, habilitado de tiras de fibra de vidrio para las piezas de
12X20X40 cm
Tadia 21. Tarjeta AAF V-02, nadilitado de tiras de fibra de vidrio para las piezas de
12X2UX2U CIII
rationa 22. ratjeta AAF v-05, refuerzo con estitudo de fibra de vidrio a prezas de $12x20x40$

Tabla 23. Tarjeta AAFV-04, refuerzo con estribo de fibra de vidrio a piezas de 12x20x	20
cm	79
Tabla 24. Desglose de precios unitarios de refuerzo de GFRP	80

Índice de figuras

Figura 1. Representación de grafica esfuerzo – deformación, indicando límites de	
comportamiento lineal	20
Figura 2. Representación esquemática de pila en prueba a compresión	26
Figura 3. Representación de pila instrumentada	27
Figura 4. Representación esquemática de grafica esfuerzo - deformación	27
Figura 5. Representación de murete en prueba a compresión diagonal	28
Figura 6. Frasco de resina (Presentación de 1 kg)	30
Figura 7. Muestra de fibra de vidrio tipo petatillo	31
Figura 8. Laboratorio de Estructuras ubicado en la Facultad de Ingeniería Culiacán, Si	inaloa
	31
Figura 9. Habilitado de fibra de vidrio	32
Figura 10. Matriz, mezcla de resina y catalizador	32
Figura 11. Muestras de GFRP en preparación	33
Figura 12. Muestras de GFRP preparadas	33
Figura 13. Prototipo de muestra de GFRP	34
Figura 14. Facultad de Ingeniería, ubicada en Los Mochis, Sinaloa	34
Figura 15. Prensa universal "Instron 600 DX"	35
Figura 16. Extensómetro Instron	36
Figura 17. Muestras emplayadas para transportar a laboratrio	37
Figura 18. Colocación de muestra en prensa universal para ensaye a tensión	37
Figura 19. Grafica esfuerzo - deformación de pruebas a tensión de GFRP, para cálcul	o de
módulo de elasticidad	39
Figura 20. Grafica esfuerzo - deformación de pruebas a tensión de GFRP	39
Figura 21. Muestra MT14 después de ensaye de tensión para adherencia	40
Figura 22. Muestra MT8 después de ensaye a tensión	40
Figura 23. Laboratorio de estructuras ubicado en la facultad de Ingeniería Culiacán,	
Sinaloa	42
Figura 24. Fibra de vidrio tipo petatillo	42
Figura 25. Representación de pieza hueca de mampostería	43
Figura 26. Piezas de mampostería listas para refuerzo de GFRP	43
Figura 27. Representación de pieza de mampostería con refuerzo de GFRP	44
Figura 28. Estribo de GFRP en preparación	44
Figura 29. Preparación de una cara de la pieza con refuerzo de GFRP	45
Figura 30. Piezas de mampostería en proceso de refuerzo con GFRP	45
Figura 31. Piezas de mampostería en proceso de cabeceo	46
Figura 32. Azufre y hoya para calentar azufre	46
Figura 33. Pieza de mampostería cabeceada	46

Figura 34. Representación de ubicación de instrumento de medición en pieza para ensaye flexión	a 47
Figura 35. Representación de ubicación de instrumento de medición en pieza para ensave	a
compresión	47
Figura 36. Pieza de mampostería con superficie de resina para posterior colocación de	.,
strain gage	48
Figura 37. Preparación de strain gage	49
Figura 38. Terminales para strain gage v soldado con estaño	49
Figura 39. Revisión de strain gage de 120 Homs y piezas de mampostería instrumentadas	49
Figura 40. Representación de pieza de mampostería para ensave a compresión	50
Figura 41. Grafica esfuerzo – deformación de ensave a compresión de piezas de	
mampostería sin refuerzo.	52
Figura 42. Grafica esfuerzo – deformación de ensave a compresión de piezas de	
mampostería sin refuerzo	52
Figura 43. Pieza de mampostería colocada en prensa para ensaye a compresión	53
Figura 44. Pieza de mampostería con refuerzo de estribo de GFRP	53
Figura 45. Representación de pieza en ensave a flexión	54
Figura 46. Grafica carga – deformación de ensave a flexión de pieza de mampostería sin	
refuerzo	55
Figura 47. Grafica carga – deformación de ensaye a flexión de pieza de mampostería con	
refuerzo	55
Figura 48. Pieza de mampostería colocada en prensa para ensaye a flexión	56
Figura 49. Falla de pieza de mampostería en ensaye a flexión con refuerzo y sin refuerzo	56
Figura 50. Dosificación de mortero tipo I, cemento-cal-arena	58
Figura 51. Mortero tipo I, cemento-cal-arena	58
Figura 52. Cubos de mortero tipo I, para pruebas de resistencia a la compresión	58
Figura 53. Representación de cubo de mortero tipo I para ensaye de resistencia a la	
compresión	59
Figura 54. Cubos de mortero tipo I colocados en prensa para ensaye a compresión	60
Figura 55. Cubo de mortero tipo I después de ensaye a compresión	60
Figura 56. Fabricación de pilas de piezas de mampostería y mortero tipo I	61
Figura 57. Representación de pila, indicando acotaciones	62
Figura 58. Grafica esfuerzo - deformación de ensaye a compresión de pila P1SR de pieza	l
de mampostería sin refuerzo	63
Figura 59. Grafica esfuerzo - deformación de ensaye a compresión de pila P2SR de pieza	l
de mampostería sin refuerzo	64
Figura 60. Grafica esfuerzo - deformación de ensaye a compresión de pila P3SR de pieza	l
de mampostería sin refuerzo	64
Figura 61. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P1CR de pieza	a
de mampostería sin refuerzo	65
Figura 62. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P2CR de pieza	ì
de mampostería sin refuerzo	66

Figura 63. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P3CR de pieza	
de mampostería sin refuerzo66	
Figura 64. Pila de piezas de mampostería sin refuerzo colocada en prensa universal para	
ensaye a compresión67	
Figura 65. Pila de piezas de mampostería con refuerzo colocada en prensa universal para	
ensaye a compresión67	
Figura 66. Pilas de piezas de mampostería con y sin refuerzo después de ensaye a compresión	
Figura 67. Fabricación de muretes para ensayes a de resistencia a compresión diagonal 69	
Figura 68. Muretes de piezas de block de dimensiones 0.12 x 0.20 x 0.40 m y mortero tipo I	
Figura 69. Representación de muretes, indicando acotaciones	
Figura 70. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M1SR de piezas de mampostería sin refuerzo 70	
Figure 71 Grafice esfuerzo deformación angular de ensave a compresión diagonal de	
murata M2SP de piezos de mempostaría sin refuerzo.	
Figure 72 Grafica esfuerzo deformación angular de ensave a compresión diagonal de	
murete M3SR de piezas de mampostería sin refuerzo.	
Figure 73 Grafica esfuerzo deformación angular de ensave a compresión diagonal de	
murete M1CR de niezas de mampostería con refuerzo	
Figura 74 Grafica esfuerzo – deformación angular de ensave a compresión diagonal de	
murete M2CR de niezas de mampostería con refuerzo	
Figura 75 Grafica esfuerzo – deformación angular de ensave a compresión diagonal de	
murete M3CR de piezas de mampostería con refuerzo	
Figura 76. Murete de piezas de mampostería sin refuerzo colocada en prensa para ensaye a	
compression diagonal	
Figura 77. Murete de piezas de mampostería con refuerzo colocada en prensa para ensaye a compresión diagonal	
Figura 78. Muretes de piezas de mampostería con y sin refuerzo después de ensaye a	
compresión diagonal	

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Fórmula para cálculo del porcentaje de indirectos de oficina (I.O.)	13
Ecuación 2. Fórmula para cálculo del porcentaje de indirectos de producción (I.P.)	13
Ecuación 3. Fórmula para cálculo del porcentaje de financiamiento (F)	13
Ecuación 4. Fórmula para cálculo del porcentaje de utilidad (U)	13
Ecuación 5. Fórmula para cálculo del porcentaje de cargos adicionales (C.A.)	14
Ecuación 6. Fórmula para cálculo del factor de sobre costos (F.S.C.)	14
Ecuación 7. Esfuerzo de tensión en el GFRP	20
Ecuación 8. Esfuerzo de adherencia en traslape en el GFRP	20
Ecuación 9. Resistencia media a compresión de pieza de mampostería	22
Ecuación 10. Resistencia de diseño a compresión de pieza de mampostería	22
Ecuación 11. Módulo de rotura (resistencia a flexión) de pieza de mampostería	22

Ecuación 12. Resistencia media a compresión de cubos de mortero	24
Ecuación 13. Resistencia de diseño a compresión de cubos de morteros	25
Ecuación 14. Resistencia media a la compresión de pilas de mampostería	26
Ecuación 15. Resistencia de diseño a compresión de pilas de mampostería	26
Ecuación 16. Módulo de elasticidad de pila de mampostería	27
Ecuación 17. Resistencia media a compresión diagonal de murete de mampostería	28
Ecuación 18. Resistencia de diseño a compresión diagonal de murete de mampostería .	29
Ecuación 19. Módulo de cortante de murete de mampostería	29
Ecuación 20. Deformación unitaria	38

1. Introducción

1.1. Presentación

La presente investigación presenta una novedosa técnica de reforzamiento que puede ser utilizada para la construcción de muros de mampostería confinada diseñados para resistir cargas laterales en su plano.

Con el propósito de mejorar el comportamiento de los muros ante cargas laterales en su plano, la técnica de reforzamiento consiste en reforzar las piezas de mampostería que conforman el muro con un estribo de GFRP.

El sistema constructivo se pretende sea posible implementarlo en situaciones en donde un muro de mampostería convencional (piezas de mampostería, mortero y confinamiento con dalas y castillos) no tiene la capacidad de satisfacer las solicitudes de diseño que lo demandan ya sea por resistencia o por servicio.

En el contenido de este proyecto se muestra el motivo de la idea de implementar esta técnica, los resultados que se esperan obtener, estudios relacionados presentados anteriormente por otros investigadores, referencias legales como reglamentos y normatividad, objetivos y justificación del proyecto de intervención, metodología, resultados obtenidos, análisis de costos y por último conclusiones y recomendaciones.

1.2. Definición del problema seleccionado

Los muros de mampostería confinada son elementos estructurales importantes debido a su función de transmitir cargas verticales y proporcionar rigidez estructural, su falla puede provocar grandes daños estructurales.

En la actualidad existen estructuras con este sistema constructivo, dañadas considerablemente. Ante dicha situación de perdida de propiedades mecánicas de los muros estructurales de mampostería, se propone nueva estrategia de reforzamiento, la implementación de esta estrategia preventiva de reforzamiento a piezas de mampostería con material compuesto de fibra de vidrio (GFRP), siendo este un material ligero que permite mejorar el comportamiento de la mampostería bajo cargas laterales.

Investigaciones llevadas a cabo sobre el refuerzo con material sintético de fibra de vidrio (GFRP) en muros de mampostería confinada concluyen que es una técnica muy eficiente.

En el desarrollo de este proyecto se contribuirá con nueva estrategia de reforzamiento que mejorará propiedades mecánicas de muros de mampostería confinada y aportará un mejor desempeño en zonas sísmicas.

2. Fundamento teórico

2.1. Hipótesis

Con la implementación de refuerzo con GFRP a piezas de mampostería, se mejorarán las propiedades mecánicas de mampostería utilizada en muros estructurales de mampostería confinada. Las propiedades mecánicas que se mejoraran son a corte y a compresión.

2.2. Marco histórico y contextual.

A pesar de los métodos modernos de diseño de edificios, hay una serie de regiones sísmicas en todo el mundo en las que los edificios de mampostería no han sido diseñados para soportar las cargas sísmicas apropiadas, se ha hecho necesario el reacondicionamiento de estos edificios para que puedan soportar cargas sísmicas. Los muros de mampostería tienen dos principales modos de falla: en el plano y fuera del plano. Cuando la unión entre paredes adyacentes es lo suficientemente fuerte, cuando está sujeta a altas fuerzas laterales, los muros movilizados sufren cizallamiento en el plano y fallas en el plano. Los modos de falla en el plano de los muros de mampostería no reforzada se clasifican en las siguientes cuatro categorías: falla de corte, falla de deslizamiento, falla a flexión, y aplastamiento. No existen actualmente a nivel internacional pautas aceptadas disponibles para ayudar a los ingenieros a decidir cuáles métodos usar cuando se intervienen muros de mampostería; una investigación a fondo de los métodos utilizados para intervenir muros de mampostería es, por lo tanto, requerida (Vatani Oskouei, Jafari, Bazli, y Ghahri, 2018).

Uno de los materiales innovadores y relativamente nuevos utilizados para la construcción de estructuras nuevas y modernización de estructuras existentes tales como muros de mampostería son los polímeros reforzados con fibra (FRP). Las ventajas de este producto son: alta resistencia, alta relación rigidez - peso, buenas propiedades de fatiga, facilidad de manejo, y resistencia a la corrosión. Estos factores han hecho de los materiales compuestos de FRP un material apropiado para uso en aplicaciones en la construcción. El reforzamiento sísmico de los muros de mampostería se puede lograr mediante el uso de: tiras de FRP, telas, y barras FRP montadas sobre su superficie. (Mahmood y Ingham, 2011), realizaron pruebas a compresión diagonal en muretes reconstruidos con telas GRFP, placas de CFRP y barras rectangulares de FRP sobre la superficie. Se logró un gran aumento en la resistencia al corte (es decir, hasta un 325%) en muretes que se reforzaron en una cara con telas FRP. Hubo un cambio no significativo observado en la rigidez con las barras de FRP. Además, hubo una relación lineal entre el aumento del esfuerzo cortante y el producto de la relación de refuerzo horizontal y módulo de elasticidad del FRP (Vatani Oskouei, Jafari, Bazli, y Ghahri, 2018).

La mampostería es un material compuesto hecho de unidades de mampostería y mortero, que se ha utilizado durante siglos. Aunque la mampostería es un material de construcción antiguo, todavía es común y popular en algunos países. Los más vistos son las estructuras de patrimonio de mampostería (Monumentos Históricos), que presenta contextos de valor tales como estética, social, arqueológico, cultural, económico y tecnológico, convirtiéndolos en

un verdadero tesoro de la civilización humana. El diseño, las tecnologías de construcción y los materiales iniciales utilizados en esos patrimonios de mampostería son a menudo drásticamente vulnerables. Por lo tanto, el trabajo de rehabilitación para ayudar a esas estructuras a sobrevivir en condiciones sísmicas y las cargas extremas son esenciales. Además, los muros de mampostería se utilizan a menudo como relleno en los marcos de concreto reforzado, que se sabe a partir de observaciones experimentales y estudios analíticos que la capacidad de carga lateral puede mejorarse enormemente si el marco está completamente lleno de mampostería. Sin embargo, en observaciones de sismos pasados también mostraron que las catástrofes y la pérdida de vidas podrían ocurrir en tales edificios. El colapso es más probable de ocurrir en la dirección fuera del plano o en el marco de concreto reforzado, lo que ha llevado a la idea de que este tipo de estructura posee un pobre rendimiento sísmico. Normalmente, el relleno de mampostería no se toma como un elemento estructural, pero si como secundario. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los rellenos de mampostería pueden contribuir a causar víctimas si los edificios están sujetos a fuertes cargas externas, especialmente a la carga fuera del plano (Wang, Sarhosis, y Nikitas, 2018).

Un gran número de estructuras de mampostería se construyeron solo bajo reglas empíricas, no había códigos en ese momento, y las acciones sísmicas no fueron tomadas en cuenta cuando se construyeron las estructuras, que llevó a su incapacidad para absorber la carga sísmica inducida por un sismo. En consecuencia, tomando esta razón, los edificios de mampostería o los elementos de mampostería a menudo requieren ser reforzados antes de las acciones sísmicas o reequipados siguiendo los eventos sísmicos para garantizar que puedan disipar la energía y aliviar las fuerzas inducidas por sismos (Wang, Sarhosis, y Nikitas, 2018).

La mampostería es uno de los materiales de construcción más antiguos, por miles de años la mampostería fue el material de construcción predominante. Hasta el siglo XIX en la aparición de materiales modernos como el hormigón, el acero y la madera (Abrams 1996). Las propiedades mecánicas de la mampostería son mucho más complicadas. que las de otros materiales de construcción. Durante muchos años, la falta de investigación y comprensión del comportamiento de la mampostería ha llevado a la reticencia de la comunidad de ingenieros en el uso de este material. Sin embargo, una gran cantidad de proyectos de investigación, realizado en mampostería en los últimos 20 años han demostrado la viabilidad de este material para muchas aplicaciones. Como resultado, la mampostería parece estar regresando como una alternativa de construcción confiable. La mayor parte de la reciente investigación se ha centrado sobre la mejora de la seguridad sísmica de los nuevos edificios de mampostería en construcción (Velazquez Dimas y Ehsani, 2000).

Los edificios de mampostería no reforzada constituyen una importante parte del inventario de edificios existentes en todo el mundo. Los edificios de mampostería no reforzada son vulnerables a cargas laterales como las causadas por terremotos o vientos de alta velocidad. En el caso de un terremoto, estas fuerzas laterales son transferidas a la cimentación. A través de muros de carga. Estos elementos estructurales pueden ser sometidos a cargas en el plano o fuera del plano. La falla en edificios de mampostería debido a cargas fuera del plano se consideran las principales causas de lesiones humanas y pérdida de vidas durante terremotos. Reconociendo las deficiencias de los edificios de mampostería no reforzada, ha habido un gran interés en los últimos años por desarrollar técnicas para mejorar el comportamiento sísmico de estas estructuras. (Velazquez Dimas y Ehsani, 2000).

El empleo de materiales tradicionales para el método de fortalecimiento no puede ser la mejor solución en cualquier circunstancia. Algunos métodos de mejora sísmica (por ejemplo, la adición de nuevos marcos estructurales o muros de corte) han demostrado ser impracticables porque podrían ser invasivos o demasiado costosos o restringidos en uso para ciertos tipos de estructuras. (Pinotti, 2017)

Los materiales de alto rendimiento (HPM) ahora se utilizan en diferentes campos para diferentes aplicaciones, el acrónimo HPM se utiliza para indicar una general caracterización de refuerzos de fibra, para concreto reforzado con fibra (FRC), para el reforzado con fibra polimérica (FRP). HPM ahora se usa cada vez más en la industria de la construcción y ofrece considerable potencial para un mayor uso en edificios. (Pinotti, 2017)

Dadas sus propiedades, las principales aplicaciones de HPM en la industria de la construcción son:

- Para mejorar el comportamiento global en la zona sísmica (vinculación, conexiones entre componentes, reforzamiento),
- Para contrarrestar daños incipientes específicos o desarrollados (alto condiciones de compresión, cizallamiento y / o flexión),
- Reparar debilidades locales muy específicas dependiendo de lo peculiar tipología de construcción.

Técnicas modernas de confinamiento consisten en envolver con hojas de FRP. Estas técnicas fueron introducidas en la práctica de la ingeniería como innovadoras, esto durante la última década como alternativa en la madera o el acero. (Pinotti, 2017)

El monitoreo de la salud estructural de los materiales compuestos reforzados con fibra es de importancia crítica debido a su uso en desafiantes aplicaciones estructurales donde se requiere baja densidad y los diseños suelen utilizar un factor bajo de la seguridad. (Groo, y otros, 2020)

2.3. Estado del arte.

Los siguientes autores utilizaron el refuerzo de fibra de vidrio en muros de mampostería y obtuvieron resultados favorables.

Velazquez Dimas y Ehsani (2000), construyo siete muros de mampostería de ladrillo a media escala, externamente reforzados con tiras verticales compuestas de tejido de vidrio y sometidos a cargas estáticas cíclicas fuera del plano.

Los resultados experimentales obtenidos de la mampostería de ladrillos, paredes reequipadas con tiras de material compuesto de fibra de vidrio, con respecto a los obtenidos a partir de soluciones analíticas. Los resultados analíticos se obtuvieron utilizando la teoría de la viga a través de la máxima resistencia y los enfoques elásticos lineales. Claramente, hay una serie de cuestiones que requieren una mayor investigación. Sin embargo, dentro del alcance de este estudio, las siguientes conclusiones pueden ser:

- Se recomienda una solución elástica lineal para la evaluación de la capacidad de flexión de muros de mampostería reacondicionados con materiales compuestos. Este procedimiento resulta en menor resistencia calculada en comparación con los valores medidos para el rango recomendado de relaciones de refuerzo.
- La tensión media de tracción en la tira compuesta para las tres etapas de carga son 0.004 para la primera grieta visible, 0.0055 para la primera delaminación, y 0.01 para la condición ultima, se recomienda que la carga máxima de servicio se limitará a la correspondiente a una tensión de 0.004.
- La máxima relación de refuerzo como múltiplo de la relación de refuerzo equilibrada es 0.4 y 2 para paredes con relación de aspecto de 14 y 28, respectivamente.
- La mayoría de los especímenes exhibieron una ductilidad de fractura índice de 3.75– 5.0 independientemente de la cantidad de refuerzo presente (Velazquez Dimas y Ehsani, 2000).

Valluzi, Tinazzi y Modena (2002), realizaron estudios experimentales en muretes de mampostería de ladrillo, reforzados con laminados de polímero reforzado con fibra (FRP), tenían como objetivo investigar la eficacia de una técnica alternativa de refuerzo de cortante. realizaron las pruebas en nueve muretes de mampostería no reforzada (URM) y 24 muretes reforzados, estos han sido sometidos a pruebas de compresión diagonal, se evaluaron configuraciones con refuerzo diferente. Los resultados experimentales señalaron lo siguiente:

La contribución de las tiras de FRP sobre el comportamiento de corte de muretes de ladrillos de arcilla ha sido investigado; lejos de ser exhaustivos, los resultados del presente estudio indicaron que las aplicaciones asimétricas (refuerzo de un solo lado) en los muretes de mampostería ofrecen una limitada eficacia.

En términos de la capacidad de corte, la configuración diagonal es más eficiente que la configuración de la red; sin embargo, el último ofrece una mejor redistribución de esfuerzos que provoca agrietamientos y con ello una falla menos quebradiza.

En la mayoría de los casos, el material FRP menos rígido parecía ser más eficaz tanto en términos de fuerza última y aumento de la rigidez de los muretes. Eso fue debido al criterio de diseño particular utilizado (El material más débil tiene un área de adhesión más grande), y también el hecho de que el material más rígido es más vulnerable a la separación, especialmente cuando el número de capas aumenta. En la actualidad, nuestro esfuerzo está orientado a formular una relación que implica rigidez, grosor, anchura y número de capas de FRP para cuantificar la susceptibilidad del refuerzo para desvinculación.

Bajos incrementos en la resistencia al corte, en particular en la experiencia aquí descrita, también son atribuibles a la separación que se produce en las porciones seguidas de las cargas compresivas aplicadas (donde la alta tensión causa grietas prematuras) y a la peculiar baja resistencia a la tracción de los ladrillos, lo que provoca la falla de división a través del mecanismo de falla principal. Sin embargo, los ladrillos utilizados representan la tipología más común en Italia. Los métodos alternativos de anclaje parecen ser un tema clave para evaluar durante nuevas experimentaciones con el fin de evitar la pérdida de eficacia debido a la desvinculación.

El tipo de prueba realizada y las dimensiones de la muestra parece un sistema fácil y eficiente para comprobar configuraciones de refuerzo elemental (Valluzi, Tinazzi, y Modena, 2002).

Mahmood e Ingham (2011), realizaron un programa de investigación para investigar la efectividad de los sistemas de polímeros reforzados con fibra (FRP) como una intervención de adaptación sísmica para muros de mampostería no reforzados (URM), cargados en el plano que son propensos fallar en modo cortante durante sismos. Se reforzaron diecisiete muretes con telas de GFRP adheridas externamente, placas de Polímero Reforzado de Carbono (CFRP) o barras rectangulares de CFRP montadas sobre la superficie. Los muretes se probaron mediante la aplicación de una fuerza de compresión diagonal, y se registraron los datos de la fuerza aplicada y la deformación correspondiente. Los resultados se compararon con cinco muretes no reforzados nominalmente idénticos. Se determinó lo siguiente:

- Los sistemas de FRP son opciones viables para las intervenciones de adaptación sísmica de los muros de mampostería sin reforzar, como se observó por la mejora de los parámetros importantes para mejorar el comportamiento sísmico de los muros de mampostería sin reforzar.
- Se logró un gran incremento en la resistencia al corte, hasta 325% con FRP. El uso de FRP en una sola cara fue efectivo; sin embargo, se produjeron grandes desplazamientos fuera del plano, observado en muros que fallaron por esfuerzo cortante. Este aspecto también ha sido observado por otros investigadores.
- La aplicación de FRP mejoró en gran medida la supuesta ductilidad y dureza, especialmente de aquellos muros que fallaron por esfuerzo cortante.
- El FRP horizontal, si se usa en paredes con un mortero débil, no mitiga el modo de deformación deslizante. El uso de reforzamiento vertical o diagonal de FRP con o sin FRP horizontal evita que los muretes se deslicen, como antes fue observado por otros investigadores. El FRP vertical también fue eficaz en el aumento de la resistencia al corte.
- Se observó un cambio insignificante en la rigidez con FRP.
- Todos los métodos de refuerzo aumentaron significativamente la carga final y ductilidad, pero entre ellas, muretes recubiertos con refuerzo de malla GFRP tuvo el mejor rendimiento. Los muretes recubiertos con mallas de GFRP y mortero mostraron los valores más altos. Esta es debido al buen mecanismo de adherencia entre el mortero, malla y pared y la alta resistencia de la malla GFRP. Este incremento de la carga final en un 400% y el desplazamiento vertical final en un 490%. La última tensión de corte se incrementó en un 122%, y la absorción de energía aumentó en casi 33 veces en comparación con especímenes no reforzados.
- En términos de rigidez inicial, la malla GFRP con recubrimiento tuvo la tasa más alta entre todos los métodos, con aproximadamente un 150% de incremento respecto al ejemplar no reforzado (Vatani Oskouei, Jafari, Bazli, y Ghahri, 2018).

Las técnicas de reforzamiento / reacondicionamientos existentes para mampostería no reforzada se han revisado y discutido en este documento, y los resultados demuestran que la eficiencia de los diferentes enfoques de fortalecimiento difiere, cada método posee sus

propios méritos y carencias. Es imposible determinar el mejor enfoque de reforzamiento / reacondicionamiento. El significado de la mejora de cada método de refuerzo depende del material que hizo el edificio original, así como del material utilizado para reforzar. Cuando se ha encontrado que el enfoque implementado es efectivo y económico para un cierto tipo de estructuras, no se puede extender y aplicar a otros edificios. Por lo tanto, la selección de refuerzo los enfoques deben hacerse con base en los factores de mayor interés. Por ejemplo, si la efectividad es la mayor preocupación, entonces FRP es un enfoque apropiado. Sin embargo, si el costo es el mayor problema, entonces el ferrocemento podría ser más apropiado. Después de que se haya realizado el trabajo de reforzamiento / reacondicionamiento, la estructura de mampostería remodelada / reforzada debe ser reevaluada utilizando los enfoques de simulación numérica revisados. El modelo numérico más apropiado se seleccionará en función de los tipos de materiales de remodelación y el sistema de construcción de mampostería. No importa cual enfoque de simulación se elige, el elemento de interfaz entre el ladrillo y el mortero o la interfaz entre el ladrillo la superficie y la superficie de adaptación, son extremadamente importantes. La ley constitutiva y los parámetros deben ser determinados y calibrados cuidadosamente para obtener un resultado más preciso. La investigación sobre el comportamiento mecánico, especialmente el comportamiento no lineal, así como la calibración de los parámetros de los elementos de interfaz no han sido realizados a fondo, se deben realizar estudios más profundos sobre estos campos en futuras investigaciones. (Wang, Sarhosis, y Nikitas, 2018).

Pinotti (2017), realizo investigación en materiales de alto rendimiento para aplicaciones destinadas a la protección estructural y sísmica del patrimonio cultural, con especial énfasis en las estructuras históricas de mampostería. En particular, el objetivo final fue definir una estrategia de autodiagnóstico de fibras, hilos y lazos de cara a intervenciones eficientes, no invasivas y reversibles en los edificios del patrimonio cultural. Como resultado de su investigación concluye lo siguiente:

No puede ocurrir una falla estructural antes de la falla de las fibras. Las fibras activan sus características a lo largo de su distribución prevalente, mientras que tienen insignificantes propiedades en las otras direcciones.

Los resultados experimentales muestran que el refuerzo con FRP cambia significativamente el comportamiento mecánico de la mampostería, lo que resulta en un aumento en resistencia y un cambio en el mecanismo de falla de frágil a dúctil (un comportamiento extremadamente dúctil). El cambio en la resistencia depende mucho de la extensión de la sección envuelta del murete. La efectividad del refuerzo fue menor con el aumento de las dimensiones de la sección transversal de la estructura. Además, se encontró que el aumento en la resistencia también es fuertemente influenciado por la textura de la mampostería. (Pinotti, 2017)

Rougier (2007), realizo análisis numérico y experimental del comportamiento mecánico de mampostería de unidades macizas de arcilla sin reforzar y reforzada y/o reparada, con materiales de matriz polimérica reforzada con fibras de carbono (CFRP), bajo solicitaciones en el plano. La fase experimental incluye: ensayos de compresión uniaxial perpendicular y paralela a las juntas de mortero y compresión diagonal sobre pequeños muretes sin reforzar, reforzados, dañados y reparados, según diferentes configuraciones de refuerzo con CFRP y

ensayos de corte sobre pequeños especímenes de mampostería y juntas de mortero, el trabajo experimental muestra los siguientes resultados:

Si se utiliza una configuración adecuada, el refuerzo con materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras, mejora el comportamiento de la mampostería, aumentando la ductilidad, la resistencia ultima y, en algunos, casos la rigidez.

Si bien el refuerzo con láminas de material compuesto no incrementa significativamente la resistencia bajo estados de compresión uniaxial perpendicular a las juntas horizontales de mortero, mejora la ductilidad y modifica el modo de falla. El aumento en la ductilidad puede llegar a un 240% en el caso de refuerzo total.

Bajo tensiones de corte en el plano, el refuerzo con materiales compuestos, dependiendo de las dimensiones y orientación del mismo, aumenta la ductilidad en el comportamiento, impidiendo el desplazamiento de juntas y, a su vez, aumenta la resistencia ultima.

La disposición de material de refuerzo debe hacerse teniendo en cuenta el tipo de solicitación a la que va a estar sometido el elemento a reforzar.

Entre todas las configuraciones de refuerzo de muros de mampostería de dimensiones reales, la más eficiente en lo que a mejora de la resistencia a corte es el refuerzo con bandas diagonales, pues con un ahorro considerable de material permite alcanzar una mayor carga ultima de 57% con respecto a la mampostería no reforzada. (Rougier, 2007)

Leal Graciano, Quiñonez, Rodríguez Lozoya, Pérez Gavilán, y Lizárraga Pereda (2020), realizaron investigación en cuatro muros confinados de mampostería con abertura central y sujetos a ciclos de carga lateral, de los cuales, en los tres primeros de ellos, la variable de estudio fueron las condiciones de refuerzo en el perímetro de la apertura, se reportan los siguientes datos:

- La rigidez inicial del muro aumentó con la inclusión de refuerzo en el perímetro de la abertura. El muro con dalas y castillos, y el muro con GFRP en el perímetro de la apertura tienen una rigidez inicial similar, que era, en promedio, 18,4% más grande que el del muro sin refuerzo.
- El refuerzo en el perímetro de la abertura aumentó el esfuerzo máximo del sistema. El aumento de la fuerza lateral del muro debido al refuerzo con GFRP fue similar al aumento debido al refuerzo con dalas y castillos. El GFRP aumentó el valor de Vmax en un 33,2%, mientras que los elementos de confinamiento incrementaron este parámetro en un 23,6%.
- El refuerzo en el perímetro de la apertura aumentó significativamente la ductilidad a la máxima resistencia de la pared. El refuerzo con GFRP tuvo un efecto mayor que el refuerzo con dalas y castillos en el incremento de este parámetro (27% más grande).
- Se considera factible utilizar GFRP para reforzar el perímetro de las aberturas en muros confinados de mampostería. Sin embargo, se observa que se requiere más investigación en el que se deben incluir más variables, como la relación de aspecto del muro y la relación entre el área neta y el área total del muro.

El-Diasity, Okail, Kamal, y Said (2015), presentan los siguientes datos, se obtuvieron de la realización de las pruebas de carga cíclica en el plano, realizadas en muros de mampostería confinada, reacondicionados utilizando ferrocemento y sistemas de GFRP de bajo costo. Se construyeron diez montajes de muros con una escala de 0.80, utilizando unidades de arcilla de ladrillo a escala 0.8, que consta de una pantalla de mampostería de arcilla, dos castillos de confinamiento y una dala de amarre, se probaron bajo combinación de carga vertical constante y carga cíclica lateral con protocolo de control de desplazamiento hasta el fallo. Las pantallas de muro tenían varias configuraciones, seis muros sólidos, dos muros perforados con aberturas para ventanas y dos con aberturas para puertas. Dos materiales compuestos (ferrocemento y GFRP) y fueron investigados tres configuraciones de reequipamientos (diagonal "X", conexión y cobertura total). Los hallazgos clave de la investigación se pueden resumir de la siguiente manera:

- Las técnicas de reforzamiento mejoraron la resistencia lateral de muros confinados por un factor que va del 25% al 32% y también mejoraron la disipación total de energía por un factor que va desde 33% a 85%.
- La mejora en las deformaciones laterales máximas fue poco significativa.
- El ferrocemento y las láminas de GFRP de bajo costo mostraron una mejora similar para pantallas sólidas, sometidas a altos niveles de carga lateral. (El-Diasity, Okail, Kamal, y Said, 2015)

También se puede encontrar el uso del GFRP en otros materiales y se concluye que ha sido muy benéfico su uso.

La técnica de la madera laminada encolada (glulam) es un proceso eficaz para hacer un uso racional de la madera. Los polímeros reforzados con fibra (FRP) asociados con las vigas de madera laminada proporcionan ganancias significativas en términos de resistencia y rigidez, y también alteran el modo de rotura de estos elementos estructurales. (Fiorelli y Alves Dias, 2006)

Se realizaron investigaciones experimentales en vigas de concreto reforzado con barras GFRP y acero de refuerzo bajo carga estática. Todas las investigaciones se llevaron a cabo bajo flexión de cuatro puntos. Ensayos de flexión se llevaron a cabo en once números de vigas de concreto de dimensiones $1500 \times 200 \times 100$ mm reforzado con barras de GFRP (10 mm de diámetro o 13 mm de diámetro) y barras de acero de refuerzo (10 mm de diámetro o 12 mm de diámetro). Los valores medios de la capacidad de carga última de las vigas. con refuerzos de GFRP (13 mm día.) y acero de refuerzo (12 mm día.) 85,0 kN y 96,3 kN respectivamente. Aproximadamente un 12% de reducción en la capacidad de carga, se encontró en vigas con refuerzo de GFRP. en comparación con las vigas convencionales con acero de refuerzo. (Ramachandra Murthy, Pukazhendhi, Vishnuvardhan, Saravanan, y Gandhi , 2020)

Hassanein, Mohamed, Sabry Farghaly, y Benmokrane (2020), hicieron investigación en muros de corte de concreto, resistentes a cargas laterales reforzados con barras de GFRP con elementos de contorno confinados por estribos de GFRP dieron como resultado una histéresis / comportamiento estable sin degradación de la resistencia hasta la falla. Los muros probados alcanzaron su capacidad de flexión diseñada sin evidencia de inestabilidad, cortante deslizante, cortante prematuro o falla del anclaje.

La capacidad de compresión de las barras de GFRP controló la falla de muros de cortante reforzados con GFRP dominados por flexión con límite elementos. La falla se caracterizó por la fractura de las barras longitudinales en el límite del lado comprimido seguida por la ruptura de estribos en espiral debido al aumento repentino de la presión de confinamiento acompañado de trituración de concreto.

La contribución del desplazamiento de flexión promedio al desplazamiento total fue del 70% para los muros probados. Esta proporción parece ha sido constante desde el punto de deformación plástica hasta las resistencias finales desarrolladas independientemente de la configuración de confinamiento. (Hassanein, Mohamed, Sabry Farghaly, y Benmokrane, 2020)

Almahmood, Ashour, y Sheehan (2020), realizaron investigación en vigas T de concreto reforzado y concluyeron lo siguiente:

La adición de refuerzo de acero a las vigas GFRP - Concreto Reforzado (RC) T, mejora la ductilidad y deformabilidad de las vigas al prevenir la falla por fragilidad de las vigas GFRP - RC.

Agregar refuerzo de acero a las vigas T de GFRP - RC de manera reduce significativamente el ancho de la grieta. Además, aumentando el refuerzo de acero es más eficaz para reducir el ancho de la grieta que aumentar la relación de refuerzo de GFRP.

Agregar refuerzo de acero a las vigas T de GFRP - RC mejora la rigidez a la flexión de las vigas GFRP - RC. (Almahmood, Ashour, y Sheehan, 2020)

2.4. Marco teórico.

Bloque: Es una pieza de mampostería cuyo largo nominal es 400 mm o mayor en módulos de 100 mm y cuya altura nominal es de 200 mm, (incluyendo la junta de albañilería). generalmente se fabrica de concreto y puede ser macizo, multiperforado o hueco.

Pieza hueca: Son las que tienen, en su sección transversal más desfavorable, un área neta de por lo menos 50 % del área bruta; además, el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 15 mm. Para piezas huecas con dos hasta cuatro celdas, el espesor mínimo de las paredes interiores deberá ser de 13 mm. Para piezas multiperforadas, cuyas perforaciones sean de las mismas dimensiones y con distribución uniforme, el espesor mínimo de las paredes interiores será de 7 mm para piezas de arcilla y 10 mm para piezas de concreto.

Muro de mampostería: Los muros de mampostería siguen siendo los elementos estructurales más empleados para resistir tanto las fuerzas verticales como las horizontales en edificios de vivienda, sea unifamiliar o multifamiliar, en México. Las piezas y morteros empleados para muros permanecen esencialmente los mismos desde hace varias décadas y la forma típica de refuerzo es mediante pequeñas columnas y vigas de concreto que se denominan en México castillos y dalas, en la modalidad que se ha denominado mampostería confinada.

Mampostería confinada: Es la que esta reforzada con castillos y dalas. Para ser considerados como confinados, los muros deben cumplir con los requisitos de las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería (Para más detalle ver la Norma Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería, Sección: 5. Mampostería confinada). En esta modalidad, los castillos o porciones de ellos se cuelan una vez construido el muro o la parte de él que corresponda. Los castillos serán externos si se construyen por fuera de la mampostería; los castillos internos son los que se construyen dentro de piezas huecas, de modo que no son visibles desde el exterior.

Castillos y dalas: Algunos puntos importantes: (Para más detalle ver la Norma Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, Sección: 5. Mampostería confinada).

- a) Existirán castillos por lo menor en los extremos de los muros e intersecciones con otros muros y en puntos intermedios del muro a una separación no mayor de 1.5 H ni 4 m.
- b) Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con peralte mínimo de 100 mm. Aun en este caso se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal.
- c) Los castillos y dalas tendrán como dimensión mínima el espesor de la mampostería del muro, t. En el caso de los castillos, la dimensión paralela al muro no será menor que 150 mm.
- d) El concreto de castillos y dalas tendrá una resistencia a compresión no menor que 15 MPa (150 kg/cm²).
- e) El refuerzo longitudinal del castillo y dala deberá dimensionarse para resistir las componentes verticales y horizontales correspondientes del puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de cuatro barras, cuya área total sea al menos la obtenida con la ecuación en esta norma (Ver ecuación en norma).

Mortero: Mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y es ampliamente utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como pañete, repello o revoque.

Mortero para pegado de piezas: Los morteros que se emplean en elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 7.5 MPa (75 kg/cm²).
- b) Siempre deberán contener cemento hidráulico Portland en la cantidad mínima indicada en la tabla 0.1.
- c) El volumen de arena no será mayor que tres veces la suma de los cementantes y se medirá en estado suelto.
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

e) Si el mortero incluye cemento de albañilería, la cantidad máxima de este, a usar en combinación con cemento, será la indicada en la tabla 0.1 (Ver la Norma Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería)

Material compuesto (FRP): Son fibras de alta resistencia embebidas en una resina. Las fibras pueden ser de carbono, vidrio, boro, nylon, aramid y otras. Las fibras que se han adoptado para su uso en la construcción son las de vidrio, carbono y aramid. Los FRP no solo tienen la ventaja de tener alta resistencia respecto a los materiales convencionales, sino que además son muy ligeros y resistentes a condiciones agresivas del medio ambiente. Lo ligero de su peso hace que las técnicas de rehabilitación o refuerzo sean más fáciles y que no se requiera restringir los espacios en rehabilitación ni reforzar las cimentaciones. Además, su bajo peso causa incrementos despreciables en las fuerzas inerciales causadas por sismos. Una desventaja de los FRP es la susceptibilidad que la resina tiene a los rayos ultravioleta, por lo que los PRF deben protegerse de la exposición directa de la luz solar.

Fibras: Las fibras son filamentos largos y continuos, tienen alta resistencia a la tensión en su dirección longitudinal y muestran un comportamiento elástico lineal hasta la falla. La función de las fibras es soportar las fuerzas y la función de la matriz es distribuir la carga a las fibras y protegerlas del medio ambiente. Las resinas que se utilizan como matriz son poliéster, vinilester y epóxica. Si la fibra utilizada es de vidrio, de carbono o de aramid, los compuestos se denominan respectivamente GFRP, CFRP y AFRP.

GFRP: Material compuesto por fibra de vidrio y resina.

Resina Polimérica: Es la matriz, es decir, la parte no fibrosa del compuesto. Las resinas suelen considerarse isotrópicas y materiales viscoelásticos. Además, la mayoría de las resinas son susceptibles a la degradación de la luz ultravioleta. En general, las resinas poliméricas no se recomiendan para aplicaciones en las que la temperatura exceda los 180° C. Por ello deberá tener sistemas de aislamiento que prevengan el daño en caso de incendios. Son los más utilizados para producir compuestos, ya que son fáciles de infiltrar en el rendimiento de la fibra y son baratos en comparación con otros materiales, pueden ser termoestables (resinas) o termoplásticos.

Termoestable: Son polímeros con cadenas ramificadas, están formados in situ por una reacción química (curado) entre dos polímeros (endurecedor de resina o catalizador de resina), que conduce a una red tridimensional en la que se enlazan enlaces covalentes, diferentes cadenas poliméricas. Una vez curados, no se vuelven líquidos nuevamente si se calientan. Sus principales limitaciones son su fragilidad y capacidades limitadas de alta temperatura (especialmente en condiciones de calor / humedad).

El precio unitario (P.U.) está compuesto por lo siguiente:

- Costo directo (C.D)
- Costos indirectos (C.I.)
- Costo por financiamiento (F)
- Cargo por utilidad (U)
- Cargos adicionales (A)

El costo directo está compuesto por lo siguiente:

- Material
- Mano de obra
- Herramienta
- Equipo

Los costos indirectos están compuestos por lo siguiente:

• Indirectos de oficina (I.O.): Se presenta en porcentaje con la siguiente expresión:

$$I. O. = \frac{\text{Costos de oficina (C. O.)}}{\text{C. D.}} * 100$$

Ecuación 1. Fórmula para cálculo del porcentaje de indirectos de oficina (I.O.)

• Indirectos de producción (I.P): Se presenta en porcentaje con la siguiente expresión:

$$I.P. = \frac{\text{Costos de produccion (C. P.)}}{\text{C. D.}} * 100$$



Los costos por financiamiento corresponden a los gastos derivados por la inversión de recursos propios o contratados que realiza el contratista para dar cumplimiento al programa de ejecución de los trabajos calendarizados y valorizados por periodos.

Se presenta en porcentaje con la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{Costo por financiamineto (C. F.)}}{\text{C. D. + C. I.}} * 100$$

Ecuación 3. Fórmula para cálculo del porcentaje de financiamiento (F)

El cargo por utilidad es la ganancia que recibe el contratista por la ejecución del concepto de trabajo; será fijado por el propio contratista y estará representado por un porcentaje sobre la suma de los costos directos, indirectos y de financiamiento.

Se presenta en porcentaje con la siguiente expresión:

$$U = \frac{\text{Costo por utilidad (C. U.)}}{\text{C. D} + \text{C. I.} + \text{C. F.}} * 100$$

Ecuación 4. Fórmula para cálculo del porcentaje de utilidad (U)

Los cargos adicionales son las erogaciones que debe realizar el contratista, por estar convenidas como obligaciones adicionales que se aplican después de la utilidad del precio

unitario porque derivan de un impuesto o derecho que se cause con motivo de la ejecución de los trabajos y que no forman parte de los costos directos, indirectos y por financiamiento, ni del cargo por utilidad.

Se presenta en porcentaje con la siguiente expresión:

$$A = \frac{\text{Costo por cargos adicionales (C. A.)}}{\text{C. D. + C. I. + C. F. + C. U.}} * 100$$

Ecuación 5. Fórmula para cálculo del porcentaje de cargos adicionales (C.A.)

El factor de sobre costos es el factor por el cual se multiplica el costo directo para obtener el precio de venta.

Se obtiene con la siguiente expresión:

$$F.S.C. = \frac{\text{Precio unitario } (P.U.)}{\text{Costo directo } (C.D.)}$$

Ecuación 6. Fórmula para cálculo del factor de sobre costos (F.S.C.)

2.5. Marco legal.

El presente proyecto de intervención se desarrollará de acuerdo con la vigente norma de técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería de la ciudad de México del 2017.

La cual contiene requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras de mampostería.

Además de las siguientes normas:

NMX - 036 - ONNCCE - 2013 - Industria de la Construcción - Mampostería - Resistencia a la compresión de Bloques, Tabiques y Tabicones y Adoquines.

NMX - 037 - ONNCCE - 2013 - Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo.

NMX - 038 - ONNCCE - 2013 - Industria de la Construcción - Mampostería - Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo.

NMX - 082 - ONNCCE - 2013 - Industria de la Construcción - Mampostería - Adherencia a esfuerzo cortante.

NMX - C-404 - ONNCCE - Industria de la Construcción - Mampostería - Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX - C-464 - ONNCCE – 2010 - Industria de la Construcción - Mampostería - Ensaye de muretes y pilas.

NMX - C - 486 - ONNCCE - Industria de la Construcción - Mortero para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo.

NMX - C-021 - ONNCCE - Industria de la Construcción - Cemento para Albañilería (mortero).

3. Proyecto de intervención

3.1. Objetivo general.

Proponer estrategia de reforzamiento con GFRP (estribo) a piezas de mampostería (block hueco de concreto de 0.12 m), con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas y como consecuencia mejorar el comportamiento de muros de mampostería confinada construidos con estas piezas.

3.2. Objetivos específicos.

- 1. Determinar las propiedades mecánicas de piezas de mampostería con y sin refuerzo, mediante pruebas experimentales en laboratorio.
- 2. Determinar las propiedades mecánicas de pilas y muretes de mampostería con piezas reforzadas y sin reforzar, mediante pruebas experimentales en laboratorio.

3.3. Justificación.

Las estructuras de mampostería sometidas a excitaciones sísmicas de gran intensidad pueden resultar vulnerables. Por tal razón, los trabajos de mejora de propiedades de estos materiales para ayudarles a resistir condiciones sísmicas y cargas extremas son esenciales.

La propuesta de esta técnica de reforzamiento a piezas de mampostería (block hueco de concreto de 0.12 m), aportará una novedosa técnica de reforzamiento en mampostería para mejorar la propiedades mecánicas de muros de mampostería, se podrá utilizar esta técnica en casos en donde implementar las estrategias de reforzamiento desarrolladas hasta el momento, no son convenientes por diferentes cuestiones tales como: tiempos de ejecución en sitio, maniobras restringidas en sitio, o simplemente los resultados obtenidos en esta investigación son suficientes para satisfacer la demanda de comportamientos de diseño estructural en casos específicos.

Beneficios de proyecto de intervención:

- Nueva técnica de reforzamiento (estribo de GFRP).
- La técnica se puede implementar en planta de fabricación, no necesariamente en campo.
- Comparar propiedades mecánicas de muros confinados utilizando esta técnica contra otras técnicas ya desarrolladas.

3.4. Metodología.

3.4.1. Definición de variables.

En este proyecto se consideraron como variables los siguientes materiales:

- Pieza de mampostería, se trabajó con un tipo de pieza de mampostería específica, con las características siguientes:
 - Pieza hueca de concreto, con dimensiones:
 - Específicas de 12 cm x 19 cm x 39 cm (ancho, alto y largo).
 - Nominales (considerando junta) de 12 cm x 20 cm x 40 cm (ancho, alto y largo).
 - Espesor mínimo en paredes exteriores de 20 mm.
 - Espesor mínimo de paredes interiores de 20 mm.
 - Se denomina "Pieza hueca", debido a que Aneta \geq 50 % Abruta.
 - Entendiendo como:
 - \circ Abruta = largo x ancho.
 - \circ Aneta = Abruta área de huecos.
 - Resistencia a la compresión:
 - Resistencia media = 90 kg/cm²
 - Resistencia mínima = 70 kg/cm²
- Mortero para pegado de piezas, el mortero a utilizar en este proyecto conto con las siguientes características:
 - Mortero tipo I, hecho en obra:
 - Revenimiento = 160 mm
 - Retención del agua = 75 % min

- Resistencia de compresión promedio = 180 kg/cm²
- Resistencia de compresión mínima = 125 kg/cm²
- GFRP, material compuesto por fibra de vidrio y resina, en esta investigación se trabajó con un material compuesto con las siguientes características:
 - Matriz: De resina polimérica termoestable.
 - Termoestable porque se forma in situ por una reacción química (curado) entre dos polímeros (endurecedor de resina o catalizador de resina).
 - Características de resina liquida:
 - o Nombre: RESINA POLIESTER PP-70 X 60
 - Densidad: 1.10 ± 0.02 g/ml
 - Color: Rosa
 - Características de catalizador:
 - Nombre: BUTANOX BM-50
 - o Nombre Químico: Peróxido de Metil Etil Cetona
- Propiedades mecánicas de compuesto de fibra de vidrio y resina:
 - o Tensión.
 - o Adherencia.
- Propiedades mecánicas de muretes de mampostería:
 - Resistencia a tensión diagonal
 - Módulo de cortante
- Propiedades mecánicas de pilas de mampostería:
 - Resistencia a la compresión
 - Módulo de elasticidad

3.4.2. Estudios e ingeniería de detalle.

Para el procedimiento de fabricación del mortero para pegado de piezas de mampostería, se consultarán las siguientes normas:

• NMX - C - 486 - ONNCCE - Industria de la Construcción - Mortero para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo.

• NMX - C - 021 - ONNCCE - Industria de la Construcción - Cemento para Albañilería (mortero).

Para conocer las propiedades mecánicas de las piezas de mampostería, se consultaron las siguientes normas:

- NMX 036 ONNCCE 2013 Industria de la Construcción Mampostería Resistencia a la compresión de Bloques, Tabiques y Tabicones y Adoquines.
- NMX 037 ONNCCE 2013 Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones Método de ensayo.
- NMX 038 ONNCCE 2013 Industria de la Construcción Mampostería -Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo.
- NMX 082 ONNCCE 2013 Industria de la Construcción Mampostería Adherencia a esfuerzo cortante.
- NMX C-404 ONNCCE Industria de la Construcción Mampostería Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural Especificaciones y métodos de ensayo.
- NMX C-464 ONNCCE 2010 Industria de la Construcción Mampostería Ensaye de muretes y pilas.

3.4.3. Recursos técnicos

3.4.3.1. Equipos de ensayo para pruebas a GFRP

- Prensa de ensayos de tipo universal Instron 600 DX
- Extensómetro Instron Model 13542-0200-050-ST

3.4.3.2. Equipos de ensayo para pruebas a piezas de mampostería

- Prensa de ensayos de tipo a compresión o universal
- Soporte
- Bloque superior de carga con asiento esférico
- Placa de distribución
- Strain gauges

3.4.3.3. Equipos de ensayo para pruebas a mortero

3.4.3.3.1. Fabricación de mortero

- Bascula
- Pala corta
- Carretilla
- Cubetas

3.4.3.3.2. Resistencia a la compresión

• Máquina de ensayos de tipo a compresión o universal

3.4.3.4. Equipos de ensayo para pruebas a muretes

- Prensa de ensayos de tipo a compresión o universal
- Bloque de carga con asiento esférico
- Angulo metálico
- Placa de distribución
- Micrómetro
- Extensómetro o trasformador diferencial variable lineal (LVDT)

3.4.3.5. Equipos de ensayo para pruebas a pilas

- Prensa de ensayos de tipo a compresión o universal
- Cabezales metálicos
- Material de cabeceo
- Micrómetro
- Extensómetro o trasformador diferencial variable lineal (LVDT)

3.4.4. Procedimientos

3.4.4.1. Pruebas a GFRP

3.4.4.1.1. Resistencia a tensión

- Colocación de tiras de 0.05 m de ancho y 0.40 m de largo en la prensa universal.
- Se ensayaron 5 tiras.

3.4.4.1.2. Adherencia

- Colocación de tiras, con distintas medidas de traslape en la prensa universal.
- Se ensayaron 5 tiras.

3.4.4.1.3. Cálculos para resistencia a tensión

La resistencia a tensión en el GFRP se obtuvo a partir del valor promedio de resistencia de las 5 tiras ensayadas, utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma t = \frac{ft}{Ast}$$

Ecuación 7. Esfuerzo de tensión en el GFRP

Donde:

ft = Carga de tension maxima de rotura (kgf) Ast = Area de la seccion transversal del GFRP (cm2)

3.4.4.1.4. Cálculos para módulo de elasticidad

De las pruebas de resistencia a tensión también se obtuvo el valor del módulo de elasticidad del GFRP, obteniendo este de la gráfica carga contra deformación, el valor del módulo de elasticidad puede ser calculado a través de la pendiente obtenida en la gráfica, siendo calculado como el incremento de carga entre el incremento de deformación correspondiente entre dos puntos limites sobre la línea o pendiente de la gráfica.

El módulo de Young o elasticidad es la razón del esfuerzo de tensión o compresión a la correspondiente deformación dentro del límite de proporcionalidad lineal del material, tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Representación de grafica esfuerzo – deformación, indicando límites de comportamiento lineal

3.4.4.1.5. Cálculos para adherencia

La resistencia de adherencia de traslape en el GFRP se obtuvo a partir del valor promedio de resistencia de las 5 tiras ensayadas, utilizando la siguiente expresión:

$$\sigma a = \frac{ft}{Atr}$$

Ecuación 8. Esfuerzo de adherencia en traslape en el GFRP

Donde:

ft = Carga de tension maxima de rotura (kgf)

 $Atr = Area \ del \ traslape \ de \ las \ tiras \ de \ GFRP \ (cm2)$

3.4.4.2. Pruebas a piezas de mampostería

3.4.4.2.1. Determinación de sus dimensiones

• Utilizando escuadras, vernier y flexómetro, tomar medidas de la pieza alto, largo y ancho.

3.4.4.2.2. Reforzamiento de piezas con GFRP

- Implementación de reforzamiento de estribo a pieza de block de 0.12 x 0.40 x 0.20.
- Se reforzaron 10 piezas con estribo de 0.10 m.

3.4.4.2.3. Resistencia a la compresión (Piezas reforzadas y sin reforzar)

- Cabecear pieza de mampostería.
- Instrumentar la pieza.
- Colocar la pieza en el centro de la prensa de prueba.
- Aplicar la carga a una velocidad establecida de carga conveniente.
- Registrar el valor máximo de fuerza y de resistencia obtenida de la máquina para cada uno de los especímenes probados.
- Se ensayaron 5 piezas sin reforzar.
- Se ensayaron 5 piezas con estribo de 0.10 m.

3.4.4.2.4. Resistencia a la flexión (Piezas reforzadas y sin reforzar)

- Instrumentar la pieza.
- Colocar base metálica con dos apoyos en el centro de la prensa.
- Colocar la pieza apoyada únicamente sobre los dos apoyos en la base.
- Aplicar la carga a una velocidad establecida de carga conveniente.
- Registrar el valor máximo de fuerza y de resistencia obtenida de la máquina para cada uno de los especímenes probados.
- Se ensayaron 5 piezas sin reforzar.
- Se ensayaron 5 piezas con estribo de 0.10 m.

3.4.4.2.5. Cálculos para resistencia a compresión

La resistencia a compresión se determinó para cada tipo de pieza y se presentó el valor promedio de estas, de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-036-ONNCCE.

La resistencia media a compresión se obtuvo con la siguiente expresión:

$$fp = \frac{W}{Abruta}$$

Ecuación 9. Resistencia media a compresión de pieza de mampostería

Donde:

W = Carga Maxima de rotura (kgf)Abruta = Area bruta de la pieza (cm²)

La resistencia de diseño se determina con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra.

La resistencia de diseño se calculó como:

$$f'p = \frac{fp}{1+2.5 \, Cp}$$

Ecuación 10. Resistencia de diseño a compresión de pieza de mampostería

Donde:

fp = Resistencia media a la compresion de la pieza, referida al AbrutaCp = Coeficiente de variacion de la resistencia a compresion de las piezaz,en ningun caso sera menor qie 0.1

3.4.4.2.6. Cálculos para resistencia a flexión

El módulo de rotura (ensayo de flexión) es una propiedad importante como criterio de durabilidad y para entender el mecanismo de falla de la mampostería cuando se solicitan esfuerzos de compresión y flexión, casos muy comunes en la mampostería.

$$MR = \frac{3W\left(\frac{L}{2}\right)}{bd^2}$$

Ecuación 11. Módulo de rotura (resistencia a flexión) de pieza de mampostería

Donde:

W = Carga Maxima de rotura de la pieza (kgf)

- L = Distancia entre los soportes (cm)
- b = Ancho neto de la pieza en el plano de falla (cm)
- d = Profundidad de la muestra en el plano de falla (cm)

3.4.4.3. Pruebas a mortero

3.4.4.3.1. Fabricación de mortero

- Secar la caretilla de mezclado y la pala, completamente.
- Agregar el total de arena.
- Adicionar el cemento hidráulico.
- Adicionar la cal.
- Comenzar a mezclar.
- Verter en la carretilla la cantidad de agua medida.
- Empezar a batir.
- Reposar la mezcla, remover el mortero adherido a las paredes y reintegrarlo.
- Terminar el mezclado.

3.4.4.3.2. Revenimiento

- Uniformar la mezcla con el cucharon.
- Humedecer el molde cono truncado y colocarlo sobre superficie plana, húmeda, no absorbente y rígida. La sección de diámetro inferior debe estar en la parte superior.
- Sujetar bien el molde; para ello, presionar con los pies las abrazaderas o pedales fijados en la base del molde.
- Vertir la mezcla de mortero hasta llenar aproximadamente 1/3 del volumen del molde (Un tercio del volumen del molde de revenimiento se obtiene llenándolo a una profundidad de 2 5/8 "(70 mm)).
- Varillar esta primera capa con 25 golpes, hacer aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, y el resto en forma de espiral hacia el centro del molde.
- Verter mezcla de mortero nuevamente hasta llenar 2/3 del volumen del cono (6 1/8" (160 mm)), y varillar 25 golpes a través de esta capa, apenas penetrando la capa anterior.
- Llenar y varillar la capa superior con 25 golpes, manteniendo un exceso sobre la superficie del molde.
- Después de varillar la capa superior, enrasar la superficie del molde por medio de un movimiento simultaneo de aserrado y rodado con la varilla compactadora. Limpiar el área de la base de cualquier escurrimiento de concreto que haya caído durante el enrasamiento.

- Retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Elevar el molde una distancia de 30 cm en 5 ± 2 segundos, firmemente evitando cualquier movimiento lateral de torsión.
- Inmediatamente, medir el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la parte superior del molde y el centro del desplazamiento en la superficie del cono de mortero revenido. El tiempo transcurrido desde que se llena el molde hasta su levantamiento no deberá ser mayor de 2 ¹/₂ minutos.

3.4.4.3.3. Moldeo y curado de cubos

- Engrasar las caras de contacto de los moldes con el mortero, utilizando vaselina o aceite mineral.
- Preparas el mortero con la dosificación seleccionada.
- El moldeo debe realizarse en un tiempo no mayor a 2.5 min después de finalizado el mezclado.
- Colocar 25 mm de mortero en cada uno de los moldes y apisonar 32 veces cada cubo.
- Completar los moldes con el mortero restante y compactarlo como se realizó en la primera capa.
- Retirar el exceso de mortero con la espátula.
- Colocar los moldes en la cámara húmeda en la cual se encuentra a $20 \pm 2^{\circ}$ C de temperatura y 95 ± 5 % de humedad de 20 a 24 horas. La superficie superior debe quedar expuesta al aire, pero protegida del goteo de agua.
- Se realizarán 3 probetas.

3.4.4.3.4. Resistencia a la compresión

- Sacar el espécimen de la cámara húmeda.
- Colocar el cubo en el centro de la máquina de prueba.
- Aplicar la carga a una velocidad establecida de carga conveniente.
- Registrar el valor máximo de fuerza y de resistencia obtenida de la máquina para cada uno de los especímenes probados.
- Se ensayarán 3 probetas de cada preparación de mortero.

3.4.4.3.5. Cálculos para resistencia a compresión

La resistencia media a compresión se obtuvo con la siguiente expresión:

$$fj = \frac{W}{A}$$

Ecuación 12. Resistencia media a compresión de cubos de mortero

Donde:

W = Carga Maxima de rotura (kgf)A = Area bruta del cubo (cm²)

La resistencia de diseño se calculó como:

$$fj' = \frac{fj}{1 + 2.5Cj}$$

Ecuación 13. Resistencia de diseño a compresión de cubos de morteros

Donde:

fj = Resistencia media a compresion de cubos de mortero (kgf) Cj = Coeficiente de variacion de la resistencia a la compresion del morterose tomará igual a 0.10 cuando su producción sea industrializada de tipo seco opremezclado, o igual a 0.20 en el caso de ser dosificado o elaborado en obra

3.4.4.4. Pruebas a pilas de piezas de mampostería (Piezas reforzadas y sin reforzar)

3.4.4.1. Fabricación de pilas

- Sobre superficie plana colocar primera hilada de una pieza.
- Colocar 1 cm de mortero (aproximadamente) sobre superficie de primera hilada y colocar sobre ella una pieza para segunda hilada.
- Colocar 1 cm de mortero (aproximadamente) sobre superficie de segunda hilada y colocar sobre ella tercera hilada de una pieza.
- Revisar nivel y plomo de pila en cada hilada.

3.4.4.2. Pruebas a pilas para obtención de resistencia a compresión y módulo de elasticidad

- Cabecear pilas.
- Colocar marcos metálicos y dispositivos de medición sobre pila.
- Colocar el murete en el centro de la prensa.
- Aplicar la carga a una velocidad establecida de carga conveniente.
- Registrar el valor máximo de fuerza, resistencia y deformaciones obtenidas, para cada una de las pilas probadas.
- Se ensayaron 3 pilas sin reforzar.
- Se ensayaron 3 pilas con refuerzo.
3.4.4.3. Cálculos para resistencia a la compresión



Figura 2. Representación esquemática de pila en prueba a compresión

La resistencia media a compresión se obtuvo con la siguiente expresión:

$$fm = \frac{W}{A}$$

Ecuación 14. Resistencia media a la compresión de pilas de mampostería

Donde:

W = Carga Maxima de rotura (kgf)A = Area bruta de la pila (cm²)

La resistencia a compresión para diseño se calculó como:

$$fm' = \frac{fm}{1 + 2.5Cm}$$



Donde:

fm = Resistencia media a compresion de pilas, corregida por su relacion (kgf)altura espesor y referida al area bruta<math>Cm = Coeficiente de variacion de la resistencia a la compresion de las pilasen ningun caso se tomará inferior a 0.15

3.4.4.4. Cálculos para módulo de elasticidad

Se determino este valor a partir de los ensayes a las pilas, construidas con las piezas y morteros fabricados, y como se establece en la norma mexicana NMX-C-464.ONNCCE:



Figura 3. Representación de pila instrumentada



Figura 4. Representación esquemática de grafica esfuerzo - deformación

$$Em = \frac{\sigma 2 - \sigma 1}{\varepsilon 2 - 0.00005}$$

Ecuación 16. Módulo de elasticidad de pila de mampostería

3.4.4.5. Pruebas a muretes de piezas de mampostería (Piezas reforzadas y sin reforzar)

3.4.4.5.1. Fabricación de murete

- Sobre superficie plana colocar primera hilada de una pieza y media pieza, pegados entre si con junta de mortero de 1 cm.
- Colocar 1 cm de mortero (aproximadamente) sobre superficie de primera hilada y colocar sobre ellos una pieza y media pieza para segunda hilada, de igual manera pegados entre si con junta de mortero de 1 cm.
- Colocar 1 cm de mortero (aproximadamente) sobre superficie de segunda hilada y colocar sobre ellos tercera hilada de una pieza y media pieza, de igual manera pegados entre si con junta de mortero de 1 cm.
- Revisar nivel y plomo de murete en cada hilada.

3.4.4.5.2. Pruebas a muretes para obtención de resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante

- Colocar el murete a 45° sobre los cabezales metálicos.
- Colocar marcos metálicos y dispositivos de medición sobre murete.

- Colocar el murete en el centro de la prensa.
- Aplicar la carga a una velocidad establecida de carga conveniente.
- Registrar el valor máximo de fuerza, resistencia y deformaciones obtenidas, para cada uno de los muretes probados.
- Se ensayaron 3 muretes sin reforzar.
- Se ensayaron 3 muretes con refuerzo.

3.4.4.5.3. Cálculos para compresión diagonal

Ensayes de muretes construidos con las piezas y morteros que se emplearon en la investigación. Los muretes tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. Los muretes se ensayarán sometiéndolos a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal.



Figura 5. Representación de murete en prueba a compresión diagonal

La resistencia media a compresión diagonal se obtiene con la siguiente expresión:

$$Vm = \frac{W}{A}$$

Ecuación 17. Resistencia media a compresión diagonal de murete de mampostería

Donde:

W = Carga Maxima de rotura (kgf)A = Area bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga (cm²) La resistencia a compresión diagonal para diseño, Vm', se obtuvo de:

$$Vm' = \frac{Vm}{1 + 2.5Cv}$$

Ecuación 18. Resistencia de diseño a compresión diagonal de murete de mampostería

Donde:

Vm = Resistencia media a compresion diagonal de muretes (kgf)Cv = Coeficiente de variacion de la resistencia a la compresion diagonal de muretes, que en ningun caso se romara inferior a 0.20

3.4.4.5.4. Cálculos para módulo de cortante

Se determino este valor a partir de los ensayes a muretes construidos con las piezas y morteros fabricados, y como se establece en la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE:



Ecuación 19. Módulo de cortante de murete de mampostería

3.5. Análisis de resultados

3.5.1. Pruebas al compuesto de fibra de vidrio y resina polimérica (GFRP)

3.5.1.1. Materiales que componen el GFRP

El GFRP está compuesto por dos materiales, el primero una matriz (fase continua) de Resina Polimérica termoestable o termoplástica, conformado por dos materiales con las siguientes características:

- Resina liquida:
 - Nombre Comercial: RESINA POLIESTER PP-70 X 60
 - Densidad: 1.10 ± 0.02 g/ml
 - o Color: Rosa
- Catalizador:
 - Nombre: BUTANOX BM-50
 - o Nombre Químico: Peróxido de Metil Etil Cetona



Figura 6. Frasco de resina (Presentación de 1 kg)

Y el segundo, el refuerzo de fibra de vidrio en dos direcciones (Petatillo), clasificado como fibra sintética, inorgánica, cerámica, con las siguientes características:

- Nombre Comercial: E GLASS WOVEN ROVING 1250MM
- Densidad: 810.0 (g/m2) / La norma ISO 3374 2000, acepta: 800±64
- Resistencia a la tracción y módulo:
 - Longitudinal: 5800 n/50mm / La norma ISO 4606 1995, acepta: >4400
 - Transversal: 5400 n/50mm / La norma ISO 4606 1995, acepta: >4200
- Espesor: 1270 mm / La norma ISO 5025 1997, acepta: 1270±5



Figura 7. Muestra de fibra de vidrio tipo petatillo

3.5.1.2. Preparación de las muestras de GFRP

Los trabajos de fabricación de muestras de GFRP los realizamos en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Culiacán, Sinaloa, con la asesoría del Dr. Martin Leal Graciano.



Figura 8. Laboratorio de Estructuras ubicado en la Facultad de Ingeniería Culiacán, Sinaloa

3.5.1.2.1. Paso 1: Habilitado de muestras

Se habilitaron 6 tiras de fibra de vidrio para pruebas a tensión y 8 para adherencia, con las siguientes medidas:

- H total = 0.49 m (0.12 m a cada lado para mordazas de prensa)
- H efectivo = 0.25 m
- Ancho B = 0.05 m



Figura 9. Habilitado de fibra de vidrio

3.5.1.2.2. Paso 2: Dosificación para conformar Matriz (Resina – Catalizador)

El proveedor de la resina y catalizador nos recomendó la siguiente dosificación:

• Para 1 kg (Presentación comercial, 1 frasco) mezclar con 140 gotas de catalizador (Presentación comercial, 1 gotero)

De manera práctica obtuvimos la siguiente dosificación:

- 1 kg de resina = 14.9 cm
- Por lo tanto 1 cm = 0.067 kg de resina
- Entonces utilizamos para 67 gramos = 1 cm = 9.38 gotas de catalizador



Figura 10. Matriz, mezcla de resina y catalizador

3.5.1.2.1. Paso 3: Preparación de muestras

- Se mezclan los materiales que conforman la matriz, resina y catalizador.
- Se limpia superficie de hule negro y se coloca la primera capa de la matriz
- Se espera a que la capa esté viscosa y se coloca la tira de fibra de vidrio
- Rápidamente se cubre la superficie de la tira con la segunda capa de matriz
- Se eliminan huecos de aire
- Se deja secar por 5 horas aproximadamente
- Se cubre de nuevo con la tercera capa de matriz



Figura 11. Muestras de GFRP en preparación



Figura 12. Muestras de GFRP preparadas



Figura 13. Prototipo de muestra de GFRP

La mezcla de la matriz nos dio un rendimiento aproximado de 1.4913 kg por m² de fibra de vidrio.

3.5.1.3. Pruebas a Tensión y Adherencia de GFRP

La ejecución de estas pruebas las planeamos y realizamos con el objetivo de conocer las propiedades de resistencia a tensión, módulo de elasticidad y adherencia en traslape de nuestro GFRP.

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio de Pruebas Mecánicas de la Facultad de Ingeniería en Los Mochis, Sinaloa.



Figura 14. Facultad de Ingeniería, ubicada en Los Mochis, Sinaloa

Fuimos bien recibidos y asesorados por el Dr. Francisco Javier Baldenebro López y tres estudiantes de Posgrado.

3.5.1.3.1. Equipo utilizado

Para realizar las pruebas al compuesto utilizamos una prensa universal "Instron 600 DX", con las especificaciones mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones de prens	sa universal
------------------------------------	--------------

Prensa Universal "Instron 600 DX"							
N.C. 1.1.	Capacidad de Carga			Velocidad Máxima de Prueba			
Niodelo	kN	kgf	lbf	mm / min	in / min		
600 DX	600	60000	135000	80	3.2		



Figura 15. Prensa universal "Instron 600 DX"

Para medir deformaciones y calcular el módulo de elasticidad del GFRP utilizamos un extensómetro "Instron Model 13542-0200-050-ST"



Figura 16. Extensómetro Instron

3.5.1.4. Consideraciones generales en Pruebas a Tensión y Adherencia

Las dimensiones de los especímenes ensayados fueron de 49 cm de largo y 5 cm de ancho. Se consideró un espesor constante de la tira de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP) de 1.2 mm para que los resultados puedan ser comparables considerando que la resistencia se incrementa solo por el ancho de la fibra y por el número de tiras ya que la resistencia a tensión de la matriz polimérica tiene una baja resistencia a tensión.

Las pruebas de tensión y de adherencia se ensayaron con control de fuerza, por lo tanto, no fue posible conocer el comportamiento después de su carga máxima. Sería recomendable que este tipo de ensayos se realicen con control de desplazamiento para obtener la curva completa.

Los especímenes MT1 y MT2 se ensayaron colocando el deformímetro en la parte inferior de la tira de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio (GFRP), mientras que las demás pruebas se realizaron colocando el deformímetro al centro de la tira.

Los datos se grabaron a cada 0.1 segundos, la velocidad de carga utilizada fue de aproximadamente 2,000 N/min.

De las gráficas experimentales obtenidas en las pruebas a tensión se observó que el comportamiento puede considerarse elástico lineal hasta la resistencia máxima a tensión.

En todas las pruebas no se grabaron los datos de la prueba para cargas menores a 1 KN; en pruebas posteriores es recomendable que si se graben los datos desde el inicio de la prueba y además realizar ciclos de carga y descarga para este nivel de tensión.

En las tablas obtenidas se reportan los parámetros obtenidos experimentalmente, se obtuvo para cada parámetro su valor promedio y su coeficiente de variación igual la desviación estándar entre el promedio.

3.5.1.5. Resultados de pruebas de tensión

En total se ensayaron 6 muestras a tensión para obtener el módulo de elasticidad de la GFRP; de las seis pruebas tres fueros descartadas. Se descartaron las pruebas MT1, MT2 y MT4 por considerarse que fallaron a una carga de tensión menor a la resistencia de tensión de las fibras.



Figura 17. Muestras emplayadas para transportar a laboratrio



Figura 18. Colocación de muestra en prensa universal para ensaye a tensión

Se reportan los siguientes parámetros:

 σ_t Resistencia a tensión para una tira de GFRP. Se consideraron las pruebas MT3, MT5, MT6 que se habían realizado para la tensión y además se consideraron las pruebas de adherencia para la resistencia a tensión.

E Módulo de elasticidad de la tira GFRP. Solo se consideraron las pruebas MT3, MT5, MT6. No consideraron las pruebas de adherencia para el cálculo del módulo de elasticidad ya que las deformaciones en este tipo de prueba varían en valor debido al traslape utilizado al centro de la muestra.

 ε_t Deformación unitaria calculada en el punto de resistencia máxima σ_t considerando un comportamiento lineal. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E}$$

Ecuación 20. Deformación unitaria

En la Tabla 2 se reporta la resistencia a tensión de la tira de GFRP dando un promedio de 100.7 MPa y un coeficiente de variación del 22.6%; además se obtuvo un módulo de elasticidad promedio de 5,805 MPa con un coeficiente de variación del 10%. En la Figura 19 se muestran las gráficas experimentales obtenidas de las pruebas a tensión realizadas para obtener el módulo de elasticidad.

Cargas y Esfuerzos máximos a tensión del GFRP								
Muestra	Carga Max (Kgf)	Carga Maxotot(Kgf)(kg/cm²)(MP		E (Mpa)				
MT3	660.144	1057.516	105.752	6531.000				
MT5	379.950	603.923	60.392	5364.000				
MT6	520.098	867.177	86.718	5790.000				
MT7	484.092	807.143	80.714	-				
MT11	901.986	1473.833	147.383	-				
MT12	557.736	920.539	92.054	-				
MT14	832.728	1321.036	132.104	-				
Promedio:	619.533	1007.310	100.731	5895.000				
C.V.	0.226	0.226	0.226	0.100				

Tabla 2. Resultados de pruebas a tensión de GFRP



Figura 19. Grafica esfuerzo – deformación de pruebas a tensión de GFRP, para cálculo de módulo de elasticidad



Figura 20. Grafica esfuerzo – deformación de pruebas a tensión de GFRP

3.5.1.6. Resultados de pruebas de adherencia

En total se ensayaron 8 pruebas (MT7-MT14), estas con el fin de calcular la resistencia de adherencia que existe entre un traslape de dos tiras de GFRP; cuatro de estas pruebas fueron descartadas porque no fallaron en el traslape, sino que fallaron en uno de los extremos sujeto a la mordaza de la máquina de ensayo. Las pruebas que no fallaron en el traslape y con las cuales no se calculó la resistencia a la adherencia fueron: MT8, MT9, MT10 y MT13.



Figura 21. Muestra MT14 después de ensaye de tensión para adherencia



Figura 22. Muestra MT8 después de ensaye a tensión

En la Tabla 3 se presentan los resultados. Del ensaye se obtuvo la resistencia a adherencia (σ_a), se obtuvo al dividir a la fuerza máxima resistente entre el área de traslape. La resistencia a la adherencia resultó de 2.7 MPa con un coeficiente de variación del 21.9%. Las longitudes de traslape consideradas fueron de aproximadamente 3 cm y 6 cm.

Cargas y Esfuerzos máximos en adherencia del GFRP							
Muestra	Carga Max (Kgf)	Area de traslape (cm ²)	σa (kg/cm²)	σa (Mpa)			
MT7	484.092	14.700	32.286	3.229			
MT11	901.986	29.850	29.625	2.962			
MT12	557.736	29.205	18.723	1.872			
MT14	832.728	30.900	26.421	2.642			
Promedio:	694.136	26.164	26.764	2.676			
C.V.	0.294	0.293	0.219	0.219			

3.5.2. Pruebas a compresión y flexión a piezas de mampostería

3.5.2.1. Valores esperados en resistencia a compresión

Con base en las normas técnicas complementarias de la ciudad de México del 2017 la resistencia de diseño y la resistencia media a compresión de las piezas no deberán ser menor que las siguientes:

Tabla 4. Resistencia a la compresión media y de diseño de piezas de mampostería, con referencia en la "Tabla 0.2 Valores mínimos permitidos" de la NTC-2017.

Tipo de pieza y material	f'p (kg/cm²)	fp (kg/cm ²)
Bloque hueco de arcilla o	60	90
concreto		

3.5.2.2. Valores esperados en resistencia a flexión

Realizar este tipo de pruebas a piezas de mampostería no se indica en ninguna norma, por tal motivo no indicaremos los valores esperados, y los resultados obtenidos serán de gran valor para nuestro proyecto.

3.5.2.3. Pruebas a compresión y flexión de piezas de mampostería

Los trabajos de preparación de piezas de mampostería los realizamos en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Culiacán, Sinaloa, con la asesoría del Dr. Martin Leal Graciano.



Figura 23. Laboratorio de estructuras ubicado en la facultad de Ingeniería Culiacán, Sinaloa.

3.5.2.3.1. Paso 1: Habilitado de muestras

Se habilitaron 10 tiras de fibra de vidrio para las pruebas a las piezas de mampostería, 5 para piezas a compresión y 5 para piezas a tensión, con las siguientes medidas:

- L total = 1.16 m (0.12 m de traslape)
- H = 0.10 m



Figura 24. Fibra de vidrio tipo petatillo

3.5.2.3.2. Paso 2: Limpieza, toma de medidas y asignación de nombre a piezas a ensayar



Figura 25. Representación de pieza hueca de mampostería

Se tomaron las medidas de 10 piezas, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

Muestra	L (cm)	B (cm)	Eint (cm)	Eext (cm)	H (cm)
PM-01	39.7	11.7	2.6	2.5	19.6
PM-02	39.7	11.7	2.7	2.5	19.6
PM-03	39.7	11.7	2.6	2.5	19.5
PM-04	39.7	11.7	2.7	2.5	19.5
PM-05	39.7	11.7	2.6	2.5	19.6
PM-06	39.7	11.7	2.6	2.5	19.5
PM-07	39.7	11.7	2.6	2.5	19.6
PM-08	39.7	11.7	2.7	2.5	19.6
PM-09	39.7	11.7	2.6	2.5	19.6
PM-10	39.7	11.7	2.7	2.5	19.5

Tabla 5. Dimensiones de piezas de mampostería



Figura 26. Piezas de mampostería listas para refuerzo de GFRP

3.5.2.3.3. Paso 3: Reforzado de Piezas con estribo del compuesto de fibra de vidrio y resina



Figura 27. Representación de pieza de mampostería con refuerzo de GFRP

Se reforzaron un total de 10 piezas, 5 para los ensayes a compresión y 5 para ensayes a flexión.

- Se mezclan los materiales que conforman la matriz, resina y catalizador.
- Se limpia la superficie de la pieza de mampostería y se coloca la primera capa de la matriz
- Se espera a que la capa esté viscosa y se coloca la tira de fibra de vidrio
- Rápidamente se cubre la superficie de la tira con la segunda capa de matriz
- Se eliminan huecos de aire
- Se deja secar por 5 horas aproximadamente
- Se cubre de nuevo con la tercera capa de matriz

El procedimiento anterior se realizó una cara de la pieza de mampostería por día, hasta completar las cuatro caras y el traslape.



Figura 28. Estribo de GFRP en preparación



Figura 29. Preparación de una cara de la pieza con refuerzo de GFRP



Figura 30. Piezas de mampostería en proceso de refuerzo con GFRP

3.5.2.3.4. Paso 4: Cabeceo de piezas para pruebas a compresión

Se cabecearon 10 piezas, las cuales se ensayaron a compresión

Para realizar el cabeceo utilizamos las siguientes herramientas:

- Hoya para calentar azufre
- Marro de Goma de 400 gr
- Nivel de Mano
- Cucharon
- Molde metálico

Para realizar el cabeceo se siguió el siguiente procedimiento:

• Se colocó el azufre en la hoya caliente, hasta que el azufre pasara a un estado liquido

- Se coloca el molde en una superficie plana, se revisa con el nivel y se le da una mano de aceite
- Se vierte la cantidad suficiente de azufre caliente en el molde y rápidamente se coloca la pieza de block, nos esperamos de 3 a 5 minutos para desmoldar la pieza con pequeños golpes del marro de hule
- Se repite el procedimiento para superficie superior e inferior de las piezas.



Figura 31. Piezas de mampostería en proceso de cabeceo



Figura 32. Azufre y hoya para calentar azufre



Figura 33. Pieza de mampostería cabeceada

3.5.2.3.5. Paso 5: Instrumentación de las piezas



Figura 34. Representación de ubicación de instrumento de medición en pieza para ensaye a flexión



Figura 35. Representación de ubicación de instrumento de medición en pieza para ensaye a compresión

Instrumentamos las piezas con medidores de deformaciones llamados Strain Gages.

Preparación de la superficie para colocar el Strain Gages

• Desengrasar la superficie

Utilizar M-Line Rosin Solvent (Tolueno y alcohol isopropílico).

Se aplica en una gasa para limpiar la superficie a desengrasar, como otra opción se puede utilizar como desengrasante cualquier compuesto desengrasante que no deje residuos al secar.

• Lijar la superficie

Se utilizan lijas de diferente medida comenzando con la lija más gruesa y terminando con la lija más fina (220,320,400).

Se utiliza M-Prep Conditioner A (ácido fosfórico), se aplica en la superficie a lijar y luego se procede a lijar. Una vez terminado de lijar con un tipo de lija se limpia la superficie con una gasa y se repite el proceso de nuevo con una lija más fina.

• Neutralizar la superficie

Se aplica M-Prep Neutralizer 5a (agua con amoniaco) luego se frota la superficie con un cotonete o una gasa, en caso de usar cotonete limpiar por última vez con una gasa.

Preparación del Strain Gages

• Limpieza del vidrio en que se va a trabajar el strain gauge

En un vidrio limpio, se aplica desengrasante también se puede utilizar etanol.

• Colocación del strain gauge en la base de vidrio

Se acomoda el strain gage en la base de vidrio y también la terminal para soldar, luego se coloca una cinta en la parte superior del strain gage. Posteriormente se levanta el strain gauge

con un ángulo de 45° para tener expuesta un lado del strain gauge, en caso de estar sucia la superficie del strain gauge se utiliza M-Line Rosin solvent para desengrasar el strain gauge.

• Aplicación del catalizador

Se utiliza 200 catalyst-C (Alcohol isopropílico). Se limpia la brocha 10 veces antes de sacarla del frasco para quitar el exceso de catalizador en la brocha. Se aplica el catalizador en la superficie del strain gauge dando una sola pasada uniforme toda la superficie que estará en contacto con el especimen a ensayar.

• Pegado del strain gage

Luego de que se deja secar el catalizador aplicado en el paso anterior se procede a colocar el strain gage en la posición final, para esto será necesario marcar dos líneas en el espécimen a medir que indiquen el centro del strain gage para alinear dicho strain gage. Una vez alineado se aplica adhesivo instantáneo M-Bond 200 (cianoacrilato) colocando una gota en la base del strain gage luego a lo largo del strain gage a una separación de aproximadamente 1 cm, rápidamente se hace presión colocando una hoja encerada encima del strain gage; el proceso de pegado debe ser hecho en un tiempo de 3 a 5 segundos a partir de que se coloca la primera gota de adhesivo.

• Soldado de terminales

Antes de soldar las terminales se levanta la cinta adhesiva con la que fue pegado el strain gage para dejar libres las terminales. De preferencia se debe utilizar un cautín con control de temperatura, ya que temperaturas excesivas en el strain gage pueden despegar las terminales a soldar.

Primero se aplica soldadura de 1 mm de espesor en las terminales a soldar, luego se lija y se limpia con desengrasante el cable a soldar y se aplica soldadura en el cable a soldar.

Luego se fija el cable a soldar con cinta adhesiva para no transmitir esfuerzos de tracción en el strain gauge durante el proceso de soldado, ya que esto puede dañar el strain gage.

Por último, se unen los alambres del cable a su terminal correspondiente en el strain gage.



Figura 36. Pieza de mampostería con superficie de resina para posterior colocación de strain gage



Figura 37. Preparación de strain gage



Figura 38. Terminales para strain gage y soldado con estaño



Figura 39. Revisión de strain gage de 120 Homs y piezas de mampostería instrumentadas

3.5.2.4. Consideraciones generales en pruebas a compresión y flexión

Para este tipo de pruebas decidimos ensayar 20 piezas de mampostería, de las cuales 10 fueron reforzadas por un estribo del compuesto de fibra de vidrio y resina.

Como lo mostramos anteriormente, el refuerzo se colocó en todo el perímetro de la pieza y traslapándose 0.12 m en uno de los lados cortos de la pieza.

Las piezas a compresión se ensayaron a una velocidad aproximada de 200 kg/seg, y las de flexión a 50 kg/seg, tomando mediciones de carga y deformación a cada 1 segundo.

3.5.2.5. Resultados de pruebas a compresión a piezas de mampostería

Resistencia media a la compresión (fp) para una pieza mampostería. Se consideraron las piezas sin refuerzo: PM-11, PM-12, PM-19 y PM-20, con refuerzo: PM-08, PM-09 y PM-10.



Figura 40. Representación de pieza de mampostería para ensaye a compresión

Se reportan los sigueintes parametros:

De las gráficas obtenidas con las mediciones de los ensayes a compresión se observó que con esta técnica de reforzamiento el comportamiento de las piezas puede considerarse elástico lineal hasta la resistencia máxima a compresión y que mejoraron su resistencia a la compresión en un %49.

Para las piezas sin refuerzo, se recomienda colocar 2 strain gages (uno en cada cara de la pieza), esto debido a que las lecturas en estas piezas fueron muy variables.

Se establece que la falla de las piezas paso de ser frágil a dúctil, esto debido a que, con el refuerzo, la zona de fractura de las piezas está confinada, esto le permite a la pieza mantener su estructura después de su falla.

En las tablas 6 y 7 se reportan los parámetros obtenidos experimentalmente, se obtuvo para cada parámetro su valor promedio.

Cargas máximas a compresión (Piezas sin refuerzo)									
Muestra	;Reforzada?	¿Instrumentada?	Carga Max (Kgf)	Abruta (cm²)	Resistencia Media fp (kg/cm ²)	Resistencia Media fp (MPa)			
PM-11	No	Si	16994.000	464.490	36.586	3.659			
PM-12	No	Si	35902.000	464.490	77.293	7.729			
PM-19	No	Si	33107.000	464.490	71.276	7.128			
PM-20	No	Si	23420.000	464.490	50.421	5.042			
		Promedios =	27355.750	464.490	58.894	5.889			
		C.V. =	0.319	0.000	0.319	0.319			

Tabla 6. Resultados de ensaye a compresión de piezas de mampostería sin refuerzo

Tabla 7. Resultados de ensaye a compresión de piezas de mampostería con refuerzo

Cargas máximas a compresión (Piezas con refuerzo)								
Muestra	;Reforzada?	¿Instrumentada?	Carga Max (Kgf)	Abruta (cm ²)	Resistencia Media fp (kg/cm²)	Resistencia Media fp (MPa)		
PM-08	Si	Si	37535.000	464.490	80.809	8.081		
PM-09	Si	Si	44519.000	464.490	95.845	9.584		
PM-10	Si	Si	40958.000	464.490	88.178	8.818		
		Promedios =	41004.000	464.490	88.277	8.828		
		C.V. =	0.085	0.000	0.085	0.085		



Figura 41. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de piezas de mampostería sin refuerzo



Figura 42. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de piezas de mampostería sin refuerzo



Figura 43. Pieza de mampostería colocada en prensa para ensaye a compresión



Figura 44. Pieza de mampostería con refuerzo de estribo de GFRP

3.5.2.6. Resultados de pruebas a flexión a piezas de mampostería

La pieza será sometida a una carga puntual en el centro de la pieza con una velocidad de carga aproximada de 50 kg/seg. Registrando la carga de falla y reemplazando en la formula, se obtiene el módulo de rotura (MR).

Para esta prueba se consideraron las piezas sin refuerzo: PM-16, PM-17 y PM-18 y las piezas con refuerzo: PM-01, PM-02, PM-03 y PM-04.



Figura 45. Representación de pieza en ensaye a flexión

Se reportan los sigueintes parametros:

De la figura 47 observamos que las piezas con refuerzo tienen la capacidad de continuar soportando carga en aumento después de su falla hasta en un 34%.

Se establece que la falla de las piezas paso de ser frágil a dúctil, esto debido a que, con el refuerzo, la zona de fractura de las piezas está confinada, esto le permite a la pieza mantener su estructura después de su falla.

En las tablas 8 y 9 se reportan los parámetros obtenidos experimentalmente, se obtuvo para cada parámetro su valor promedio.

Cargas máximas a flexión (Piezas sin refuerzo)								
Muestra	;Reforzada?	¿Instrumentada?	Carga Max (Kgf)	L (Cm)	b (Cm)	MR		
PM-16	No	Si	1553	37.5	11.7	19.435		
PM-17	No	Si	1538	37.5	11.7	19.247		
PM-18	No	Si	1306	37.5	11.7	16.344		
		Promedios =	1465.667	37.5	11.7	18.343		
		C.V. =	0.094	0.000	0.000	0.094		

Tabla 8. Resultados de ensaye a flexión de piezas de mampostería sin refuerzo

Tabla 9. Resultados de ensaye a flexión de piezas de mampostería con refuerzo

Cargas máximas a flexión (Piezas con refuerzo)									
Muestra	¿Reforzada?	¿Instrumentada?	Carga Max (Kgf)	L (Cm)	b (Cm)	MR			
PM-01	Si	Si	1904	37.5	11.7	23.828			
PM-02	Si	Si	2309	37.5	11.7	28.896			
PM-03	Si	Si	2217	37.5	11.7	27.745			
PM-04	Si	Si	1456	37.5	11.7	18.221			
		Promedios =	1971.500	37.5	11.7	24.673			
		C.V. =	0.195	0.000	0.000	0.195			



Figura 46. Grafica carga – deformación de ensaye a flexión de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 47. Grafica carga – deformación de ensaye a flexión de pieza de mampostería con refuerzo



Figura 48. Pieza de mampostería colocada en prensa para ensaye a flexión



Figura 49. Falla de pieza de mampostería en ensaye a flexión con refuerzo y sin refuerzo

3.5.3. Pruebas a mortero

3.5.3.1. Clasificación del mortero por utilizar

Con base en lo establecido en la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE, el mortero por utilizar está clasificado por lo siguiente:

- Por su fabricación: Hecho en obra.
- Por su uso: Para pegado de piezas
- Por su resistencia: Tipo I, con resistencia a compresión mayor o igual que 12.5 MPa (125 kg/cm2)

3.5.3.2. Dosificación de mortero

Con base en la Tabla 0.1 "Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra" de las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del año 2017.

Tabla 10. Tabla 0.1 "Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra", de la NTC-2017

Proporcionamientos, en volumen, recomendados para mortero dosificado en obra					
Tipo de mortero Partes de cemento hidráulico		Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena	
Ι	1.00	0.00	0.25	3.00	

- El mortero para pegado de piezas siempre deberá contener cemento hidráulico Portland en la cantidad mínima indicada en la tabla 0.1.
- El volumen de arena no será mayor que tres veces la suma de los cementantes y se medirá en estado suelto
- Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

3.5.3.3. Fabricación de mortero



Figura 50. Dosificación de mortero tipo I, cemento-cal-arena



Figura 51. Mortero tipo I, cemento-cal-arena



Figura 52. Cubos de mortero tipo I, para pruebas de resistencia a la compresión

3.5.3.4. Resultados de pruebas a compresión de mortero

Los ensayes de los cubos de mortero fueron realizados transcurridos los 28 días después de su fabricación, obtuvimos muestras de mortero en cada fabricación de los distintos usos en esta investigación, a continuación, les presentamos los resultados.



Figura 53. Representación de cubo de mortero tipo I para ensaye de resistencia a la compresión

Tabla 11. Resultados de ensayes de resistencia a compresión de mortero tipo I, utilizado en pilas

	Cargas máximas a compresión (Cubos de Mortero Tipo I)								
Muestra	USO	LADO B1 (cm)	LADO B2 (cm)	Abruta (cm ²)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media fp (kg/cm ²)	Resistencia Media fp (MPa)		
MM-01	PILAS	5.016	5.039	25.276	4665.000	184.565	18.457		
MM-01	PILAS	5.031	5.093	25.623	4697.000	183.313	18.331		
MM-01	PILAS	4.981	5.069	25.249	4195.000	166.147	16.615		
		Promedios =	5.067	25.382	4519.000	178.008	17.801		
		C.V. =	0.005	0.008	0.062	0.058	0.058		

Tabla 12. Resultados de ensayes de resistencia a compresión de mortero tipo I, utilizado en muretes

Cargas máximas a compresión (Cubos de Mortero Tipo I)								
Muestra	USO	LADO B1 (cm)	LADO B2 (cm)	Abruta (cm ²)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media fp (kg/cm ²)	Resistencia Media fp (MPa)	
MM-02	MURETE	5.092	5.051	25.720	5643.000	219.404	21.940	
MM-02	MURETE	5.160	5.058	26.099	5779.000	221.424	22.142	
MM-02	MURETE	5.076	5.057	25.669	6004.000	233.898	23.390	
Promedios =			5.055	25.829	5808.667	224.908	22.491	
		C.V. =	0.001	0.009	0.031	0.035	0.035	



Figura 54. Cubos de mortero tipo I colocados en prensa para ensaye a compresión



Figura 55. Cubo de mortero tipo I después de ensaye a compresión

3.5.4. Pruebas a pilas

3.5.4.1. Valores esperados en resistencia a compresión

Con base en la Tabla 0.2 "Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto" de las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del año 2017.

Resistencia a compresión para diseño de la mampostería de piezas de concreto								
f'p	f'm MPa (Kg/cm²)							
MPa (Kg/cm ²)	Mortero I	Mortero II						
6 (60)	2.5 (25)	2 (20)						
7.5 (75)	4 (40)	3.5 (35)						
10 (100)	5 (50)	4.5 (45)						
15 (150)	7.5 (75)	6 (60)						
>= 20 (200)	10 (100)	9 (90)						

Utilizando la tabla 0.2, los posibles valores de resistencia deberán ser:

Pilas sin piezas reforzadas (f'p=58.89 kg/cm²) = 25 kg/cm² * 480 = 12 Ton Pilas con piezas reforzadas (f'p=88.27 kg/cm²) = 40 kg/cm² * 480 = 19.2 Ton

3.5.4.2. Fabricación de pilas



Figura 56. Fabricación de pilas de piezas de mampostería y mortero tipo I
3.5.4.3. Resultados de pruebas a compresión de pilas

Los ensayes de pilas a compresión fueron realizados transcurridos los 28 días después de su fabricación, construimos un total de 6 pilas de las cuales 3 se hicieron con piezas de mampostería con refuerzo de GFRP y los 3 restantes con piezas sin refuerzo. Se aplico carga en aumento de 87.8 kg/seg.

Las pilas fueron instrumentadas con medidores de deformación llamados transductores "CDP-25", estos fueron colocados en ambas caras de la pila sobre marcos fijos con una separación vertical de 40 cm, a continuación, les presentamos los resultados.



Figura 57. Representación de pila, indicando acotaciones

Se reportan los sigueintes parametros:

De las figuras 58, 59 y 60 observamos el comportamiento de las pilas con piezas sin refuerzo las cuales podemos decir que muestran un comportamiento lineal desde el inicio de aplicación de carga hasta su carga máxima y después de esta no tienen la capacidad de continuar soportando carga, de las figuras 61, 62 y 63 no muestran el mismo comportamiento de esfuerzo – deformación en comparación observamos que para esfuerzos iguales se presentan deformaciones menores y que estas si tienen la capacidad de poder seguir soportando carga después de su carga máxima.

En resistencia a la compresión no hubo mejora y el módulo de elasticidad aumentó en un3.48~%

En las tablas 14 y 15 se reportan los parámetros obtenidos experimentalmente, se obtuvo para cada parámetro su valor promedio.

	Resistencia a compresión (Pilas sin refuerzo)										
Muestra	B (cm)	L (cm)	A (cm ²)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media Fm (kg/cm ²)	Resistencia Media Fm (MPa)	Módulo de Elasticidad E (MPa)				
P1SR	11.700	39.700	464.490	30369.000	68.650	6.732	7798.858				
P2SR	11.700	39.700	464.490	25622.000	57.920	5.680	2463.512				
P3SR	11.700	39.700	464.490	33641.000	76.047	7.458	5356.976				
Promedios =	11.700	39.700	464.490	29877.333	67.539	6.623	6577.917				
C.V. =	0.000	0.000	0.000	0.135	0.135	0.135	0.262				

Tabla 14. Resultados de ensayes de resistencia a compresión en pilas de piezas de mampostería sin refuerzo



Figura 58. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila PISR de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 59. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P2SR de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 60. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P3SR de pieza de mampostería sin refuerzo

Resistencia a compresión (Pilas con refuerzo)										
Muestra	B (cm)	L (cm)	A (cm ²)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media Vm (kg/cm ²)	Resistencia Media Vm (MPa)	Módulo de Elasticidad E (MPa)			
P1CR	11.700	39.700	464.490	35578.000	80.426	7.887	7150.740			
P2CR	11.700	39.700	464.490	24586.000	55.578	5.450	6041.587			
P3CR	11.700	39.700	464.490	29473.000	66.625	6.534	7228.901			
Promedios =	11.700	39.700	464.490	29879.000	67.543	6.624	6807.076			
C.V. =	0.000	0.000	0.000	0.184	0.184	0.184	0.098			

Tabla 15. Resultados de ensayes de resistencia a compresión en pilas de piezas de mampostería con refuerzo



Figura 61. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P1CR de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 62. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P2CR de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 63. Grafica esfuerzo – deformación de ensaye a compresión de pila P3CR de pieza de mampostería sin refuerzo



Figura 64. Pila de piezas de mampostería sin refuerzo colocada en prensa universal para ensaye a compresión



Figura 65. Pila de piezas de mampostería con refuerzo colocada en prensa universal para ensaye a compresión



Figura 66. Pilas de piezas de mampostería con y sin refuerzo después de ensaye a compresión

3.5.5. Pruebas a muretes

3.5.5.1. Valores esperados en resistencia a compresión diagonal

Con base en la Tabla 0.5 "Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería" de las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del año 2017.

Tabla 16. Tabla 0.5 "Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería, de la NTC-2017

Resistencia de diseño a compresión diagonal para algunos tipos de mampostería							
Pieza	V'm Mpa (kg/cm ²)						
Tabique macizo de arcilla artesanal	0.2 (2)						
Tabique de arcilla extruido	0.2 (2)						
Bloque de concreto	0.2 (2)						
Tabique de concreto (tabicon)	0.2 (2)						

Utilizando la tabla 0.5, los posibles valores de resistencia deberán ser:

Muretes sin piezas reforzadas = $2 \text{ kg/cm}^2 * (141.42 \text{ cm}*12 \text{ cm}) = 3.394 \text{ Ton}$

Muretes con piezas reforzadas = Se espera que sea mayor a 3.394 Ton

3.5.5.2. Fabricación de muretes



Figura 67. Fabricación de muretes para ensayes a de resistencia a compresión diagonal



Figura 68. Muretes de piezas de block de dimensiones 0.12 x 0.20 x 0.40 m y mortero tipo I



3.5.5.3. Resultados de pruebas s a compresión diagonal y módulo de cortante

Figura 69. Representación de muretes, indicando acotaciones

Se reportan los siguientes parametros:

De las figuras 70, 71 y 72 observamos el comportamiento de los muretes con piezas sin refuerzo las cuales observamos que muestran un comportamiento lineal desde el inicio de aplicación de carga hasta su carga máxima y después de esta no tienen la capacidad de continuar soportando carga, de las figuras 73, 74 y 75 observamos que muestran el mismo comportamiento y además tienen la capacidad de seguir soportando carga después de su carga máxima.

Se aplico carga en aumento de 9.36 kg/seg.

En resistencia a la compresión diagonal aumentó en un 2.10 % y el módulo de elasticidad disminuy
ó en un -3.19 %

En las tablas 18 y 19 se reportan los parámetros obtenidos experimentalmente, se obtuvo para cada parámetro su valor promedio.

Tabla 17. Resultados de ensayes de resistencia a compresión diagonal en muretes de piezas de mampostería sin refuerzo

	Resistencia a compresión diagonal (Muretes sin refuerzo)										
Muestra	Lc (cm)	Lt (cm)	Ld (cm)	Le (cm)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media Vm (kg/cm ²)	Resistencia Media Vm (MPa)	Módulo de Cortante Gm (kg/cm ²)	Módulo de Cortante Gm (MPa)		
M1SR	57.50	57.50	85.00	11.70	4454.22	4.47	0.44	14244.00	1424.40		
M2SR	59.00	58.00	84.80	11.70	4567.59	4.60	0.46	17047.00	1704.70		
M3SR	57.60	57.50	85.00	11.70	5190.16	5.21	0.52	19263.57	1926.35		
Prom. =	58.03	57.66	84.93	11.70	4737.32	4.76	0.47	16851.52	1685.15		
C.V. =	0.014	0.005	0.001	0.000	0.084	0.083	0.083	0.149	0.149		



Figura 70. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M1SR de piezas de mampostería sin refuerzo



Figura 71. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M2SR de piezas de mampostería sin refuerzo



Figura 72. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M3SR de piezas de mampostería sin refuerzo

Resistencia a compresión diagonal (Muretes con refuerzo)										
Muestra	Lc (cm)	Lt (cm)	Ld (cm)	Le (cm)	Carga Max (Kgf)	Resistencia Media Vm (kg/cm ²)	Resistencia Media Vm (MPa)	Módulo de Cortante Gm (kg/cm ²)	Módulo de Cortante Gm (MPa)	
M1CR	57.75	58.50	85.00	11.70	4581.04	4.60	0.46	16915.00	1691.50	
M2CR	58.00	57.75	84.60	11.70	4711.71	4.76	0.47	16040.00	1604.00	
M3CR	58.50	58.25	85.00	11.70	5207.03	5.23	0.52	15986.00	1598.60	
Prom. =	58.08	58.16	84.86	11.70	4833.26	4.86	0.48	16313.66	1631.36	
C.V. =	0.007	0.007	0.003	0.000	0.068	0.067	0.067	0.032	0.032	

Tabla 18. Resultados de ensayes de resistencia a compresión diagonal en muretes de piezas de mampostería con refuerzo



Figura 73. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M1CR de piezas de mampostería con refuerzo



Figura 74. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M2CR de piezas de mampostería con refuerzo



Figura 75. Grafica esfuerzo – deformación angular de ensaye a compresión diagonal de murete M3CR de piezas de mampostería con refuerzo



Figura 76. Murete de piezas de mampostería sin refuerzo colocada en prensa para ensaye a compresión diagonal



Figura 77. Murete de piezas de mampostería con refuerzo colocada en prensa para ensaye a compresión diagonal



Figura 78. Muretes de piezas de mampostería con y sin refuerzo después de ensaye a compresión diagonal

3.5.6. Análisis de costos de producción

3.5.6.1. Análisis de costos de producción

Presentamos en esta sección un análisis detallado de los costos de producción para obtener una pieza reforzada con el estribo de GFRP.

Consideramos esencial presentar esta información debido a que será de gran interés para los involucrados en la implementación de este sistema constructivo.

3.5.6.2. Información general

Los costos que presentamos son con una línea de producción convencional (mano de obra directa), estos costos se pueden reducir implementando una línea de producción industrializada.

Los precios que presentamos son sin el impuesto de valor agregado (I.V.A).

Proponemos un factor de sobre costo (F.S.C) del 12%, esto debido a que en la producción de las piezas se deberán considerar todos los costos involucrados para su posterior comercialización.

Realizamos dos tarjetas de análisis de precios unitarios para piezas enteras y para piezas medias, el primer análisis de costo es el habilitado de las tiras de fibra de vidrio y el segundo es el refuerzo de la pieza. Para el habilitado consideramos un rendimiento de mano de obra de 60 tiras por jornada de trabajo en piezas enteras y 90 tiras por jornada de trabajo en piezas medias. Para el refuerzo de las piezas consideramos un rendimiento 40 piezas por jornada de trabajo en piezas medias.

3.5.6.3. Costos de insumos

En esta sección presentamos los costos de los materiales, consumibles, herramientas y mano de obra, utilizados en los análisis de precios unitarios.

Tabla 19. Costos de materiales, consumibles, herramientas y mano de obra, utilizados para la implementación del refuerzo de GFRP

Costo de Materiales									
Nombre de Insumo Unidad Costo									
Block Estructural 12x20x40	Pieza	\$	12.57						
Block Estructural 12x20x20	Pieza	\$	8.25						
Fibra de Vidrio tipo Petatillo	Kg	\$	86.21						
Resina liquida y Catalizador	Kg	\$	78.45						

Costo de Consumibles								
Nombre de Insumo	Unidad	Costo						
Cinta Adhesiva Masking, de 36 mm x 50 m	Pieza	\$	47.41					
Brocha de cerda natural de 2.5 in	Pieza	\$	25.00					
Guante de uso general con recubrimiento de nitrilo	Pieza	\$	39.22					
Mascara Textil KN95	Pieza	\$	28.45					
Marcador Sharpie Punto Fino, tinta negra	Pieza	\$	16.34					

Costo de Herramientas									
Nombre de Insumo	umo Unidad Costo								
Tijera para costura 9 - 1/2	Pieza	\$	237.07						
Lentes de Seguridad	Pieza	\$	30.17						
ajustables, transparentes Regla "T"	Pieza	\$	301.72						

Costo de Mano de Obra								
Nombre de Insumo	Nombre de Insumo Unidad Costo							
Oficial Albañil	Jornada	\$	672.30					
Ayudante de Albañil	Jornada	\$	345.15					

3.5.6.4. Tarjetas de análisis de precios unitarios

Tarjeta de Análisis de Precios Unitarios									
Concepto:	AAFV-01	Unid	ad: Pieza						
Habilitado de tiras de fibra de consumibles, herramientas y t	-labilitado de tiras de fibra de vidrio de 10 x 116 cm, incluye: Trazo y recorte de tiras, consumibles, herramientas y todo lo necesario para su correcta ejecución								
	Precio de Consumibles								
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	I	mporte				
Cinta Adhesiva Masking, de 36 mm x 50 m	Pieza	0.0252	\$ 47.41	\$	1.19				
Guante de uso general con recubrimiento de nitrilo	Pieza	0.0014	\$ 39.22	\$	0.05				
Mascara Textil KN95	Pieza	0.0014	\$ 28.45	\$	0.04				
Marcador Sharpie Punto Fino, tinta negra	Pieza	0.0028	\$ 16.34	\$	0.05				
	\$	1.33							
	Precio de	Herramientas							
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Importe					
Tijera para costura 9 - 1/2	Pieza	0.0007	\$ 237.07	\$	0.16				
Lentes de Seguridad ajustables, transparentes	Pieza	0.0007	\$ 30.17	\$	0.02				
Regla "T"	Pieza	0.0007	\$ 301.72	\$	0.21				
		Total Herr	amientas:	\$	0.40				
	Precio de	Mano de Obra							
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	I	mporte				
Oficial Albañil	Jornada	0.0000	\$ 672.30	\$	-				
Ayudante de Albañil	Jornada	0.0167	\$ 345.15	\$	5.75				
		Total Mano	de Obra:	\$	5.75				
		Total a Cost	\$	7.48					
			F.S.C.:		12%				
Total a Precio Unitario:					8.38				

Tabla 20. Tarjeta AAFV-01, habilitado de tiras de fibra de vidrio para las piezas de 12x20x40 cm

Tarjeta de Análisis de Precios Unitarios								
Concepto:		Clave:	AAFV-02	Unidad	: Pieza			
Habilitado de tiras de fibra de consumibles, herramientas y t	uye: Trazo y correcta eje	/ recorte ecución	de tiras,					
	Precio de	Consumibles						
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Imp	orte			
Cinta Adhesiva Masking, de 36 mm x 50 m	Pieza	0.0172	\$ 47.41	\$	0.82			
Guante de uso general con recubrimiento de nitrilo	Pieza	0.0009	\$ 39.22	\$	0.04			
Mascara Textil KN95	Pieza	0.0009	\$ 28.45	\$	0.03			
Marcador Sharpie Punto Fino, tinta negra	Pieza	0.0019	\$ 16.34	\$	0.03			
	Total Consumibles:							
	Precio de	Herramientas						
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Imp	orte			
Tijera para costura 9 - 1/2	Pieza	0.0005	\$ 237.07	\$	0.11			
Lentes de Seguridad ajustables, transparentes	Pieza	0.0005	\$ 30.17	\$	0.01			
Regla "T"	Pieza	0.0005	\$ 301.72	\$	0.14			
		Total Herr	amientas:	\$	0.26			
	Precio de	Mano de Obra						
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Imp	orte			
Oficial Albañil	Jornada	0.0000	\$ 672.30	\$	-			
Ayudante de Albañil	Jornada	0.0111	\$ 345.15	\$	3.84			
		Total Mano	de Obra:	\$	3.84			
		Total a Cost	\$	5.01				
			F.S.C.:	12	2%			
Total a Precio Unitario:					5.61			

Tabla 21. Tarjeta AAFV-02, habilitado de tiras de fibra de vidrio para las piezas de 12x20x20 cm.

Tarjeta de Análisis de Precios Unitarios										
Concepto:		Clave:	AAFV-03	Unidad:	Pieza					
Refuerzo de pieza de block de	12x20x40	cm con estribo	de fibra de	vidrio de	10 cm,					
incluye: Trazo en pieza de block, preparacion de resina y catalizador, colocacion de										
fibra con resina en la pieza a tres manos, consumibles, herramientas y todo lo										
Precio de Materiales										
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Importe						
Block Estructural 12x20x40	Pieza	0.0000	\$ 12.57	\$	-					
Fibra de Vidrio tipo Petatillo	Kg	0.1740	\$ 86.21	\$	15.00					
Resina liquida y Catalizador	Kg	0.2610	\$ 78.45	\$	20.48					
		Total N	1ateriales:	\$	35.48					
	Precio de Consumibles									
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Impo	orte					
Brocha de cerda natural de	Diana	0.0250	ć 25.00	ć	0.62					
2.5 in	Pieza	0.0250	\$ 25.00	Ş	0.63					
Guante de uso general con	Piozo	0.0250	\$ 20.22	ć	0 98					
recubrimiento de nitrilo	FIEZa	0.0250	Ş 33.22	Ÿ	0.50					
Mascara Textil KN95	Pieza	0.0042	\$ 28.45	\$	0.12					
Marcador Sharpie Punto	Pieza	0.0021	\$ 16.34	\$	0.03					
Fino, unta negra										
		Total Con	sumibles:	\$	1.76					
	Precio de	Herramientas								
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Impo	orte					
Lentes de Seguridad	Pieza	0.0010	\$ 30.17	\$	0.03					
ajustables, transparentes										
		Total Herr	amientas:	\$	0.03					
	Precio de	Mano de Obra								
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Impo	orte					
Oficial Albañil	Jornada	0.0000	\$ 672.30	\$	-					
Ayudante de Albañil	Jornada	0.0250	\$ 345.15	\$	8.63					
	Total Mano de Obra:									
		Total a Cost	\$	45.89						
	F.S.C.:									
	\$	51.40								

Tabla 22. Tarjeta AAFV-03, refuerzo con estribo de fibra de vidrio a piezas de 12x20x40 cm

Tarjeta de Análisis de Precios Unitarios											
Concepto:		Clave:	AAFV-04	Unidad:	Pieza						
Refuerzo de pieza de block de	12x20x20	cm con estribo	de fibra de	vidrio de	10 cm,						
incluye: Trazo en pieza de bloo	or, colocad	ion de									
fibra con resina en la pieza a t	herramienta	as y todo l	0								
Nombre de Insumo	Nombre de Insumo Unidad Rendimiento Costo										
Block Estructural 12x20x20	Pieza	0.0000	\$ 8.25	\$	-						
Fibra de Vidrio tipo Petatillo	Kg	0.1140	\$ 86.21	\$	9.83						
Resina liquida y Catalizador	Kg	0.1710	\$ 78.45	\$	13.41						
	1ateriales:	\$	Jad: Pieza o de 10 cm, locacion de bodo lo Importe 9.83 13.41 23.24 Importe 0.42 0.42 0.655 0.02 1.177 Importe 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 5.75 30.19								
	Precio de Consumibles										
Nombre de Insumo	Costo	Impo	orte								
Brocha de cerda natural de 2.5 in	Pieza	0.0167	\$ 25.00	\$	0.42						
Guante de uso general con recubrimiento de nitrilo	Pieza	0.0167	\$ 39.22	\$	0.65						
Mascara Textil KN95	Pieza	0.0028	\$ 28.45	\$	0.08						
Marcador Sharpie Punto Fino, tinta negra	Pieza	0.0014	\$ 16.34	\$	0.02						
	\$	1.17									
	Precio de	Herramientas									
Nombre de Insumo	Unidad	Rendimiento	Costo	Impo	orte						
Lentes de Seguridad ajustables, transparentes	Pieza	0.0007	\$ 30.17	\$	0.02						
		Total Herr	amientas:	\$	0.02						
	Precio de	Mano de Obra									
Nombre de Insumo	Impo	orte									
Oficial Albañil	Jornada	0.0000	\$ 672.30	\$	-						
Ayudante de Albañil	Jornada	0.0167	\$ 345.15	\$	5.75						
	\$	5.75									
		Total a Cost	o Directo:	\$	30.19						
	F.S.C.:										
	\$	33.81									

Tabla 23. Tarjeta AAFV-04, refuerzo con estribo de fibra de vidrio a piezas de 12x20x20 cm

3.5.6.5. Desglose de precios unitarios

En esta sección presentamos el desglose de los precios unitarios del refuerzo de los dos tipos de piezas de mampostería, agregamos el costo extra por cada actividad y su respectivo porcentaje de aumento.

En la tabla 24 podemos observar el precio de las piezas sin refuerzo y el aumento de su precio por cada uno de sus componentes, teniendo un aumento final en piezas reforzadas del 325 % en piezas de 40 cm y 327 % en piezas de 20 cm.

Desglose de Precio Unitario														
Nombre de Insumo	Unidad	P.U ref	J. (Sin uerzo)	Ma	P.U. (+ ateriales)	Co	P.U. (+ nsumibles)	P.U. (+ Herramientas)			P.U. (+ ano de Obra)	P.U. (Con refuerzo)		
Block														
Estructural	Pieza	\$	14.08	\$	53.81	\$	17.54	\$	14.56	\$	30.19	\$	59.78	
Block														
Estructural 12x20x20	Pieza	\$	9.24	\$	35.27	\$	11.57	\$	9.56	\$	19.98	\$	39.42	
Casta and				ć	20.72	ć	2.46	6	0.40		16.11	ć	45.70	
Costo ext	.ra (\$)	\$	-	\$	39.73	\$	3.46	\$	0.48	Ş	16.11	\$	45.70	
Costo ext	:ra (Ş)	\$	-	\$	26.03	Ş	2.33	\$	0.32	\$	10.74	\$	30.18	
% 0%		0%		282%		25%		3%		114%	325%			
% 0%			282%		25%		3%	:	116%	327%				

Tabla 24. Desglose de precios unitarios de refuerzo de GFRP

4. Estrategias de implementación

4.1. Plan de acción

Para la implementación de este sistema constructivo es necesario continuar con la investigación en muros a escala real sometidos a ciclos de carga lateral, analizar y estudiar su comportamiento.

4.2. Estrategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto

Los resultados obtenidos serán compartidos a los profesionistas interesados a través de la presentación de la investigación en el XXII congreso nacional de ingeniería estructural 2021, de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C. (SMIE) Además, se redactará y se buscará publicar un artículo en alguna revista científica.

5. Administración del proyecto

5.1. Cronograma de actividades

FACUL TAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN																				
CRONOGRAMA DE TRABAJO DE PLAN DE ACCION																				
	METRO		2020				2021								2021					
ACTIVIDADES	PARÁ	AGO	SEP	SEME: OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	SEMES OCT	NOV	DIC	ENE	RESULTADOS TIO PLAN DE ACCIÓN
(i) REVISIÓN DE LITERATURA																				
	Р																			
ANALISIS DEL ESTADO DEL ARTE: TENDENCIA, DETECCIÓN DE ARTICULOS, REVISTAS Y AUTORES MÁS	R																			
IMPORIANTES.	1																			
	Р																			
REDACCION DE PROTOCOLO.	R				<u> </u>															
	Ŀ																			
	Р											<u> </u>								
ADMINISTRACION DE LITERATURA	R			<u> </u>	-		<u> </u>					<u> </u>		<u> </u>		<u> </u>				
(iii)				DIME			MPO			PEOL		25)								
(11)																				
CONSTRUCCION DE MUROS A ESCALA REAL	F	-	-		-							-								
	F.				-															
	, P																			
INSTRUMENTACION DE MUROS	R																			
	1																			
	Р																			
PRUEBAS A MORTEROS Y CONCRETOS	R																			
	Ŀ																			
PRUEBAS A MURO SIN PIEZAS REFORZADAS	Р																			
	R		<u> </u>		<u> </u>											<u> </u>				
	₽		-																	
	P		-									<u> </u>								
FROEDAS A MORO CON FIEZAS REFORZADAS	R		-									-								
L	1.1	I	I	I	1	I	I	I	1		I	I	I	I	I	I		I		

Sursum Versus

5.2. Recursos



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA FACULTAD DE INGENIERÍA MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESUPUESTO DEL PLAN DE ACCION

	PLANEADO					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD		P.U.		IMPORTE
(iii) TRABAJO EXPERIMENTAL / [DE CAMPO (B	EN CASO DE RE	QUER	RIRSE)		
CONSTRUCCION DE MUROS A ESCALA REAL	LOTE	1	\$	22,848.00	\$	22,848.00
INSTRUMENTACION DE MUROS	LOTE	1	\$	3,500.00	\$	3,500.00
PRUEBAS A MORTEROS Y CONCRETOS	LOTE	1	\$	1,500.00	\$	1,500.00
PRUEBAS A MURO SIN PIEZAS REFORZADAS	LOTE	1	\$	1,500.00	\$	1,500.00
PRUEBAS A MURO CON PIEZAS REFORZADAS	LOTE	1	\$	1,500.00	\$	1,500.00
					\$	30,848.00

Sursum Versus

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones y recomendaciones

- De los ensayes a piezas a compresión se observa que con esta técnica de reforzamiento el comportamiento de las piezas puede considerarse elástico lineal hasta la resistencia máxima a compresión y que mejoraron su resistencia en un 49 %.
- De los ensayes a piezas a flexión se observa que las piezas con refuerzo tienen la capacidad de continuar soportando carga en aumento después de su falla hasta en un 34 %. Y que la falla de las piezas paso de ser frágil a dúctil, esto debido a que, con el refuerzo, la zona de fractura de las piezas está confinada, esto le permite a la pieza mantener su estructura después de su falla.
- De los ensayes a pilas con piezas sin refuerzo se observa que su comportamiento, se puede decir que muestran un comportamiento lineal desde el inicio de aplicación de carga hasta su carga máxima y después de esta no tienen la capacidad de continuar soportando carga.
- De los ensayes a pilas con piezas con refuerzo no muestran el mismo comportamiento de esfuerzo deformación en comparación se observa que para esfuerzos iguales se presentan deformaciones menores y que estas si tienen la capacidad de poder seguir soportando carga después de su carga máxima. En resistencia a la compresión no hubo mejora y el módulo de elasticidad aumentó en un 3.48 %.
- De los ensayes a muretes con piezas sin refuerzo se observa el comportamiento lineal desde el inicio de aplicación de carga hasta su carga máxima y después de esta no tienen la capacidad de continuar soportando carga.
- De los ensayes a muretes con piezas con refuerzo se observa el mismo comportamiento y además tienen la capacidad de seguir soportando carga después de su carga máxima. En resistencia a la compresión diagonal aumentó en un 2.10 %.

Con la implementación del refuerzo obtuvimos un comportamiento favorable, esto debido a que con los ensayes y análisis realizados observamos que los elementos de mampostería pasaron de una falla frágil a dúctil, frágil por el motivo de que la carga máxima se presentó y después de esto no permitió más deformación del elemento en estudio y dúctil debido a que el elemento después de su carga máxima continuo su deformación hasta su fractura (deformación plástica), la carga máxima y la carga de fractura no son las mismas.

Para la implementación de este sistema constructivo se recomienda lo siguiente:

- Realizar los ensayes con distintos anchos de estribos de refuerzo de GFRP con ello encontrar el óptimo en la relación costo/resistencia.
- Para obtener mejores resultados en los ensayes de medición de esfuerzo cortante se recomienda realizar ensayes a cortante con distintos niveles de confinamiento.
- Continuar la investigación con la evaluación de muros a escala real en ensayes de desempeño sísmico.
- En los ensayes a muros de evaluación de desempeño sísmico, colocar estas piezas en distintas configuraciones "X" y analizar su comportamiento.

• La implementación de procesos industrializados con la fabricación del equipo para refuerzo de piezas con GFRP, para esto se deberá realizar la evaluación del proyecto de inversión.

Referencias documentales y bibliografía complementaria

- Abrams, D. P. (1996). Return of masonry as a structural material. *Worldwide Advances in Structural Concrete and Masonry* (pág. 12). ASCE.
- Almahmood, H., Ashour, A., & Sheehan, T. (2020). Flexural behaviour of hybrid steel-GFRP reinforced concrete continuous T-beams. *Elsevier*, 15.
- El-Diasity, M., Okail, H., Kamal, O., & Said, M. (2015). Structural performance of confined masonry walls retrofitted using ferrocement and GFRP under in-plane cyclic loading. *Elsevier*, 16.
- Fiorelli, J., & Alves Dias, A. (2006). Fiberglass-reinforced Glulam Beams: Mechanical Properties and Theoretical Model . *São Carlos School Engineering*, 7.
- Ghorbani, R. (2014). Context-Sensitive Seismic Strengthening and Repair of Substandard Confined Masonry. University of South Carolina - Columbia, 251.
- Groo, L., Nasser, J., Zhang, L., Steinke, K., Inman, D., & Sodano, H. (2020). Laser induced graphene in fiberglass-reinforced composites for strain and damage sensing. *Elsevier*, 10.
- Hassanein, A., Mohamed, N., Sabry Farghaly, A., & Benmokrane, B. (2020). Effect of boundary element confinement configuration on the performance of GFRP-Reinforced concrete shear walls. *Elsevier*, 15.
- Leal Graciano, J. M., Quiñónez, B., Rodríguez Lozoya, H. E., Pérez Gavilán, J. J., & Lizárraga Pereda, J. F. (2020). Use of GFRP as retrofit alternative for confined masonry walls with window opening subjected to in-plane lateral load. *Elsevier*, 17.
- Mahmood, H., & Ingham, J. (2011). Diagonal Compression Testing of FRP-Retrofitted Unreinforced Clay Brick Masonry Wallettes. Journal of Composites for Construction, 11.
- Pinotti, E. (2017). Dynamic characterization of high performance materials for application to cultural heritage. Politecnico di Torino, 202.
- Ramachandra Murthy, A., Pukazhendhi, D., Vishnuvardhan, S., Saravanan, M., & Gandhi , P. (2020). Performance of concrete beams reinforced with GFRP bars under monotonic loading. *Elsevier*, 15.

Rougier, V. C. (2007). Refuerzo de muros de mamposteria con materiales compuestos. 218.

- Abrams, D. P. (1996). Return of masonry as a structural material. *Worldwide Advances in Structural Concrete and Masonry* (pág. 12). ASCE.
- Almahmood, H., Ashour, A., & Sheehan, T. (2020). Flexural behaviour of hybrid steel-GFRP reinforced concrete continuous T-beams. *Elsevier*, 15.
- El-Diasity, M., Okail, H., Kamal, O., & Said, M. (2015). Structural performance of confined masonry walls retrofitted using ferrocement and GFRP under in-plane cyclic loading. *Elsevier*, 16.
- Fiorelli, J., & Alves Dias, A. (2006). Fiberglass-reinforced Glulam Beams: Mechanical Properties and Theoretical Model . *São Carlos School Engineering*, 7.
- Ghorbani, R. (2014). Context-Sensitive Seismic Strengthening and Repair of Substandard Confined Masonry. *University of South Carolina - Columbia*, 251.
- Groo, L., Nasser, J., Zhang, L., Steinke, K., Inman, D., & Sodano, H. (2020). Laser induced graphene in fiberglass-reinforced composites for strain and damage sensing. *Elsevier*, 10.
- Hassanein, A., Mohamed, N., Sabry Farghaly, A., & Benmokrane, B. (2020). Effect of boundary element confinement configuration on the performance of GFRP-Reinforced concrete shear walls. *Elsevier*, 15.
- Leal Graciano, J. M., Quiñónez, B., Rodríguez Lozoya, H. E., Pérez Gavilán, J. J., & Lizárraga Pereda, J. F. (2020). Use of GFRP as retrofit alternative for confined masonry walls with window opening subjected to in-plane lateral load. *Elsevier*, 17.
- Mahmood, H., & Ingham, J. (2011). Diagonal Compression Testing of FRP-Retrofitted Unreinforced Clay Brick Masonry Wallettes. *Journal of Composites for Construction*, 11.
- Pinotti, E. (2017). Dynamic characterization of high performance materials for application to cultural heritage. *Politecnico di Torino*, 202.
- Ramachandra Murthy, A., Pukazhendhi, D., Vishnuvardhan, S., Saravanan, M., & Gandhi , P. (2020). Performance of concrete beams reinforced with GFRP bars under monotonic loading. *Elsevier*, 15.
- Rougier, V. C. (2007). Refuerzo de muros de mamposteria con materiales compuestos. 218.
- Valluzi, M., Tinazzi, D., & Modena, C. (2002). Shear behavior of masonry panels strengthened by FRP laminates. *Elsevier*, 8.
- Vatani Oskouei, A., Jafari, A., Bazli, M., & Ghahri, R. (2018). Effect of different retrofitting techniques on in-plane behavior of masonry wallettes. *Elsevier*, 13.
- Velazquez Dimas, J. I., & Ehsani, M. (2000). MODELING OUT-OF-PLANE BEHAVIOR OF URM WALLS RETROFITTED WITH FIBER COMPOSITES. *Journal of Composites for Construction*, 10.

Wang, C., Sarhosis, V., & Nikitas, N. (2018). Strengthening / Retrofitting Techniques on Unreinforced Masonry Structure / Element Subjected to Seismic Loads: A Literature Review. *Bentham Open*, 18.