

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MURETES DE MAMPOSTERIA REFORZADOS CON MALLAS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Márquez Azuaje, Brigitte Gabriela  
Rodríguez Gazcón, Leonardo Daniel

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, Octubre de 2014

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MURETES DE MAMPOSTERIA REFORZADOS CON MALLAS**

TUTOR ACADÉMICO

Prof. Francisco Garcés

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Márquez Azuaje, Brigitte Gabriela  
Rodríguez Gazcón, Leonardo Daniel

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, Octubre de 2014

## ACTA

El día 30 /10 / 2014 se reunió el jurado formado por los profesores:

Ángelo Marinilli

María Eugenia Korody

Francisco Garcés

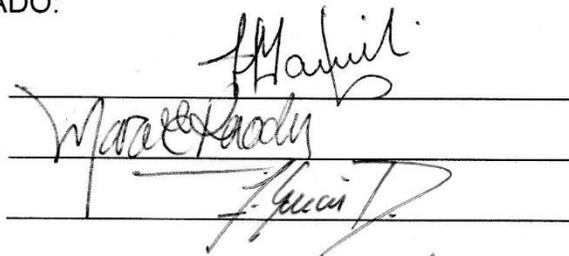
Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado **ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MURETES DE MAMPOSTERIA REFORZADOS CON MALLAS**. Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar por el Título de INGENIERO CIVIL.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

| NOMBRE                           | CALIFICACIÓN |        |
|----------------------------------|--------------|--------|
|                                  | Números      | Letras |
| Brigitte Gabriela Márquez Azuaje | 20           | Veinte |
| Leonardo Daniel Rodríguez Gazcón | 20           | Veinte |

Recomendaciones: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

FIRMAS DEL JURADO:

  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Caracas, 30 de octubre de 2014

*A los constructores y constructoras de las comunidades caraqueñas*  
*A quienes apuestan la ciencia a favor de los históricamente oprimidos*  
*A quienes luchan por deshacer la distancia entre la universidad y el pueblo*

*A los que mueren por la vida.*

**Gabriela Márquez**

*A mis padres Tahis y Leonardo, y a mi hermano Rafael, por el apoyo y el cariño brindado a lo largo de todos estos años. Este logro también es de ustedes.*

**Leonardo Rodríguez**

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia: A mis padres, Sergio y Brigitte, por su ejemplo de estudio, constancia, coraje. Por su constante: "Paciencia y conciencia". A las abuelas Lina y Francisca y al abuelo Vicente por sus sabias y pertinentes palabras y su ejemplo incansable. A mi hermana Mariana, por ser compañía inquebrantable en estos años caraqueños; A mi hermana Ivón, por sus preguntas expresando preocupación y ánimos por los asuntos de mi investigación, y sus ocurrencias telefónicas. A mi prima Laura, más reciente compañía, aprendiz comprensiva. A mi tío Checame por sus constantes llamadas expresando su interés por mis logros, que son suyos también.

A mis compañeros de lucha de la Brigada por las Residencias Estudiantiles, hermanos y hermanas, por su estima, confianza, y por entender mis ausencias eventuales.

A quienes abrieron las puertas de la Universidad para mí y muchos otros.

A los profesores-maestros que incentivan el pensamiento crítico y la investigación pertinente: Pablo Cegarra, Fernando Pernía, Leonardo Araujo, Henry Blanco, Trino Baloa.

Al personal técnico del IMME, especialmente a Robert, Elione, Andrés, por el apoyo en el manejo de las máquinas y herramientas.

A Néstor, Víctor, Douglas y Junior, compas del CENVIH que apoyaron a sudor toda la fase experimental del trabajo. Esta Investigación les pertenece.

Al Prof. Garcés, tuto académico, por su paciencia y apoyo brindado.

A los albañiles que hicieron material los especímenes necesarios para esta investigación: Danger, su papá y su ayudante.

A los Profesores Peñuela, Camacho, Trino Baloa, Bonilla y José Romero por sus orientaciones oportunas y desprendidas ante dudas que iban surgiendo.

A Gustavo, Leonardo (Leoner), José's (Delgado y Montes), Carlos Salvador, compañeros de la RELG que aportaron sudor a la concreción de las pilas y muretes.

A Leonardo, compañero de este trabajo, por la presión constante que más de una vez hacía falta.

A mis compañeros hermosos de la facultad: Andrea, Anyelo, Alvic, Danielita, Luis Alfredo, Luis Robot, Misael, Juan C., Alejandro, Samuel, Adrián, José Daniel, incondicionales al momento de prestarme su noble ayuda.

**Brigitte Gabriela Márquez**

A Dios y a la Virgen, por darme salud, permitirme lograr mis metas y darme la dicha de tener la familia que tengo.

A mis padres, Tahis y Leonardo, quienes me enseñaron que con constancia, esfuerzo y dedicación todo se puede lograr en esta vida. Gracias por el apoyo incondicional y el cariño que me han brindado a lo largo de estos años, sin la ayuda de ustedes no estaría donde estoy en este momento.

A mi hermano Rafael, quien es además de ser mi único hermano, es mi compañero, amigo y apoyo en las buenas y en las malas.

A nuestro tutor académico Prof. Francisco Garcés, por las enseñanzas y el apoyo brindado a lo largo del desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Al personal técnico y docente del IMME, especialmente a Robert, Elione y Andrés; a los Profesores Cesar Peñuela, Ricardo Bonilla, Trino Baloa y José Romero; quienes nos dieron la oportunidad de utilizar los espacios del IMME y nos ayudaron y orientaron a realizar nuestro TEG.

A los trabajadores del CENVIH, especialmente a la Presidenta Rosa Virginia Ocaña; a Néstor, Víctor, Douglas y Junior, quienes nos brindaron su apoyo incansable en el desarrollo de la fase experimental de este trabajo.

A mi compañera de tesis Brigitte, con quien pude formar un buen grupo de trabajo, que nos permitió llevar a cabo este Trabajo Especial de Grado.

A mis compañeros de la universidad, Abraham, Leandro, Oriana, Ángelo, Maira, Henry, María Fernanda, Bárbara, Carlos, Fernando; con quienes compartí a lo largo de todos estos años de carrera y que de una u otra forma me ayudaron a llegar a esta etapa de mi vida.

**Leonardo Rodríguez**

Márquez A. Brigitte G.  
Rodríguez G. Leonardo D.

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MURETES DE MAMPOSTERÍA REFORZADOS CON MALLAS

Tutor: Prof. Francisco Garcés  
Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de  
Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2014.108 págs.

**Palabras clave:** mampostería, muretes, resistencia a la compresión, resistencia al corte, vulnerabilidad sísmica, refuerzo con malla, fibra de polipropileno.

El propósito de este trabajo de investigación es aportar elementos para la elaboración de una propuesta para reducir la vulnerabilidad estructural y sísmica de viviendas de mampostería no confinadas o parcialmente confinada, típicas de los sectores populares de Caracas. El trabajo consistió en comparar el comportamiento mecánico de muretes reforzados respecto a muretes no reforzados, para ello se realizaron especímenes cuadrados de 1,20m de lado construidos con bloques de arcilla y frisados en ambas caras. Tres especímenes por cada tipo de refuerzo: malla de acero tipo “gallinero”, malla plástica y fibra de polipropileno; y tres patrones (sin refuerzo) fueron ensayados a compresión diagonal, basado en la Norma Mexicana de Mampostería, en la prensa universal Baldwin dispuesta en la Nave de Ensayos Físicos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV. Así como, se evaluó la resistencia a compresión de pilas conformadas por tres bloques, con las mismas condiciones que los muretes: tres por cada refuerzo y tres patrones.

Con la carga máxima del ensayo de compresión diagonal, se obtuvo la resistencia a corte promedio para cada condición de ensayo, resultando: muretes sin refuerzo: 2,46 kgf/cm<sup>2</sup>; muretes reforzados con malla de acero (gallinero): 3,15 kgf/cm<sup>2</sup>; muretes reforzados con malla plástica: 3,50 kgf/cm<sup>2</sup>; y muretes reforzados con fibra: 3,30 kgf/cm<sup>2</sup>. Esto representa un incremento significativo de resistencia al corte de los muretes reforzados con respecto a los no reforzados, resultando la malla plástica el refuerzo que aportó mayor incremento de resistencia al corte, 42%, mientras la malla gallinero 28%, y la fibra 34%. La mayoría de los muretes, a excepción de tres especímenes que presentaron aplastamiento en uno de sus vértices, fallaron por tracción indirecta, evidente por la fractura en la diagonal en la que fue aplicada la carga de compresión; sin embargo, los muretes reforzados con mallas mantuvieron su integridad física, es decir, no se partieron en pedazos, a diferencia de los que no tenían malla.

De esta investigación surge un compendio de cuestiones a estudiar en la línea investigativa de mampostería reforzada. Se recomienda evaluar en próximos trabajos las deformaciones de los muretes y otras configuraciones de mallas; así como, perfeccionar la forma de implantar los refuerzos en muros reales.

# INDICE GENERAL

|  |          |
|--|----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>1</b> |
| <b>CAPITULO I</b>  |          |
| <b>FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>                                    | <b>3</b> |
| I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 3        |
| I.2. OBJETIVOS.....  | 7        |
| I.2.1. Objetivo general .....  | 7        |
| I.2.2. Objetivos específicos .....   | 7        |
| I.3. APORTES.....  | 8        |
| <b>CAPÍTULO II</b>   |          |
| <b>MARCO REFERENCIAL .....</b>   | <b>9</b> |
| II.1. MAMPOSTERÍA .....  | 9        |
| II.1.1. Generalidades de la mampostería .....                                  | 9        |
| II.1.2. Clasificación por su función estructural: .....                        | 10       |
| II.1.3. Clasificación por la distribución del refuerzo .....                   | 10       |
| II.1.2. Propiedades mecánicas de la mampostería .....                          | 11       |
| II.1.2.1. Comportamiento mecánico de la mampostería en compresión .....        | 11       |
| II.1.2.2. Comportamiento de la mampostería a cortante .....                    | 13       |
| II.2. ANTECEDENTES.....  | 19       |
| II.2.1. Investigaciones en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. | 19       |
| II.2.2. Investigaciones y Normativas Internacionales .....                     | 20       |

## CAPÍTULO III

|   |           |
|---|-----------|
| <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>22</b> |
| III.1. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES Y CONFIGURACIÓN Y PRE-DIMENSIONADO DE ESTOS ..... | 23        |
| III.1.1. Unidades de mampostería .....  | 23        |
| III.1.2. Espesor del friso y de las juntas.....   | 24        |
| III.1.3. Mortero para el friso y las juntas .....   | 25        |
| III.1.4. Granulometría de arena utilizada para el mortero .....   | 26        |
| III.1.5. Determinación de la resistencia a compresión del mortero.....  | 27        |
| III.1.6. Refuerzos: mallas y fibra.....   | 28        |
| III.1.6.1. Malla gallinero 2" C-18:.....  | 28        |
| III.1.6.2. Malla simple torsión 50 x 17 x 100 plastificada.....   | 28        |
| III.1.6.3. Fibra de polipropileno: .....  | 29        |
| III.1.7. Caracterización de las mallas utilizadas como refuerzo.....  | 29        |
| III.1.8. Pilas .....  | 30        |
| III.1.9. Muretes .....  | 31        |
| III.2. CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES.....   | 32        |
| III.2.1. Construcción de Pilas.....   | 32        |
| III.2.2. Construcción de Muretes .....  | 33        |
| III.2.3. Preparación del mortero.....   | 34        |
| III.2.4. Colocación de mallas de refuerzo .....   | 34        |
| III.3. NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES Y DEMÁS ELEMENTOS ENSAYADOS .....  | 38        |
| III.3.1. Bloques .....  | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| III.3.2. Pilas y muretes.....  | 39        |
| III.4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS ESPECIMENES .....                    | 39        |
| III.4.1. Preparación de los especímenes para ser ensayados.....      | 39        |
| III.4.2. Ensayo de compresión simple .....                           | 40        |
| III.4.2.1. Bloques y pilas.....                                      | 40        |
| III.4.2.2. Probetas cúbicas .....                                    | 41        |
| III.4.3. Ensayo de compresión diagonal a muretes .....               | 41        |
| <b>CAPITULO IV</b>   |           |
| <b>RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>                                    | <b>44</b> |
| IV.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....                        | 44        |
| IV.1.1. Granulometría de las arenas .....                            | 44        |
| IV.1.2. Características de los bloques.....                          | 47        |
| IV.1.2.1. Dimensiones y peso .....                                   | 47        |
| IV.1.2.2. Resistencia a la compresión.....                           | 49        |
| IV.1.3. Características de las probetas de mortero .....             | 50        |
| IV.1.3.1. Dimensiones y peso .....                                   | 50        |
| IV.1.3.2. Resistencia a la compresión.....                           | 51        |
| IV.1.4. Características de las mallas utilizadas como refuerzo ..... | 53        |
| IV.1.5. Características de las pilas .....                           | 55        |
| IV.1.6. Características de los muretes .....                         | 57        |
| IV.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE PILAS Y MURETES .....                  | 58        |
| IV.2.1. Ensayos de compresión simple a pilas .....                   | 58        |
| IV.2.1.1. Fallas observadas en los especímenes sin refuerzo.....     | 58        |
| IV.2.1.2. Fallas observadas en los especímenes reforzados.....       | 60        |

|  |            |
|--|------------|
| IV.2.1.3. Resistencia a compresión de las pilas .....  | 65         |
| IV.2.2. Ensayo de compresión diagonal a muretes .....  | 68         |
| IV.2.2.1. Fallas observadas en los especímenes sin refuerzo .....  | 68         |
| IV.2.2.2. Fallas observadas en los especímenes reforzados.....   | 72         |
| IV.2.2.3. Resultados y análisis de los ensayos de compresión diagonal ....   | 88         |
| IV.3. RECOMENDACIONES PARA LA CONTINUACIÓN DE LA<br>INVESTIGACIÓN DE REFUERZO DE PAREDES DE MAMPOSTERÍA CON<br>MALLAS..... | 92         |
| <b>CAPÍTULO V</b>  |            |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>  | <b>93</b>  |
| V.1. CONCLUSIONES.....   | 93         |
| V.2. RECOMENDACIONES .....   | 94         |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>  | <b>96</b>  |
| <b>APÉNDICE A</b>  |            |
| <b>REGISTRO FOTOGRÁFICO .....</b>  | <b>100</b> |
| A.1. Unidades de mampostería (bloques huecos de arcilla).....  | 100        |
| A.2. Granulometría de la arena.....  | 101        |
| A.3. Preparación de mortero para juntas y friso.....   | 102        |
| A.4. Toma de muestras del mortero .....  | 103        |
| A.5. Corte de las mallas y dispositivos de amarre .....  | 104        |
| A.6. Construcción de pilas .....   | 105        |
| A.7. Construcción de muretes.....  | 106        |
| A.8. traslado y disposición de pilas y muretes .....   | 108        |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 3.1. Cantidad de pilas y muretes construidos, con refuerzo y patrones .....   | 22 |
| Tabla 4.1. Resultado del análisis granulométrico de las dos muestras de arena ..  | 45 |
| Tabla 4.2. Comparación de los resultados de la granulometría de la Muestra N°1 con los valores normados en la NTC 2240..... | 45 |
| Tabla 4.3. Comparación de los resultados de la granulometría de la Muestra N°2 con los valores normados en la NTC 2240..... | 46 |
| Tabla 4.4. Dimensiones y peso de bloques.....   | 48 |
| Tabla 4.5. Rango de tolerancia de dimensiones nominales de los bloques según la Norma COVENIN 2-78 .....                    | 48 |
| Tabla 4.6. Resistencia a la compresión simple de los bloques .....  | 49 |
| Tabla 4.7. Especificaciones de las probetas cúbicas de mortero ensayadas.....   | 51 |
| Tabla 4.8. Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cúbicas de mortero.....                              | 52 |
| Tabla 4.9. Dimensiones de las mallas de refuerzo ensayadas .....  | 53 |
| Tabla 4.10. Resultados ensayo a tracción realizado a las mallas de refuerzo .....   | 54 |
| Tabla 4.11. Características de las pilas sin refuerzo .....   | 56 |
| Tabla 4.12. Características de las pilas reforzadas con malla de acero (gallinero)  | 56 |
| Tabla 4.13. Características de las pilas reforzadas con malla plástica .....  | 56 |
| Tabla 4.14. Características de las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso .....                            | 56 |
| Tabla 4.15. Características de los muretes sin refuerzo .....   | 57 |
| Tabla 4.16. Características de los muretes reforzados con malla de acero (gallinero) .....                                  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 4.17. Características de los muretes reforzados con malla plástica .....  | 57 |
| Tabla 4.18. Características de los muretes reforzados con fibra de polipropileno en el friso.....                                   | 58 |
| Tabla 4.19. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas sin refuerzo .....   | 65 |
| Tabla 4.20. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con malla de acero (gallinero) .....            | 66 |
| Tabla 4.21. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con malla plástica .....                        | 66 |
| Tabla 4.22. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso .....    | 66 |
| Tabla 4.23. Resumen de resistencia a compresión en pilas, dispersión e incrementos.....   | 67 |
| Tabla 4.24. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes sin refuerzo .....                                      | 89 |
| Tabla 4.25. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes reforzados con malla de acero (gallinero) .....         | 89 |
| Tabla 4.26. Resultados de ensayo de compresión diagonal a muretes reforzados con malla plástica.....                                | 89 |
| Tabla 4.27. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes reforzados con fibra de polipropileno en el friso ..... | 89 |
| Tabla 4.28. Resultados de resistencia a corte en muretes, dispersión e incrementos de esta .....                                    | 90 |
| Tabla 4.29. Verificación de relación probabilística de Gallegos y Casabonne .....   | 91 |

# LISTA DE GRÁFICOS Y FIGURAS

## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Fig. 1.1. Catedral de Cumaná, antes y después del terremoto de 1929 .....   | 4  |
| Fig. 1.2. Viviendas de mampostería construidas en sectores populares de la región central de Venezuela.....   | 4  |
| Fig. 2.1. Pila para ensayo de resistencia a la compresión.. .....   | 13 |
| Fig. 2.2. Agrietamiento escalonado diagonalmente producido por una falla por cortante.. .....   | 15 |
| Fig. 2.3. Agrietamiento de las unidades de mampostería producido por una falla de tracción diagonal.. .....   | 16 |
| Fig. 2.4. Agrietamiento vertical producido por una falla por compresión.. .....   | 16 |
| Fig. 2.5. Ensayo de compresión diagonal.. .....   | 17 |
| Fig. 2.6. Resistencia a la compresión de la mampostería vs. la relación entre la raíz cuadrada de su resistencia al corte ( $\sigma_m$ ) y su resistencia a la compresión ( $\sigma_c$ )..... | 19 |
| Fig. 2.7. Instalación de malla electrosoldada en paredes de adobe.....  | 21 |
| Fig. 3.1. Bloque hueco de arcilla .....   | 24 |
| Fig. 3.2. Malla embutida en el friso (vista en muro ensayado) .....   | 25 |
| Fig. 3.3. Malla de acero (tipo gallinero) usada como refuerzo.....  | 28 |
| Fig. 3.4 Malla de plástica usada como refuerzo .....  | 28 |
| Fig. 3.5. Fibra de polipropileno usada como refuerzo .....  | 29 |
| Fig. 3.6. Pila construida con bloques huecos de arcilla.....  | 30 |
| Fig. 3.7. Murete construido con bloques huecos de arcilla.....  | 31 |
| Fig. 3.8. Ubicación de conectores en murete (vista de sección transversal y frontal).....   | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 3.9. Murete salpicado antes de colocar la malla de refuerzo.....                             | 35 |
| Fig. 3.10. Dispositivos usados como separadores en la colocación de las mallas                    | 36 |
| Fig. 3.11. Ubicación de separadores en murete.....  | 37 |
| Fig. 3.12. Configuración general de los dispositivos para la colocación de mallas en murete ..... | 37 |
| Fig. 3.13. Configuración general de los componentes para la colocación de mallas en pila.....     | 38 |
| Fig. 3.14. Amarre de seguridad en murete ensayado a compresión diagonal.....                      | 43 |
| Fig. 4.1. BA-2 luego del ensayo a compresión simple .....   | 50 |
| Fig. 4.2. BA-3 luego del ensayo a compresión simple.....  | 50 |
| Fig. 4.3. Probeta cúbica M4-1 luego del ensayo a compresión simple.....                           | 52 |
| Fig. 4.4. Probeta cúbica M5-3 luego del ensayo a compresión simple.....                           | 52 |
| Fig. 4.5. Ensayo a tracción de probeta de malla de acero tipo gallinero .....                     | 55 |
| Fig. 4.6. Ensayo a tracción de probeta de malla plástica .....                                    | 55 |
| Fig. 4.7. PA-SR-1 vista lateral .....   | 59 |
| Fig. 4.8. PA-SR-1 en vista frontal.....   | 59 |
| Fig. 4.9. PA-SR-2 en vista lateral .....  | 59 |
| Fig. 4.10. PA-SR-2 en vista frontal .....   | 59 |
| Fig. 4.11. PA-SR-3 en vista lateral .....   | 60 |
| Fig. 4.12. PA-SR-3 en vista frontal .....   | 60 |
| Fig. 4.13. PA-RA-1: Vista lateral.....  | 61 |
| Fig. 4.14. PA-RA-1: Vista frontal .....   | 61 |
| Fig. 4.15. PA-RA-2: Vista lateral.....  | 61 |
| Fig. 4.16. PA-RA-2: Vista frontal .....   | 61 |
| Fig. 4.17. PA-RA-3: Vista lateral.....  | 62 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 4.18. PA-RA-3: Vista frontal .....                    | 62 |
| Fig. 4.19. PA-RP-1: Vista lateral.....                     | 62 |
| Fig. 4.20. PA-RP-1: Vista frontal .....                    | 62 |
| Fig. 4.21. PA-RP-2: Vista lateral.....                     | 63 |
| Fig. 4.22. PA-RP-2: Vista frontal .....                    | 63 |
| Fig. 4.23. PA-RP-3: Vista lateral.....                     | 63 |
| Fig. 4.24. PA-RP-3: Vista frontal .....                    | 63 |
| Fig. 4.25. PA-RF-1: Vista lateral.....                     | 64 |
| Fig. 4.26. PA-RF-2: Vista lateral.....                     | 64 |
| Fig. 4.27. PA-RF-2: Vista frontal.....                     | 64 |
| Fig. 4.28. PA-RF-3: Vista lateral.....                     | 65 |
| Fig. 4.29. PA-RF-3: Vista frontal.....                     | 65 |
| Fig. 4.30. MA-SR-1.....                                    | 69 |
| Fig. 4.31. Falla en forma escalonada de MA-SR-1.....       | 69 |
| Fig. 4.32. MA-SR-2.....                                    | 70 |
| Fig. 4.33. MA-SR-2: Falla local.....                       | 70 |
| Fig. 4.34. MA-SR-3.....                                    | 71 |
| Fig. 4.35. MA-SR-3: Falla local.....                       | 71 |
| Fig. 4.36. MA-RA-1.....                                    | 73 |
| Fig. 4.37. Detalle de falla en MA-RA-1 .....               | 73 |
| Fig. 4.38. Falla a tracción diagonal en MA-RA-2 .....      | 74 |
| Fig. 4.39. Detalle en MA-RA-2: alambre de malla roto ..... | 75 |
| Fig. 4.40. MA-RA-3.....                                    | 76 |
| Fig. 4.41. Detalle de falla en MA-RA-3 .....               | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. 4.42. Falla en MA-RP-1 .....  | 78  |
| Fig. 4.43. Detalle de falla MA-RP-1: falla en bloques y malla deformada..... | 79  |
| Fig. 4.44. Fractura de tabiques interiores de bloques en MA-RP-1 .....       | 80  |
| Fig. 4.45. Deformación de malla plástica en MA-RP-1 .....                    | 80  |
| Fig. 4.46. Falla de tracción diagonal en MA-RP-2 .....                       | 81  |
| Fig. 4.47. Parte generada por la falla .....                                 | 82  |
| Fig. 4.48. Falla en MA-RP-3.....   | 83  |
| Fig. 4.49. Vista posterior de Falla en MA-RP-3 .....                         | 84  |
| Fig. 4.50. Falla a tracción diagonal en MA-RF-1 .....                        | 85  |
| Fig. 4.51. Rotura en dos partes de MA-RF-1.....                              | 85  |
| Fig. 4.52. MA-RF-2 luego de carga máxima.....                                | 86  |
| Fig. 4.53. Falla local en MA-RF-2.....                                       | 86  |
| Fig. 4.54. Falla a tracción diagonal en MA-RF-3 .....                        | 87  |
| Fig. 4.55. Forma escalonada de la falla en MA-RF-3 .....                     | 87  |
| Fig. 4.56. Junta de mortero desprendida del bloque en MA-RF-3.....           | 88  |
| Fig. A.1. Bloque hueco de arcilla.....                                       | 100 |
| Fig. A.2. Corte de bloques a la mitad con disco punta de diamante.....       | 100 |
| Fig. A.3. Nivelado de bloque en la aplicación de capping con yeso .....      | 100 |
| Fig. A.4. Cuarteadora de agregado fino .....                                 | 101 |
| Fig. A.5. Peso de Muestra N°1 de arena .....                                 | 101 |
| Fig. A.6. Tamices usados para la granulometría .....                         | 101 |
| Fig. A.7. Componentes sólidos del mortero: arena ligada, cemento y cal ..... | 102 |
| Fig. A.8. Pesado de los componentes de la mezcla.....                        | 102 |
| Fig. A.9. Preparación del mortero en mezcladora de eje vertical .....        | 102 |

|  |     |
|--|-----|
| Fig. A.10. Mezcla de mortero con fibra de polipropileno agregada ..... | 102 |
| Fig. A.11. Engrasado de los moldes cúbicos.....                        | 103 |
| Fig. A.12. Proceso de compactación de las probetas .....               | 103 |
| Fig. A.13. Probetas cúbicas desencofradas .....                        | 103 |
| Fig. A.14. Separadores en la colocación de las mallas .....            | 104 |
| Fig. A.15. Cortado de los conectores de alambre .....                  | 104 |
| Fig. A.16. Medición de las mallas de refuerzo.....                     | 104 |
| Fig. A.17. Colocación de conectores en pila .....                      | 105 |
| Fig. A.18. Pila sin frisar .....                                       | 105 |
| Fig. A.19. Salpicado de pilas .....                                    | 105 |
| Fig. A.20. Amarre de malla con conector en pilas .....                 | 105 |
| Fig. A.21. Listones para fijar el espesor del friso.....               | 105 |
| Fig. A.22. Pilas pintadas con cal y en mesa de capping .....           | 105 |
| Fig. A.23. Nivelación de las hiladas.....                              | 106 |
| Fig. A.24. Colocación de conectores en murete.....                     | 106 |
| Fig. A.25. Murete levantado .....                                      | 106 |
| Fig. A.26. Proceso de salpicado de muretes .....                       | 106 |
| Fig. A.27. Colocación de malla de refuerzo.....                        | 106 |
| Fig. A.28. Fijación de malla con conectores.....                       | 106 |
| Fig. A.29. Instalación de separadores en murete .....                  | 107 |
| Fig. A.30. Fijación del espesor del friso con listones.....            | 107 |
| Fig. A.31. Frisado de murete .....                                     | 107 |
| Fig. A.32. Espesor de friso, 2cm .....                                 | 107 |
| Fig. A.33. Pintado de murete con cal .....                             | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| Fig. A.34. Traslado de muretes de la Nave de Ensayos Especiales a la Nave de Ensayos Físicos para su posterior ensayo ..... | 108 |
| Fig. A.35. Pilas y muretes pintados con cal.....  | 108 |
| Fig. A.36. Colocación de murete en la prensa hidráulica para ser ensayado.....  | 108 |

## **GRÁFICAS**

|   |    |
|---|----|
| Gráfica 4.1. Comparación de las muestras con límites granulométricos de la NTC 2240 ..... | 47 |
| Gráfica 4.2. Resistencia a la compresión promedio de las pilas ensayadas .....            | 67 |
| Gráfica 4.3. Resistencia al corte promedio de los muretes ensayados .....                 | 91 |

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

**BA** = Bloque de arcilla

**COVENIN** = Comisión Venezolana de Normas Industriales

**Cv (%)** = Coeficiente de variación

**$f_c$  (kgf/cm<sup>2</sup>)** = Resistencia a compresión promedio de probetas cúbicas de mortero

**Fig.** = Figura

**$f_m$  (kgf/cm<sup>2</sup>)** = Resistencia a compresión promedio de la mampostería

**$f_p$  (kgf/cm<sup>2</sup>)** = Resistencia a compresión promedio de los bloques

**MA** = Murete construido con bloques de arcilla

**MG** = Probetas de malla de acero (gallinero)

**MP** = Probetas de malla plástica

**NTC** = Norma Técnica Colombiana

**PA** = Pila construida con bloques de arcilla

**RA** = Refuerzo con malla de acero (gallinero)

**RF** = Refuerzo con fibra de polipropileno

**RP** = Refuerzo con malla plástica

**S (kgf/cm<sup>2</sup>)** = Desviación estándar

**SR** = Sin refuerzo

**$v_m$  (kgf/cm<sup>2</sup>)** = Resistencia a corte de la mampostería

## INTRODUCCIÓN

Venezuela, al igual que gran parte de Latinoamérica, por su ubicación geográfica hace cuenta de una importante amenaza sísmica. Por otro lado, para resolver los problemas de viviendas de la población venezolana económicamente más desfavorecida, son levantadas casas con muros de mampostería de diversas características y calidades constructivas.

Aunque al presente no se ha desarrollado normativa nacional que regule la construcción de viviendas en este sistema [mampostería estructural], el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales y el Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano han venido trabajando en esa línea de investigación, generando criterios técnicos para la construcción local de viviendas de mampostería seguras. En consecuencia con estas investigaciones, y a partir de un proyecto realizado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), se plantea el presente Trabajo Especial de Grado, en el cual se evaluó el comportamiento de muretes de mampostería cuyo recubrimiento (friso) fue reforzado con diferentes materiales: malla de acero tipo gallinero, malla plástica y fibra de polipropileno. En el presente documento se da informe del desarrollo del proyecto y sus resultados a través de cinco capítulos:

Primeramente se define el contexto, las limitaciones y el alcance, así como los aportes de la investigación en el Capítulo I: Fundamentos de la investigación.

En el Capítulo II, Marco referencial, se presenta un compendio de contenido teórico fundamental para el entendimiento de la investigación, así como resultados y aportes de investigaciones anteriores implicadas en el desarrollo de este proyecto.

El método desarrollado para el logro de los objetivos planteados se expone en el Capítulo III. La metodología para la selección de los materiales y su caracterización, la construcción de los especímenes, los ensayos realizados y su medición, se presenta sistemáticamente en este capítulo.

En el Capítulo IV, Resultados y Análisis, se expresan todos los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos y la metodología planteada, así como el análisis de dichos resultados a partir de la teoría expuesta en el marco referencial.

En el Capítulo V se presentan las conclusiones que se generaron del trabajo especial de grado a partir de los resultados y su análisis. También en este capítulo se exponen recomendaciones para próximas investigaciones y para la aplicabilidad del refuerzo.

Adicionalmente, se presenta al final del documento un apéndice con registro fotográfico del proceso de construcción de los especímenes, el control de calidad, y materiales usados.

Finalmente se expone un listado de referencias bibliográficas y electrónicas que sirvieron de apoyo a la investigación.

# CAPITULO I

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Venezuela, en su extensión geográfica, contiene cinco sistemas de fallas, tres de ellas relacionadas al contacto entre la placa del Caribe y la placa Suramericana en territorio Venezolano (Falla de Boconó, Falla de San Sebastián y Falla de El Pilar), causantes de los eventos sísmicos más importantes que han ocurrido en Venezuela. Se tiene documentación desde 1530 de sismos acontecidos en el país relacionados a estas fallas, donde cinco de los veintitrés más significativos, por pérdidas humanas y materiales causadas, se dieron en Caracas. En los últimos dos siglos se tienen: Caracas 1812, diez mil muertos; Cumaná, 1853 y 1929 (vea Fig.1.1); “Terremoto Cuatricentenario de Caracas” en 1967, se contabilizaron 274 muertos, 2000 heridos y 100 millones de dólares en pérdidas; el Tocuyo en 1950, con 250 casas destruidas y 700 dañadas; en 1997 “el Terremoto de Cariaco”, gran cantidad de viviendas colapsadas (FUNVISIS, 2002).

Con esto se evidencia la amenaza sísmica a la que está sometida Venezuela, especialmente algunas regiones, entre las que está la Ciudad Caraqueña. Lo expuesto anteriormente es coherente con el hecho de que la Norma venezolana COVENIN 1756 la identifica como una zona de peligro sísmico elevado y propone un nivel de diseño tres (ND3) para construcciones regulares en Caracas.



FIG. 1.1. CATEDRAL DE CUMANÁ, ANTES Y DESPUÉS DEL TERREMOTO DE 1929 (FUENTE: FUNVISIS, 2002)

Aunada a la historia sísmica que llevamos a cuesta, actualmente se evidencia vulnerabilidad en algunas viviendas construidas en sectores populares de la región central. Ver figura 1.2.



FIG. 1.2. VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA CONSTRUIDAS EN SECTORES POPULARES DE LA REGIÓN CENTRAL DE VENEZUELA. (FUENTE: ARQHYS.COM)

Desde el ámbito internacional, acontecimientos sísmicos en otros países, como el terremoto ocurrido en Colombia en enero de 1999, cuya magnitud fue de 6,2 en la escala de Richter, ratifican la necesidad de invertir esfuerzos y recursos

en estudiar las viviendas no adaptadas a normas de construcción. Según informe de Omar Cardona, publicado en el portal web de la ONU, *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres*, los daños se concentraron en edificaciones antiguas, en **edificaciones de mampostería no reforzada, ni confinadas con elementos de concreto reforzado** y en edificios construidos antes de la expedición del primer código nacional de construcciones sismorresistentes. Cardona afirma la comprobación del peligro que representa para una ciudad contar con edificaciones frágiles de mampostería no reforzada. En el sismo referido aproximadamente cincuenta mil viviendas fueron afectadas y mil doscientas treinta personas perdieron la vida.

En ese sentido, los hechos vislumbran la necesidad de generar métodos que garanticen la seguridad ante sismos de las personas que habitan en viviendas construidas con mampostería no confinada ni reforzada. Según lo planteado en trabajos hechos al respecto, el concepto de confinamiento de las paredes ha aportado elementos sismorresistentes positivos (Castilla, 1997), pero muchas de las casas de los sectores populares no tienen confinamiento de las paredes, o lo tienen de manera parcial. Se plantea la siguiente interrogante: ¿Habrà solución al problema de las viviendas construidas de esta manera y con familias establecidas en ellas?

Nos planteamos en este trabajo aportar en la reducción de la vulnerabilidad de las estructuras de este tipo, estudiando posibilidades de refuerzo en los muros de mampostería, único elemento portante en estos tipos de viviendas. Tomando como referencia principal el "*Manual Técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y Sierra*" [publicado en 1997 por el Ing. Luis Zegarra, donde se implementan técnicas sencillas de reforzamiento de paredes de adobe llevadas a cabo en Perú], se propone la colocación de una malla que cubra el muro de mampostería o parte de este.

Existen dos formas en que la malla podría aportar a las viviendas de mampostería: manteniendo la integridad física de los muros e incrementando su resistencia. En base a esto, se evalúa la factibilidad de implementar este tipo de refuerzo, a través de la comparación del comportamiento mecánico de muretes de mampostería construidos con bloques de manera tradicional y los mismos reforzados con mallas de acero y plástico.

Por otro lado, en los últimos años ha venido surgiendo un nuevo material para el refuerzo de elementos de concreto, fibra de polipropileno, es importante resaltar, que a pesar de no formar parte de los objetivos del trabajo, este se ha venido implementando de manera progresiva en la industria de la construcción ya que actúa como refuerzo tridimensional, distribuyendo tensiones en el elemento vaciado. Así que se postula este material como agregado en el mortero del friso para de igual forma evaluarlo como refuerzo de muretes de mampostería.

## **I.2. OBJETIVOS**

### **I.2.1. Objetivo general**

Comparar el comportamiento estructural de muretes de mampostería reforzados con malla de acero y malla plástica con el comportamiento de muretes de mampostería sin refuerzo.

### **I.2.2. Objetivos específicos**

- Contrastar el comportamiento estructural de muretes de mampostería reforzada con mallas y sin reforzar.
- Obtener evidencia experimental de la utilidad del refuerzo con mallas en muretes de mampostería.
- Aportar recomendaciones para la continuación de la investigación de refuerzo de paredes de mampostería con mallas.

### **I.3. APORTES**

Este trabajo busca profundizar la línea de investigación que se viene llevando a cabo en diversas instituciones del país, una de ellas es la Fundación Centro Nacional de Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano (CENVIH), ente adscrito al Ministerio del Poder Popular para la Ciencia, Tecnología e Innovación, puesto en marcha en el año 2012, Gaceta Oficial 39947, que está realizando estudios en el área de ingeniería estructural y sismorresistente aplicables a las viviendas de construcción popular en Venezuela, así como también, de construcción tradicional y de nuevos métodos constructivos; además de planificación en desarrollo urbano y normas técnicas en el área de ingeniería. Así como, se quiere dar continuidad a lo realizado por el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), contribuyendo con la propuesta de una nueva alternativa sismorresistente aplicable a la mampostería.

En nuestro país, las viviendas hechas de paredes con bloques y mortero (mampostería) representan una solución habitacional bastante utilizada por muchos sectores de la población, debido a la disponibilidad del material y a lo extendido de las técnicas de construcción con mampostería. Es por esto, que más allá de contribuir con el desarrollo institucional, se quiere proporcionar a la población de los sectores populares las herramientas básicas y necesarias para la implementación de un tipo de refuerzo en la mampostería que sea efectivo y de fácil colocación, capaz de reducir la vulnerabilidad de las construcciones de viviendas populares ante amenazas sísmicas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **II.1. MAMPOSTERÍA**

A continuación se presentan breves definiciones de los conceptos básicos de la mampostería, en particular aquella que tiene función portante. Se presenta los materiales tradicionalmente usados en este sistema constructivo y su comportamiento como conjunto ante las sollicitaciones gravitacionales y sísmicas.

##### **II.1.1. Generalidades de la mampostería**

La mampostería se entiende como el conjunto de dos fases de materiales constituidas por bloques, ya sean en forma natural o de fábrica (como los ladrillos) y, una sucesión de juntas, generalmente de mortero, dispuestas en forma irregular o regular. En este último caso, las juntas siguen la disposición del contorno de los ladrillos, teniendo dos grupos principales: horizontales y verticales. (López et al., 1998).

Además, existen diferentes tipos de piezas y morteros, los cuales tienen un amplio rango de propiedades mecánicas y geométricas, es por ello que el material resultante, la mampostería, es heterogéneo, anisotrópico; y tiene por naturaleza una resistencia a la compresión elevada que depende principalmente de las unidades de mampostería, mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre el bloque y el mortero (Gallegos & Casabonne, 2005).

Es importante distinguir lo que representa la mampostería estructural. Esta es la mampostería empleada racionalmente, de tal manera que las cargas actuantes durante su vida útil se transmitan adecuadamente a través de los

elementos de albañilería (convenientemente reforzados) hasta el suelo de cimentación (San Bartolomé, 1994).

### **II.1.2. Clasificación por su función estructural:**

Según San Bartolomé (1994), los muros de mampostería pueden cumplir o no función estructural, definiéndose por los siguientes criterios:

- **Muros no portantes:** son los que no reciben carga vertical, como por ejemplo: los cercos, los parapetos y los tabiques. Estos muros deben diseñarse básicamente ante cargas perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje.
- **Muros portantes:** son los que se emplean como elementos estructurales. Estos muros están sujetos a todo tipo de sollicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular a su plano, tanto vertical como lateral y tanto permanente como eventual.

### **II.1.3. Clasificación por la distribución del refuerzo**

**Muros no reforzados:** son aquellos muros que carecen de refuerzo; o que teniéndolo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias (San Bartolomé, 1994).

#### **Muros reforzados:**

Muros armados: se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la mampostería, este refuerzo está generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como en su longitud (refuerzo vertical).

Mampostería confinada: se caracteriza por estar constituida por un muro de mampostería simple enmarcado por una cadena de concreto armado, vaciada con posterioridad a la construcción del muro. (San Bartolomé, 1994).

## **II.1.2. Propiedades mecánicas de la mampostería**

La mampostería está compuesta por dos materiales, los bloques y el mortero. Las propiedades índices de las piezas y del mortero no son suficientes para determinar de una manera confiable las propiedades de la mampostería; las propiedades del conjunto dependen de las de los componentes y de la relación que se establece entre ambos. La fabricación de los muros se hace mediante un proceso eminentemente artesanal; por ello la calidad de la mano de obra juega un papel importante en las propiedades mecánicas del muro terminado (Meli, 1985). En conclusión, la mano de obra (técnica) y la cualidad de los materiales son las variables que determinan las propiedades mecánicas de la mampostería.

Principalmente, la resistencia a compresión y a corte de la mampostería, definen el comportamiento mecánico de esta ante sollicitaciones reales. Con el propósito de determinar dichas resistencias se han diseñado multitud de ensayos, cuyos resultados constituyen la base para cuantificar las propiedades mecánicas del material. Estos ensayos son expuestos en las Normas Colombiana, Mexicana, y Argentina de similar manera, y sustentan la metodología de este trabajo. El comportamiento de los especímenes de mampostería, cuando se someten a ensayos, es el producto de la acción heterogénea de sus componentes (bloques y mortero), imitando o modelando así el comportamiento que asumen elementos de mampostería similares sometidos a cargas iguales a las de los ensayos (Gallegos & Casabonne, 2005).

A continuación se describen los comportamientos típicos de la mampostería sometida a esfuerzos de compresión y a esfuerzos cortantes:

### **II.1.2.1. Comportamiento mecánico de la mampostería en compresión**

En vista de que cada material [bloque, mortero] se comporta diferente, aún estando sometidos bajo las mismas condiciones de esfuerzos. Por ejemplo, el bloque, normalmente mucho menos deformable que el mortero, restringe las

deformaciones transversales de éste último; como consecuencia, al mortero de pega le son transmitidas tensiones de compresión transversal que lo colocan en un estado de compresión triaxial, mientras que a los bloques, siendo más rígidos, le son transmitidas tensiones transversales de tracción, disminuyendo así su resistencia a la compresión con respecto a la que pueda ser encontrada por medio de un ensayo individual a las piezas (Molano & Serrano, 2005).

Existen varias maneras por medio de las cuales se puede obtener la resistencia a la compresión de la mampostería; a través del ensayo a compresión simple de prismas; por medio de la resistencia a la compresión de los bloques y el mortero; o mediante valores indicativos expresados en tablas que relacionan los tipos de bloques con el mortero utilizado (*Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*, 2004).

El ensayo de compresión simple, se puede realizar a pilas (prisma de piezas colocadas una sobre otra), construidas con un mínimo de tres bloques sobrepuestos y pegados con mortero. La relación altura (h) a espesor (t) de pilas estará comprendida entre dos y cinco (Norma mexicana: "*Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*", 2004) (ver Figura 2.1). El ensayo se realiza en una máquina universal de compresión, aplicando un ritmo de carga controlado, hasta que el espécimen no admite más carga. El resultado del ensayo se obtiene de dividir esta carga última entre el área de aplicación de la carga. En éste tipo de procedimiento, la falla más común es la formación de grietas verticales generadas por las deformaciones transversales de las piezas, incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Cuando este agrietamiento vertical se vuelve excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y su falla. Para pilas con piezas de baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de las piezas mismas; esto confirma el hecho de que las fallas también dependen de la calidad de los materiales. El aplastamiento del mortero no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste, cuando se aplasta, es retenido por

fricción por las piezas y el conjunto puede soportar cargas mayores; sin embargo, en elementos esbeltos el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad (Gallegos & Casabonne, 2005; Tena & Miranda, 2003).

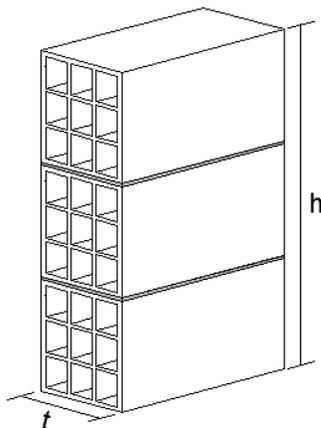


FIG. 2.1. PILA PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. ELABORACIÓN PROPIA.

En términos generales, puede decirse que la resistencia a la compresión determinada en pilas es del orden de 50% de la de los bloques y de 35% de ésta para ladrillos. La diferencia se debe a la distinta relación de esbeltez de las piezas individuales (Meli, 1985).

#### II.1.2.2. Comportamiento de la mampostería a cortante

Existen gran variedad de situaciones en las que un muro de mampostería se puede ver sometido a esfuerzos cortantes. Desde luego que una de las situaciones más importantes es cuando una edificación de mampostería se ve sometida a sismos; sin embargo existen muchas otras situaciones en las que se pueden producir este tipo de solicitaciones en la mampostería. La acción de cargas gravitacionales con una distribución poco uniforme de cargas verticales en un determinado muro, las cargas laterales producto de la acción del viento y los hundimientos diferenciales en una edificación de mampostería, son algunas de las

situaciones que producen esfuerzos cortantes. De ahí que sea muy importante conocer el comportamiento mecánico de la mampostería no reforzada bajo este tipo de sollicitaciones, ya que es el tipo de acción que con mayor frecuencia produce la falla (Tena & Miranda, 2003).

Dado que una propiedad como la adherencia es de gran influencia en el comportamiento de los muros, es preciso mencionar algunos de los factores de cada material que inciden directamente en ella. De esta manera, las piezas de mampostería se ven afectadas por factores como la porosidad, la tasa inicial de absorción de agua, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad y la reactividad química; por otro lado el mortero es influenciado por las características de la arena, la reacción limo-cemento, la capacidad de retención de agua, el contenido de humedad y la presencia de aditivos (Bonett, 2003).

Si bien aún no es posible cuantificar la influencia en el desarrollo de propiedades adherentes, de cada uno de los factores anteriormente mencionados, puede indicarse que variables como el contenido de humedad de las piezas y la presencia de limos en la mezcla de mortero son altamente incidentes en estas (Bonett, 2003).

Teniendo en cuenta este comportamiento, se pueden identificar tres tipos de fallas que corresponden a fallas por cortante en la junta, por tracción diagonal y por compresión.

Falla por cortante en la junta: Este tipo de falla ocurre para esfuerzos normales de compresión bajos y se produce por la unión débil de las interfaces mortero-pieza, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales. En otras palabras, es un tipo de falla que se produce cuando la resistencia de las piezas es mayor, en relación con la resistencia de adherencia del mortero con las piezas, por lo que el agrietamiento ocurre en el elemento débil que en este caso es la junta. La Figura 2.2 muestra la distribución escalonada de las grietas asociadas a este tipo de falla, las cuales se forman a partir de los extremos de las juntas verticales,

que constituyen planos de debilidad en la mampostería, debido a que su resistencia a la adherencia disminuye por causa de la contracción y de los vacíos existentes (Bonett, 2003; Tena & Miranda, 2003).

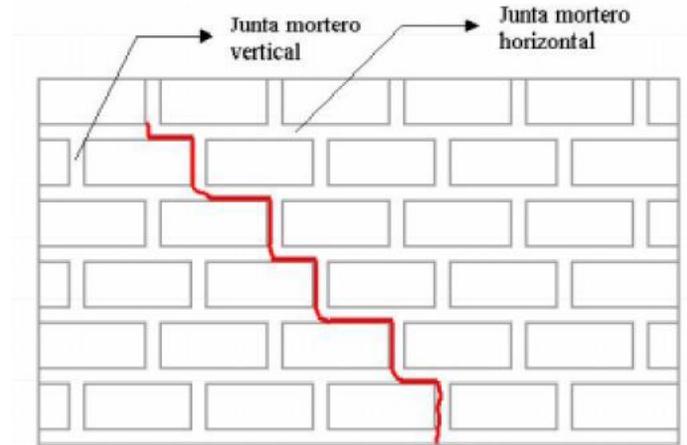
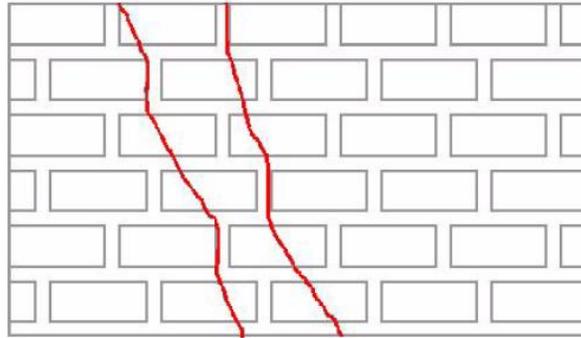


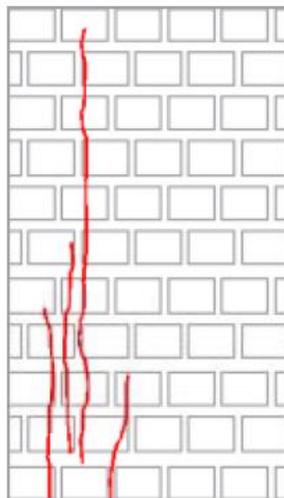
FIG. 2.2. AGRIETAMIENTO ESCALONADO DIAGONALMENTE PRODUCIDO POR UNA FALLA POR CORTANTE.  
FUENTE: BONETT, 2003.

Falla por tracción diagonal: Este tipo de falla es el resultado de la presencia de tensiones moderadas a cortante y de compresión, que aumentan la resistencia al corte en las juntas de mortero. Es una falla que normalmente se da cuando la resistencia a la tracción de las piezas es menor, en relación con la resistencia a la adherencia del mortero con las piezas, propiciando así la aparición de grietas en las piezas de mampostería (ver Figura 2.3). La inclinación de las grietas depende principalmente de la concentración de esfuerzos en las piezas, en donde no sólo se logra observar el agrietamiento de éstas sino también el deterioro del mortero de pega (Bonett, 2003; Tena & Miranda, 2003).



**FIG. 2.3. AGRIETAMIENTO DE LAS UNIDADES DE MAMPOSTERÍA PRODUCIDO POR UNA FALLA DE TRACCIÓN DIAGONAL. FUENTE: BONETT, 2003.**

Falla a compresión: La falla a compresión se presenta cuando las tensiones normales son elevadas, superando ampliamente las tensiones cortantes y reduciendo considerablemente la resistencia a compresión de la mampostería, hecho del cual se genera una respuesta similar a la de compresión directa, en donde las grietas aparecen por efecto de las deformaciones verticales y se propagan en dicho sentido (ver Figura 2.4) (Bonett, 2003).



**FIG. 2.4. AGRIETAMIENTO VERTICAL PRODUCIDO POR UNA FALLA POR COMPRESIÓN. FUENTE: BONETT, 2003.**

Para estudiar el comportamiento de la mampostería a cortante, se utiliza un ensayo de compresión diagonal. Este ensayo consiste en aplicar una compresión diagonal a muretes contruidos con piezas de mampostería, pegadas con mortero y que tienen una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesarias para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud. En el ensayo de compresión diagonal, en el murete se produce un estado de esfuerzos de compresión a lo largo de la diagonal en la cual se aplica la carga, pero al mismo tiempo se produce un estado de esfuerzos de tracción a lo largo de la diagonal perpendicular a la que se produce la compresión. Este esfuerzo resistente a tracción es mucho menor que el esfuerzo resistente a la compresión de la mampostería y aunque se trate de un ensayo de compresión diagonal, el modo de falla es en prácticamente todos los casos por tracción diagonal (Tena & Miranda, 2003). En la Figura 2.5 se muestra el esquema de este tipo de ensayos.

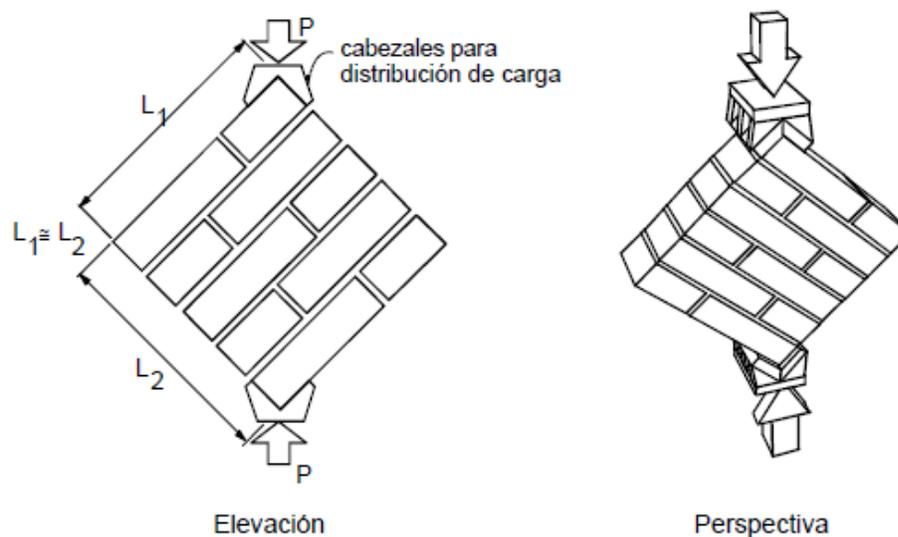


FIG. 2.5. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL. FUENTE: Tena & Miranda, 2003.

Del ensayo a compresión diagonal de muretes, se obtiene el valor de la resistencia al corte de la mampostería; sin embargo, este valor también se puede determinar a través de valores indicativos expresados en tablas que relacionan los

tipos de bloques con el mortero utilizado (Norma mexicana: “*Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*”, 2004).

La calidad del mortero afecta la resistencia; la diferencia es sensible entre un mortero con proporcionamiento volumétrico 1:0:3 y 1:2:9 de cemento, cal y arena. El esfuerzo cortante resistente varía generalmente entre 2 y 10 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual depende del tipo de pieza; las resistencias menores correspondientes a piezas de muy baja resistencia en compresión y a piezas con perforaciones muy grandes y superficies lisas. Las resistencias mayores corresponden a piezas de superficies rugosas o con perforaciones pequeñas en las que se introduce el mortero, proporcionando un anclaje mecánico (Tena & Miranda, 2003).

Se ha tratado de relacionar el valor de la resistencia al corte ( $v_m$ ) con el valor de la resistencia a la compresión de la mampostería ( $f_m$ ) y se ha visto que el esfuerzo cortante resistente es proporcional a la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (ver Figura 2.6). En realidad esta relación es más estadística que funcional, ya que las propiedades o características que afectan a una, no afectan a la otra. Más aún, evaluando los ensayos de compresión es posible establecer que la relación puede ser inversa, ya que aquellas condiciones que aumentan la resistencia al corte, como por ejemplo, la presencia del mortero, disminuyen la resistencia a la compresión (Gallegos & Casabonne, 2005).

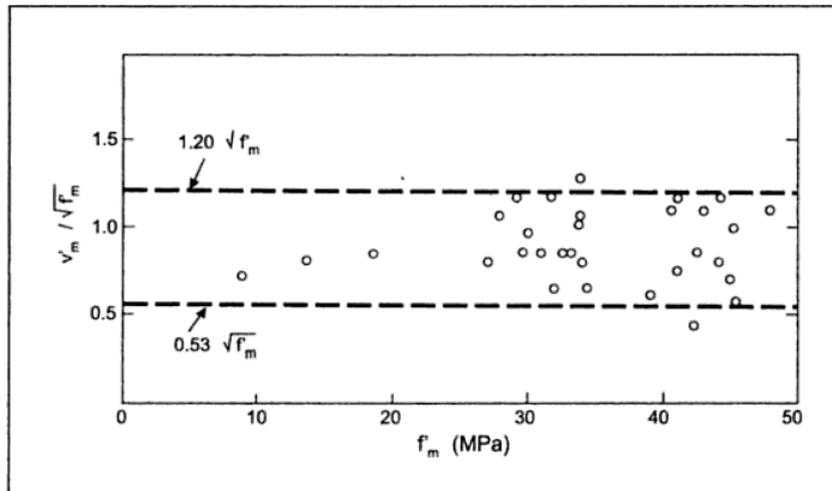


FIG. 2.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA VS. LA RELACIÓN ENTRE LA RAÍZ CUADRADA DE SU RESISTENCIA AL CORTE ( $v_m$ ) Y SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ( $f_m$ ). FUENTE: GALLEGOS Y CASABONNE, 2005.

## II.2. ANTECEDENTES

A pesar de que la mampostería es uno de los sistemas estructurales más ampliamente usados en nuestro país, las técnicas constructivas y los materiales que lo componen son unos de los menos normados en Venezuela. Sin embargo, en la Universidad Central de Venezuela y otras universidades nacionales se han realizado investigaciones al respecto que aportan elementos importantes para elaborar un proyecto de norma.

Por otro lado, países latinoamericanos, como Colombia, México, Perú y Argentina sí cuentan con normas que regulan la aplicación de este sistema constructivo, y estas han servido como referencia para la investigación en nuestro país. A partir de estas presentamos aportes considerados en este trabajo especial de grado.

### II.2.1. Investigaciones en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales

El IMME, instituto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, ha realizado investigaciones importantes de la mampostería como

elemento portante en viviendas, incluidas en Trabajos Especiales de Grado, boletines técnicos y trabajos de ascenso.

De los estudios experimentales de Enrique Castilla, Ángel Marinilli, y otros profesores del IMME se presenta la mampostería confinada con elementos de concreto armado o perfiles de acero y la mampostería reforzada internamente con barras de acero, al realizarse con un control de calidad alto y siguiendo ciertas recomendaciones técnicas, como alternativas seguras para la construcción popular en Venezuela.

De las más reciente investigaciones figura el Trabajo Especial de Grado de Bastardo y Cadenas, 2006, que estudia la influencia del espesor del friso en las propiedades mecánicas de la mampostería, resultando importante la existencia de friso para aumentar los niveles de resistencia, y poca variación con 1 cm de friso y 2 cm.

### **II.2.2. Investigaciones y Normativas Internacionales**

- En Argentina, en el Reglamento empírico para construcciones de mampostería de bajo compromiso estructural, se exige que todos los muros portantes deben contar con un encadenado horizontal de hormigón armado para repartir el esfuerzo de las cargas y que las juntas verticales deben tener mortero, por ejemplo. Así como otra cantidad de orientaciones técnicas que permiten mayor control sobre dichas construcciones,
- La Norma mexicana, *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería (2004)* aporta métodos para medir las propiedades mecánicas de la mampostería a través de ensayos controlados en laboratorio, que han servido de referencia para en estudios de mampostería realizados en la Universidad Central de Venezuela.
- La Norma colombiana de diseño y construcción sismorresistente (NSR-98) incluye un capítulo denominado Mampostería Estructural, donde se reglamenta desde las características de los materiales a utilizar hasta el

método constructivo y de control de calidad de los muros de mampostería. Destacamos que se clasifica la mampostería no reforzada apta sólo para regiones de amenaza sísmica baja, con  $A_0$  no mayor a 0,05 y se reconoce como un sistema con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico.

Un experimento relacionado al que se llevó a cabo en este trabajo fue realizado por los Ingenieros Zegarra, Quiun y San Bartolomé en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), donde se estudiaron técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe, con el objetivo de evitar el colapso ante terremotos severos. La técnica que arrojó mejores resultados consistió en reforzar los muros con franjas horizontales y verticales de malla electrosoldada (ver Figura 2.7), recubiertas con mortero. Entre 1998 y 1999, la técnica se aplicó en veinte viviendas reales ubicadas en zonas sísmicas del Perú. Seis de estas viviendas se comportaron con éxito ante el terremoto del 23 de junio del 2001, ( $M_s = 7.9$ ) que afectó el sur del Perú, en tanto que viviendas de adobe no reforzado tuvieron fuertes daños o colapsaron totalmente. Esto dio lugar a varios proyectos de reconstrucción de viviendas de adobe en la zona andina del departamento de Arequipa, empleando sistemas similares (Zegarra, Quiun, & San Bartolomé, 2003).



**FIGURA 2.7. INSTALACIÓN DE MALLA ELECTROSOLDADA EN PAREDES DE ADOBE  
(FUENTE: ZEGARRA ET AL., 1997)**

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En este trabajo de experimentación se busca comparar el comportamiento mecánico de muretes de mampostería reforzados con dos tipos de mallas y de fibra de polipropileno incorporada en el mortero del friso respecto a muretes no reforzados. En congruencia con esto, se realizarán dos tipos de ensayos para cuantificar las propiedades mecánicas fundamentales de la mampostería: ensayo de compresión simple a pilas y ensayo de compresión diagonal a muretes.

La presencia/ausencia de malla y el tipo de esta constituyen las variables independientes; la resistencia a corte, en el caso de los muretes, y la resistencia a compresión simple, en el caso de las pilas, serán las variables dependientes. Manteniendo constante las dimensiones de los especímenes, el mortero para friso y juntas, su espesor, y el tipo de bloque. Esto se realizó con especímenes contruidos con bloques huecos de arcilla. En la Tabla 3.1 se especifica el número de pilas y muretes a ensayar.

**Tabla 3.1. Cantidad de pilas y muretes contruidos, con refuerzo y patrones**

| Especímen                             | Sin refuerzo | Reforzados                 |                |                        |
|---------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------|------------------------|
|                                       |              | Malla de acero (gallinero) | Malla plástica | Fibra de Polipropileno |
| Muretes con bloques huecos de arcilla | 3            | 3                          | 3              | 3                      |
| Pilas con bloques huecos de arcilla   | 3            | 3                          | 3              | 3                      |

### **III.1. SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES Y CONFIGURACIÓN Y PRE-DIMENSIONADO DE ESTOS**

La selección de los componentes para la construcción de los especímenes es consecuente con anteriores trabajos realizados en el IMME, particularmente con el Trabajo Especial de Grado *“Influencia del espesor del friso en las propiedades mecánicas de la mampostería con bloques huecos de arcilla y de concreto”* (Bastardo & Cadenas, 2006), y responde a lo típicamente utilizado en las construcciones de mampostería en Venezuela.

Seleccionados y en sitio los materiales, se realizó la caracterización de los mismos: bloques y mortero y sus componentes; así como de los materiales: mallas y fibra. La caracterización comprende verificación de dimensiones, resistencias y/o demás características normadas o de interés para la investigación, dependiendo del material. En todos los casos se pesaron los especímenes para descartar diferencias significativas en la composición de los mismos.

#### **III.1.1. Unidades de mampostería**

Se utilizaron bloques huecos de arcilla con dimensiones nominales de largo, alto y ancho de 30 x 20 x 15 cm, respectivamente (ver Figura 3.1 y Apéndice A, Figura A.1); típico en el mercado venezolano, y clasificado como tipo B por la Norma venezolana COVENIN 2-78: *“Bloques de arcilla para paredes. Especificaciones”*. Todos los bloques procedentes de la misma fábrica.

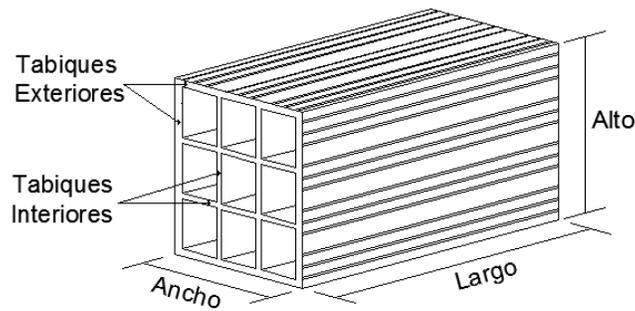


FIG. 3.1. BLOQUE HUECO DE ARCILLA

Para estos se comprobó el cumplimiento de las exigencias de la Norma COVENIN 2-78: “*Bloques de arcilla para paredes. Especificaciones*”. Constatándose el acabado, dimensiones y resistencia a la compresión de los bloques.

### III.1.2. Espesor del friso y de las juntas

Aunque en el Trabajo Especial de Grado “*Influencia del espesor del friso en las propiedades mecánicas de la mampostería con bloques huecos de arcilla y de concreto*” (Bastardo & Cadenas, 2006) se indica que no hay diferencia significativa en las resistencias obtenidas con 1 cm y 2 cm de espesor de friso; los especímenes a ensayar, patrones y reforzados, fueron frisados con 2 cm de mortero en sus dos caras, buscando cubrir la malla por ambos lados para que quede embutida en mortero y se asegure mayor contacto malla-mortero y por lo tanto mayor adherencia (ver Figura 3.2).



FIG. 3.2. MALLA EMBUTIDA EN EL FRISO (VISTA EN MURO ENSAYADO)

Con respecto a las juntas se siguió el patrón de Bastardo y Cadenas, aplicando sólo junta horizontal en muretes y pilas de espesor nominal 1 cm, asegurando mortero en toda la hilada para anclar los amarres y separadores de las mallas de refuerzo especificados en el punto III.2.4.

### III.1.3. Mortero para el friso y las juntas

El mortero que se utilizó para pegar los bloques y para aplicar el friso de las pilas y muretes consistió en una mezcla con relación de peso entre arena, cal y cemento de 3:0,5:1 (ver Apéndice A, Figuras A.7 y A.8). Y la especificación de sus componentes se presenta a continuación:

***Arena ligada***, compuesta por polvillo de piedra y arena amarilla de cantera; adquirida en metros cúbicos y almacenada en sacos en la Nave de Ensayos Especiales del IMME.

***Cemento Portland Tipo I***, adquirido en sacos de 42,5 kg y almacenado en pilas sobre paletas de madera en la Nave de Ensayos Especiales del IMME. Por recomendaciones del albañil, el cemento utilizado en la construcción de los

muretes y pilas, tuvo que ser cernido con la ayuda de una malla, debido a la aparición de grumos que estaban entre 1 cm y 4 cm aproximadamente.

***Cal hidratada en polvo***, adquirida en sacos de 8 kg.

***Agua***, proveniente de la aducción ubicada en el patio del IMME.

#### **III.1.4. Granulometría de arena utilizada para el mortero**

Se revisó la composición granulométrica de la arena que se utilizó para el mortero. Para esto se tomaron dos muestras y se compararon resultados con las exigencias establecidas en la Norma Técnica Colombiana NTC 2240: “*Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería*”. Se usó la Norma colombiana como referencia porque se refiere específicamente a morteros usados en mampostería. El procedimiento para realizar el análisis de la composición granulométrica de ambas muestras se muestra a continuación.

Se pesó 2 kg de arena ligada, de esta se realizaron dos cuarteos a través de la cuarteadora para obtener una muestra de 500 g), aproximadamente (ver Apéndice A, Figura A.4); posteriormente, se llevó al horno para su secado, donde permaneció 24 horas; se colocó la muestra sobre los tamices ordenados de arriba hacia abajo por abertura, utilizando los siguientes: #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 (ver Apéndice A, Figura A.6); una vez obtenidos los retenidos en cada tamiz, se colocaron en taras para ser pesados en una balanza electrónica de 1 g de precisión (ver Apéndice A, Figura A.5); y por último, se determinó el porcentaje pasante de cada tamiz y se comparó con los límites establecidos en la Norma mencionada.

Además de normar los porcentajes pasantes en los tamices, la Norma colombiana, expone que no se debe contener más del 50% del material retenido en dos tamices consecutivos y no más del 25% entre los tamices N°50 y N°100. Revisiones que se hicieron y cuyos resultados están expresados en el Capítulo IV, punto IV.1.1.

### **III.1.5. Determinación de la resistencia a compresión del mortero**

Para verificar la resistencia de la mezcla del mortero utilizado se tomaron y ensayaron probetas cúbicas para distintas muestras del mortero. La metodología para la toma de muestras, compactación, curado y ensayo de las mismas se orientó por la Norma COVENIN 484-93: “*Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero en probetas cúbicas de 50,8 mm de lado*”.

La Norma COVENIN 484-93 se usa especialmente para evaluar cementos, y tiene requerimientos propios de un laboratorio con altos niveles de control (temperatura, humedad, etc.). Sin embargo, en este trabajo, para tomar las muestras se usaron moldes cúbicos de madera de 5,08 cm de lado, dispuestos en el Laboratorio de Concreto Fresco del IMME, ya que los moldes normalizados para realizar las probetas cúbicas no se encontraban disponibles.

Se tomaron cinco muestras de tres probetas cada una, tres de mortero convencional con la dosificación predeterminada utilizado para juntas y friso y dos de mortero con fibra de polipropileno incorporada. Siendo un total de quince probetas cúbicas.

La mezcla se compactó en el molde con un prisma de madera fabricado en el Taller de carpintería del IMME, con las dimensiones especificadas en la norma, y bajo el procedimiento que esta dicta, dando 32 golpes por capa y vaciada en dos capas. Se dejaron las probetas en sus moldes por un lapso de 24 horas, pasado este tiempo, se desencofraron y se colocaron en la piscina de curado del patio del IMME hasta el día de ensayo, mínimo 28 días (ver Apéndice A, Figuras A.11, A.12 Y A.13). Finalmente fueron ensayadas luego en la prensa universal de 30 Ton de capacidad, ubicada en la Nave de Ensayos Físicos del IMME. Los resultados de los ensayos a compresión de las muestras pueden verse en el Capítulo IV, punto IV.1.3.2.

### **III.1.6. Refuerzos: mallas y fibra**

Las especificaciones y usos típicos de los refuerzos utilizados se exponen a continuación. Los tipos de malla utilizados se determinaron por su facilidad de empleo y disponibilidad en el mercado.

#### **III.1.6.1. Malla gallinero 2" C-18:**

Conformada por mallas hexagonales de alambre galvanizado con orificios de 2" y de alambre calibre 18 (ver Figura 3.3). Esta suele aplicarse para criaderos de aves y animales y es accesible en el mercado común venezolano.



FIG. 3.3. MALLA DE ACERO (TIPO GALLINERO) USADA COMO REFUERZO

#### **III.1.6.2. Malla simple torsión 50 x 17 x 100 plastificada**

Compuesta por mallas hexagonales de plástico (ver Figura 3.4). Suelen usarse en jaulas para criaderos de animales.



FIG. 3.4. MALLA PLÁSTICA USADA COMO REFUERZO

### III.1.6.3. Fibra de polipropileno:

Consiste en monofilamentos de corte de 15 mm de polipropileno. Usada recientemente en la construcción por reducir grietas por retracción, incrementar resistencia a la flexión y al impacto, reducir la permeabilidad, y se ha usado en concreto para vaciar losas, canales, etc. La presentación usada fue de 0,6 kg, y la dosificación la recomendada por el fabricante, 600 gramos por metro cúbico (ver Figura 3.5).



FIG. 3.5. FIBRA DE POLIPROPILENO USADA COMO REFUERZO

### III.1.7. Caracterización de las mallas utilizadas como refuerzo

Se determinó el ancho real de los alambres que conforman los dos tipos de malla con un tornillo micrométrico de apreciación 0,01 mm; y la resistencia a la tracción de las mallas en franjas de 20 cm de ancho (dimensión de la pieza de sujeción) por 25 cm de largo. En el Apéndice A, Figura A.16 se puede observar la medición de las mallas de refuerzo

Debido a que no hay Norma venezolana que oriente específicamente el ensayo para determinar la resistencia a tracción de las mallas, y resulta pertinente estimar esta propiedad para los fines de nuestra investigación, se realizó el ensayo de tracción según orientaciones del personal del IMME con experiencia en

ensayos similares. El ensayo se realizó en la prensa Baldwin de capacidad 100 ton, ubicada en la Nave de Ensayos Físicos del IMME; además fue necesario el diseño y elaboración de la pieza de sujeción de las probetas en la prensa.

### III.1.8. Pilas

Las pilas fueron construidas de acuerdo a los requerimientos de la Norma mexicana *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería, 2004*; donde se establece que las pilas estén formadas por un mínimo de tres bloques y que su relación de esbeltez (altura/ancho) esté comprendida entre 2 y 5 (ver Apéndice A, Figura A.18). Se elaboraron pilas constituidas por tres bloques sobrepuestos, unidos con mortero por juntas de espesor nominal de 1 cm, con una relación de esbeltez de 4, siendo sus dimensiones nominales de largo, alto y ancho; 30 cm, 60 cm y 19 cm respectivamente (ver Figura 3.6). Este tipo de pilas ha sido utilizado en anteriores investigaciones del IMME (Castilla y Pose, 1995; Ruiz y Renda, 1987).

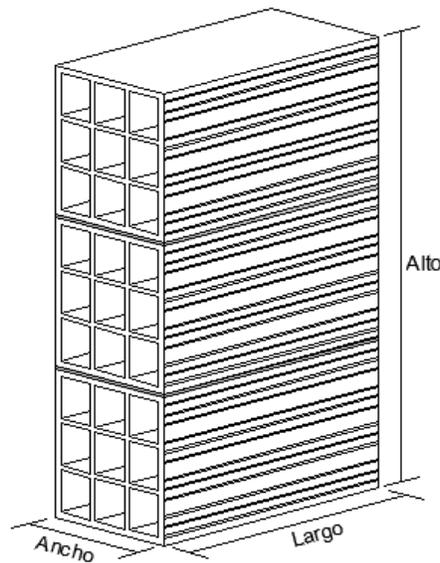


FIG. 3.6. PILA CONSTRUIDA CON BLOQUES HUECOS DE ARCILLA.

### III.1.9. Muretes

Los muretes se construyeron siguiendo los requerimientos de la Norma mexicana *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*, 2004; la cual establece que la longitud de los lados de los muretes, debe ser de al menos una vez y media la longitud de la pieza, y deberán tener el número de hiladas necesarias para que la altura sea aproximadamente igual al largo. De acuerdo a esto, se elaboraron muretes con dimensiones nominales de largo y alto de 120 cm (ver Figura 3.7 y Apéndice A, Figura A.25). El ancho de los especímenes fue el correspondiente al de los bloques más el friso, 19 cm. Los bloques se colocaron trabados y conformando hiladas niveladas y unidas con el mortero descrito anteriormente; en total cada murete construido con bloques huecos de arcilla estuvo compuesto por 24 bloques, distribuidos en 6 hiladas.

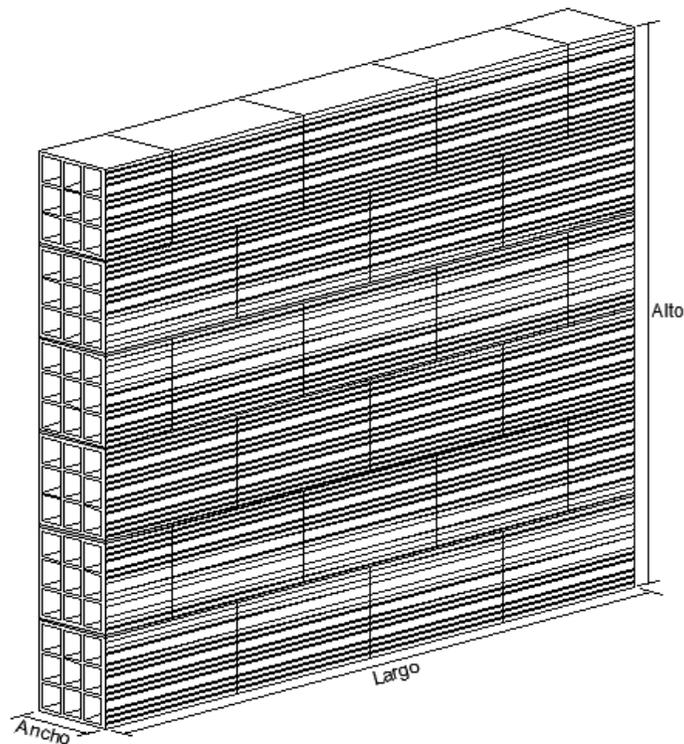


FIG. 3.7. MURETE CONSTRUIDO CON BLOQUES HUECOS DE ARCILLA.

## **III.2. CONSTRUCCIÓN DE PILAS Y MURETES**

La elaboración de las pilas y los muretes, básicamente se realizó en cinco etapas de trabajo: levantado de hiladas de bloques, salpicado, instalación de las mallas de refuerzo, frisado y pintado con cal. Se contó con el trabajo de dos albañiles y de cuatro colaboradores del CENVIH (Centro Nacional para la Investigación y Certificación en Vivienda, Hábitat y Desarrollo Urbano del Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación), y se tomó aproximadamente un total de 30 horas de trabajo distribuidas en 2 semanas.

Dada la geometría de los muretes, fue necesario, cortar en mitades treinta y seis bloques de arcilla; estos cortes se hicieron en la máquina cortadora eléctrica con disco de punta diamante ubicada en el Laboratorio de Concreto Fresco del IMME (ver Apéndice A, Figura A.2).

### **III.2.1. Construcción de Pilas**

En la primera etapa de trabajo se llevó a cabo la construcción de los especímenes. El procedimiento consistió en colocar el primer bloque, y sobre este aplicar una capa de mortero con un espesor entre 10 y 12 mm, para pegar el siguiente bloque a través del golpeteo de la pieza y a su vez ubicar el conector (alambre de amarre); luego, se nivelaron las caras horizontales y verticales del espécimen con un nivel de burbuja; por último, se colocó el tercer bloque y el segundo conector (alambre de amarre), con el proceso de nivelación correspondiente.

En la segunda y tercera etapa, se salpicaron y se instalaron las mallas de refuerzo a los especímenes, respectivamente; este procedimiento se explica con mayor detalle en el punto III.2.4.

En la cuarta etapa, se realizó el frisado de las pilas. Para obtener el espesor de 2 cm se usaron listones de forma tal que sobresalieran la dimensión especificada (ver Apéndice A, Figuras A.21, A.30 y A.32). Posteriormente, se

colocó sobre la última hilada de bloques una capa de mortero con un espesor de 2 cm, con el objeto de proporcionar mayor seguridad a los especímenes, al momento de ser transportados y montados para realizar el ensayo.

En la última etapa, se pintaron los especímenes con una mezcla de cal hidratada en polvo y agua con el objetivo de facilitar la visualización de las grietas originadas en el ensayo a compresión de las pilas (ver Apéndice A, Figura A.22).

### **III.2.2. Construcción de Muretes**

En la primera etapa de trabajo se construyeron los especímenes. El procedimiento, consistió en colocar la primera hilada de bloques y sobre ella aplicar una capa de mortero con un espesor entre 10 mm y 12 mm, para pegar la siguiente hilada a través del golpeteo de las piezas y a su vez ubicar los conectores (alambres de amarre); luego, se nivelaron las caras horizontales y verticales del murete con un nivel de burbuja (ver Apéndice A, Figura A.23); posteriormente, se pegaron los bloques restantes para completar las hiladas correspondientes, con el proceso de nivelación respectivo; por último, se colocó sobre la última hilada de bloques una capa de mortero con un espesor de 2 cm, esto, con el objeto de proporcionar mayor seguridad a los especímenes, al momento de ser transportados y montados para realizar el ensayo.

En la segunda y tercera etapa, se salpicaron y se instalaron las mallas de refuerzo a los muretes, respectivamente; este procedimiento se explica con mayor detalle en el punto III.2.4.

En las dos últimas etapas, se realizó el frisado y el pintado de los muretes, siguiendo el mismo procedimiento llevado a cabo en las pilas (ver Apéndice A, Figuras A.31, A.33 y A.35).

### III.2.3. Preparación del mortero

El mortero utilizado en la construcción de los especímenes, se elaboró en el patio del IMME. Primero, se pesaron todos los componentes arena, cal, cemento y agua, de acuerdo a la relación de peso establecida, 3:0,5:1; quedando cada terciado con 90 kg de arena, 15 kg de cal y 30 kg de cemento. En la primera mezcla realizada se agregó agua hasta conseguir una manejabilidad adecuada según el albañil, y para las siguientes mezclas se repitió la medida de agua, 30 litros. En algunos casos se tuvo que agregar 5 l más de agua, consecuencia de que la arena estaba muy seca.

Se colocaron las cantidades previamente pesadas en la mezcladora de eje vertical ubicada en el laboratorio de concreto fresco, agregando inicialmente una porción del agua total, luego al cabo de unos segundos se adicionó el resto del agua; finalmente, se mezcló durante cuatro minutos aproximadamente (ver Apéndice A, Figuras A.9 y A.10). El traslado de la mezcla al área de construcción se realizó mediante carretilla.

### III.2.4. Colocación de mallas de refuerzo

Para la colocación de las mallas se siguieron orientaciones aplicadas en estudios peruanos para reforzar viviendas de adobe (Zegarra, Quiun, San Bartolomé & Giesecke, 1997). El proceso estuvo compuesto por tres etapas:

**1. Instalación de conectores:** los alambres que sirvieron como conexión para amarrar la malla al murete, son de alambre tipo dulce (ver Apéndice A, Figura A.15) y se fueron colocando a medida que se levantaban las hiladas de bloques del espécimen (ver Apéndice A, Figuras A.17 y A.24); en total se colocaron 9 alambres a los muretes, la longitud de los alambres era el ancho del murete más 7 cm aproximadamente, que sobresalen de cada lado del mismo para una longitud total de 30 cm. En la Figura 3.8 se muestra la distribución de los conectores ubicados en los muretes. En cuanto a las pilas, solo se colocaron 2 conectores,

uno en cada junta de mortero, en la Figura 3.13, se observa la distribución de los mismos. Se debe resaltar que la ubicación de los conectores fue por elección propia.

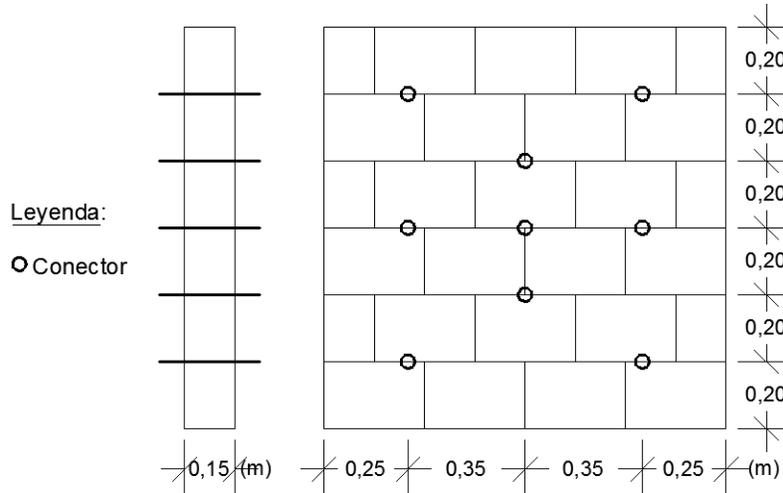


FIG. 3.8. UBICACIÓN DE CONECTORES EN MURETE (VISTA DE SECCIÓN TRANSVERSAL Y FRONTAL).

**2. Salpicado de los muretes:** antes de colocar la malla de acero o de plástico, se salpicaron los muretes y las pilas con una mezcla de mortero cuya relación de peso entre arena y cemento fue de 3:1 esto con el objeto de generar mejor adherencia friso-bloque (ver Figura 3.9; y Apéndice A, Figuras A.19 y A.26). Es importante resaltar que los bloques no se humedecieron, lo cual es recomendable para evitar que los mismos no absorban el agua de la mezcla del friso.



FIG. 3.9. MURETE SALPICADO ANTES DE COLOCAR LA MALLA DE REFUERZO.

**3. Colocación de malla y separadores:** una vez que se amarró la malla a través de los conectores (ver Apéndice A, Figura A.27), se procedió a cortar los sobrantes de los alambres con un alicate (ver Apéndice A, Figuras A.20 y A.28), posteriormente se fijó la malla directamente al murete o a la pila con clavos de acero de 1 ½” y chapas (ver Figura 3.10; y Apéndice A, Figuras A.14 y A.29); para ello se colocaron dos chapas, una aplastada y otra sin aplastar. La malla se colocó entre las dos chapas, de forma tal que, quedara un espaciado de 0,5 cm aproximadamente, para que el mortero se introdujera en el lado más cercano a la cara de los bloques, buscando que la malla quedara embutida en el mortero. En la Figura 3.11 se presenta un esquema de la ubicación de los separadores (clavos roscados y chapas) colocados en los muretes; y en las Figuras 3.12 y 3.13; la configuración general de los componentes para colocación de las mallas en los muretes y pilas. Es importante resaltar que la ubicación de los separadores fue por elección propia.



**FIG. 3.10. DISPOSITIVOS USADOS COMO  
SEPARADORES EN LA COLOCACIÓN DE LAS MALLAS**

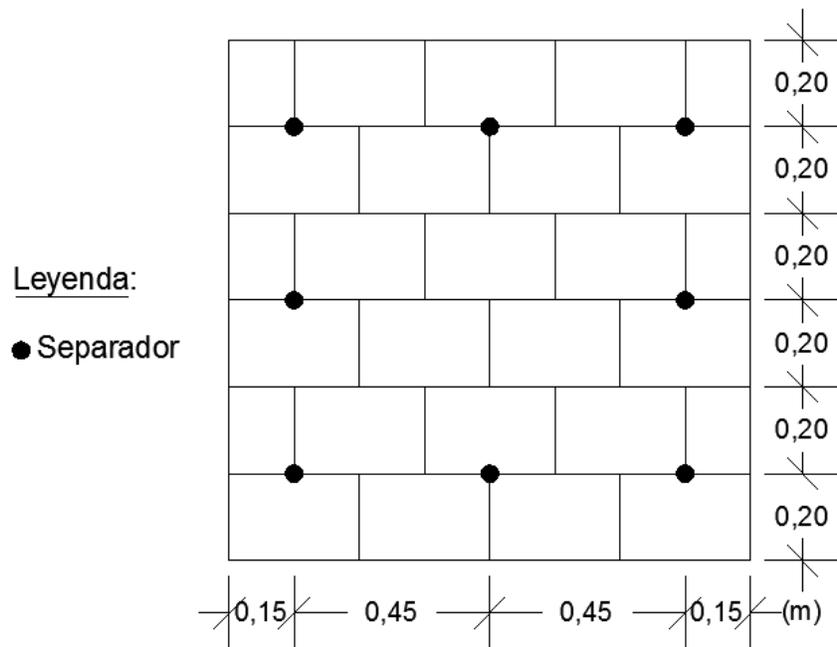


FIG. 3.11. UBICACIÓN DE SEPARADORES EN MURETE

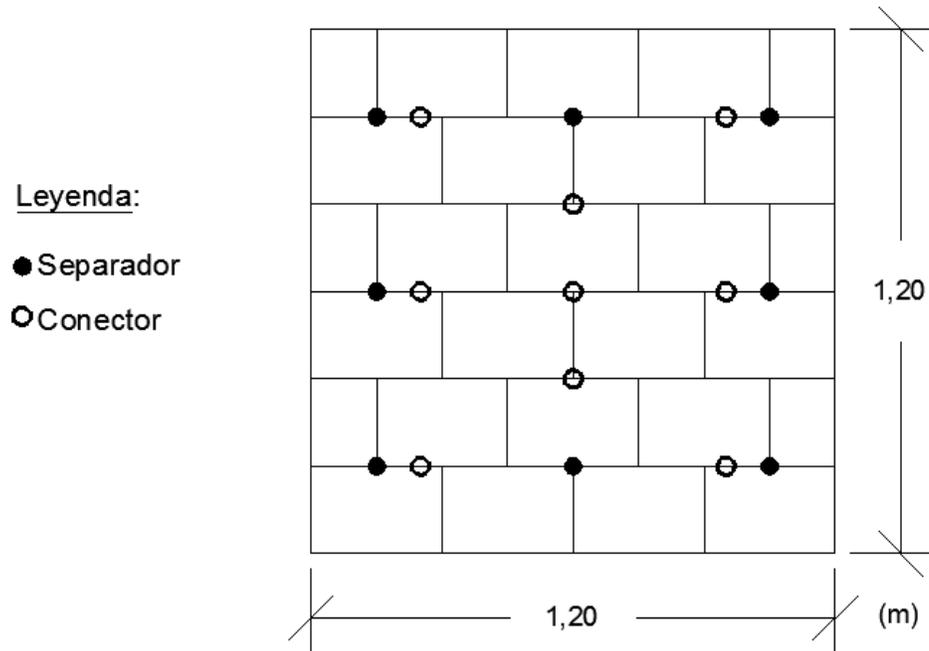


FIG. 3.12. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LOS DISPOSITIVOS  
PARA LA COLOCACIÓN DE MALLAS EN MURETE

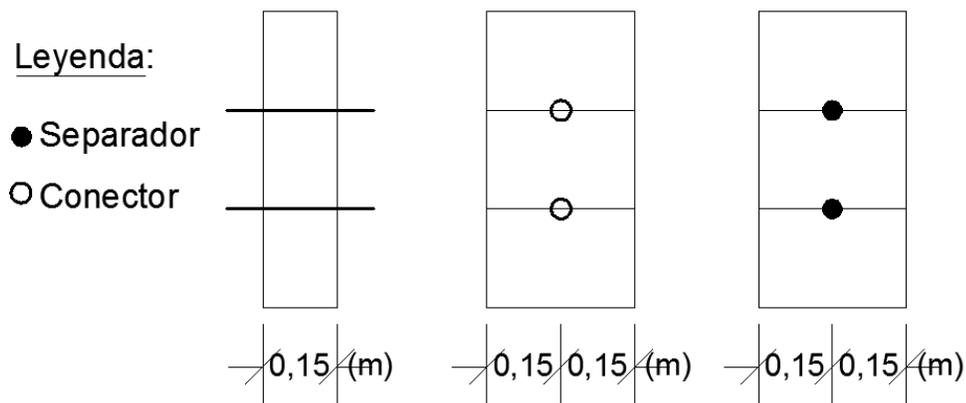


FIG. 3.13. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES PARA LA COLOCACIÓN DE MALLAS EN PILA (VISTA DE SECCIÓN TRANSVERSAL Y FRONTAL).

### III.3. NOMENCLATURA DE ESPECÍMENES Y DEMÁS ELEMENTOS ENSAYADOS

La nomenclatura establecida para sistematizar los resultados estuvo compuesta por letras y números, que hacía referencia al tipo de espécimen y al número del mismo. Esto permitió también diferenciarlos en los ensayos.

#### III.3.1. Bloques

Los bloques de arcilla se identificaron con las letras “BA”, haciendo referencia a sus iniciales, seguido de un número que representa el número del espécimen. Una vez identificados, con una cinta métrica se midió el largo, ancho y alto de cada bloque; por otro lado, con un vernier de apreciación de 0,05 mm se midieron los tabiques interiores y exteriores de los mismos. Luego, se pesaron en la balanza electrónica de apreciación de 0,001 kgf del IMME.

Se le determinó el área nominal perpendicular a la aplicación de la carga para calcular la resistencia a la compresión. Esta área viene dada por la multiplicación del ancho y el largo nominal; es decir, 30 cm x 15 cm = 450 cm<sup>2</sup>.

### **III.3.2. Pilas y muretes**

Las pilas y los muretes, se identificaron con una nomenclatura similar a la de los bloques; es decir, se utilizó “PA” y “MA”, haciendo referencia a pilas y a muretes hechos con bloques de arcilla; seguidamente, se colocaron las iniciales correspondientes al tipo de refuerzo del espécimen acompañadas de un número, para ello se usaron las siguientes: “SR” (sin refuerzo), “RA” (refuerzo con malla de acero), “RP” (refuerzo con malla plástica) y “RF” (refuerzo con fibra de polipropileno).

Después de identificar las pilas y los muretes, con una cinta métrica se midieron sus dimensiones de largo, alto y ancho.

### **III.4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS ESPECIMENES**

Siendo la resistencia a la compresión simple y resistencia al corte las propiedades mecánicas más importantes en la mampostería, se realizaron dos ensayos que permitieron cuantificar las mismas. Estos ensayos son: compresión simple a bloques, pilas y a probetas de mortero, y compresión diagonal a los muretes.

Los ensayos se realizaron en dos de las prensas Baldwin, marca Universal, ubicadas en la planta baja de la Nave de Ensayos Físicos del IMME.

#### **III.4.1. Preparación de los especímenes para ser ensayados**

Antes de llevar a cabo los ensayos de compresión simple a los bloques y a las pilas, fue necesario realizar el “capping” a estos especímenes, con la finalidad de asegurar un contacto uniforme al momento de aplicar la carga con la Prensa Baldwin.

Para realizar el “capping”, se realizó una mezcla de yeso en polvo con agua, hasta que la misma alcanzara una consistencia líquida manejable; luego, se dispuso sobre una mesa previamente aceitada una porción de la mezcla, de manera que, se pudiera colocar el espécimen sobre ella; después, se nivelaron las caras del espécimen con un nivel de burbujas. Una vez terminado este proceso, se dejó fraguar el “capping” del espécimen durante un lapso de 24 horas, transcurrido este tiempo se volteó y se le efectuó a la otra cara del espécimen el mismo procedimiento descrito anteriormente (ver Apéndice A, Figura A.3).

### **III.4.2. Ensayo de compresión simple**

En este ensayo se le aplicó una carga al espécimen, a una determinada velocidad constante hasta llegar a la rotura. Una vez obtenida la carga de rotura, se calculó la resistencia a compresión de los especímenes ensayados. Los ensayos se efectuaron a los 28 días de haberse construido los mismos.

#### **III.4.2.1. Bloques y pilas**

Para la realización de los ensayos de estos especímenes; se utilizó la Prensa Baldwin, con una capacidad de 200 Ton, fijándose en ella la escala media (carga máxima 50000 kgf/min) y una velocidad de carga de 4000 kgf/min. A dicha prensa se adaptó una plancha rígida rectangular.

Después de transportar y colocar el espécimen sobre la plataforma de la prensa, se le aplicó una precarga de 200 kgf, con el objeto de garantizar el contacto de la plancha con la superficie del espécimen; luego, con la velocidad constante definida anteriormente, se le aplicó carga al espécimen hasta que el mismo llegara a la rotura.

Los ensayos de las pilas, al igual que el cálculo de su resistencia a compresión, se realizaron de acuerdo a lo expuesto en la Norma mexicana *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería* (2004). En el caso de las pilas, para calcular la resistencia a

compresión, se registró la carga máxima admitida por cada espécimen, y se dividió entre el área de aplicación de la misma (área bruta), es decir, Largo x Ancho (ver Capítulo IV, punto IV.1.5); donde el ancho corresponde al espesor del bloque más el friso, medido sobre cada espécimen.

Los ensayos de los bloques de arcilla, se realizaron con base a lo establecido en la Norma venezolana COVENIN 23-60: *“Productos de Arcilla. Método de Ensayo”*.

#### **III.4.2.2. Probetas cúbicas**

Para ensayar las probetas cúbicas, se utilizó la Prensa Baldwin, con una capacidad de 30 Ton, fijándose en ella la escala media (carga máxima de 12000 kgf/min) y una velocidad de carga de 1000 kgf/min. A esta prensa se le adaptó una plancha rígida circular.

Luego de colocar el espécimen sobre la plataforma de la prensa, se le aplicó una precarga de 100 kgf, para garantizar el contacto de la plancha con la superficie de la probeta; por último, con la velocidad constante definida anteriormente, se le aplicó carga al espécimen hasta que el mismo llegara a la rotura.

Estos ensayos se realizaron siguiendo las especificaciones de la Norma venezolana COVENIN 484-93: *“Cemento Portland. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero en probetas cúbicas de 50,8 mm de lado”*.

#### **III.4.3. Ensayo de compresión diagonal a muretes**

Este ensayo consistió en aplicar carga a una determinada velocidad constante a lo largo de la diagonal del espécimen hasta llegar a la rotura. La finalidad de este ensayo está en obtener la carga máxima, para así calcular la resistencia al corte de los especímenes estudiados. El transporte de los muretes

desde el lugar de construcción (Nave de Ensayos Especiales del IMME) al lugar de ensayo (Nave de Ensayos Físicos del IMME), se realizó con una camioneta “Pick Up” y se levantaron con la ayuda de las grúas a los 28 días de haberse construido los especímenes (ver Apéndice A, Figura A.34).

Se utilizó la prensa Baldwin con una capacidad de 200 Ton y una velocidad de carga de 4500 kgf/min. A la prensa se le adaptó una plancha rígida rectangular, a la cual se le colocó un ángulo metálico de 90°, donde se apoyaron los extremos (esquinas) de las diagonales de los muretes.

Con los muretes dispuestos en la Nave de Ensayos Físicos del IMME, se trasladaron con la grúa a la balanza mecánica de apreciación 0,1 kgf (Romana portátil de plataforma), para ser pesados. Seguidamente, se apoyó el murete amarrándolo en el ángulo metálico de 90° y con la ayuda de la grúa se levantó para llevarlo a la plataforma de la prensa de ensayo (ver Apéndice A, Figura A.36).

Después de ubicar el murete sobre la plataforma de la prensa, se procedió a centrarlo, y a realizar la mezcla del “capping” colocado entre el ángulo y el murete, dicha mezcla se hizo de forma similar a la utilizada para el ensayo de las pilas y los bloques. Este “capping” se envolvió en papel periódico y sirvió como apoyo, con el objetivo de que la carga aplicada se distribuyera de manera uniforme en la superficie de contacto. Mientras se colocaba el “capping”, con la ayuda de un nivel de burbujas se niveló el espécimen verticalmente. Se debe resaltar que se realizó un amarre de seguridad, como se muestra en la Figura 3.14, esto con la finalidad de evitar el desplome y la caída del murete, al momento de producirse la falla.

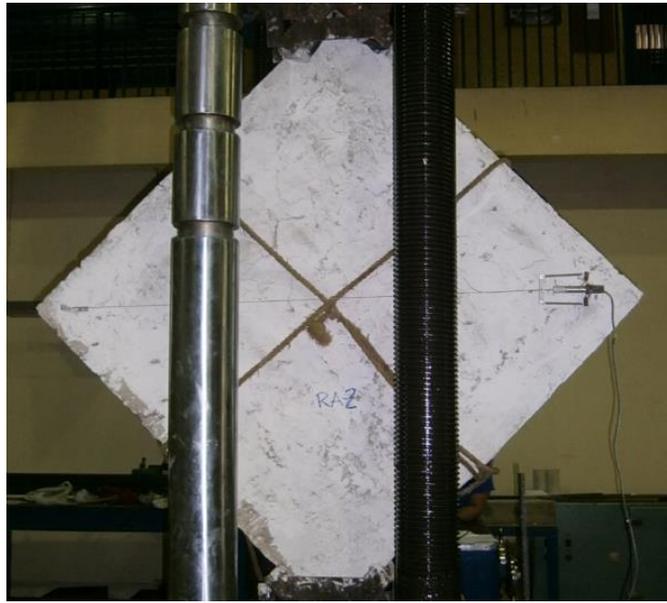


FIG. 3.14. AMARRE DE SEGURIDAD EN MURETE ENSAYADO A COMPRESIÓN DIAGONAL

Seguidamente, se llevó a cabo el ensayo del espécimen, donde inicialmente se le aplicó una precarga de 200 kgf, para asegurar el contacto de los ángulos con el “capping” del murete. Por último, se procedió a aplicarle carga a la velocidad constante establecida anteriormente, hasta que el murete llegara a la rotura.

Es importante resaltar, que los ensayos de los muretes, al igual que el cálculo de la resistencia a corte, se realizaron de acuerdo a lo expuesto en la Norma mexicana *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería* (2004). De acuerdo a esto, para calcular la resistencia al corte de los muretes, se registró la carga máxima admitida por cada espécimen y se dividió entre el área de aplicación de la misma (área bruta de la diagonal), en este caso Diagonal x Ancho (ver punto IV.1.6); donde el ancho corresponde al espesor del bloque más el friso, medido sobre cada espécimen.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados conseguidos de los ensayos mencionados en el *Capítulo III: Marco Metodológico*, y el análisis de los resultados obtenidos en cada uno de estos. Se muestran tablas y gráficos donde se visualizan los resultados directos de los ensayos, tales como cargas y dimensiones medidas; resultados indirectos tales como resistencias, medidas de dispersión estadística; y otros datos de interés como valores normados para comparar, entre otros dependiendo del material ensayado y el objetivo del ensayo. El Capítulo se presenta en dos partes:

- Caracterización de los materiales, donde se presenta lo concerniente a la revisión de las características y propiedades de los materiales usados para la construcción de pilas y muretes.
- Resultados de ensayo de pilas y muretes, en este punto se resume los resultados de ensayar las pilas a compresión simple y los muretes a compresión diagonal, a partir de los cuales surgen las conclusiones determinantes de esta investigación.

#### **IV.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Bajo este título se presentan los resultados de caracterizar la arena utilizada, el mortero, las unidades de mampostería (bloques) y refuerzo utilizado en los muretes. Parte de los resultados son comparados con los valores establecidos en normas y códigos internacionales.

##### **IV.1.1. Granulometría de las arenas**

Los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico de las dos muestras de arena se presentan en la Tabla 4.1. Dicha tabla presenta el número del tamiz,

el peso retenido en cada uno, el porcentaje retenido y finalmente el porcentaje pasante que es uno de los parámetros normados.

**Tabla 4.1. Resultado del análisis granulométrico de las dos muestras de arena**

| Tamiz        | MUESTRA N°1        |            |              | MUESTRA N°2        |            |           |
|--------------|--------------------|------------|--------------|--------------------|------------|-----------|
|              | Peso retenido (gf) | % Retenido | % Pasante    | Peso retenido (gf) | % Retenido | % Pasante |
| N° 4         | 64                 | 13         | <b>87</b>    | 62                 | 12         | <b>88</b> |
| N° 8         | 68                 | 14         | <b>73</b>    | 71                 | 14         | <b>74</b> |
| N° 16        | 72                 | 14         | <b>59</b>    | 67                 | 13         | <b>61</b> |
| N° 30        | 61                 | 12         | <b>47</b>    | 59                 | 12         | <b>49</b> |
| N° 50        | 65                 | 13         | <b>34</b>    | 68                 | 13         | <b>36</b> |
| N° 100       | 78                 | 16         | <b>18</b>    | 63                 | 12         | <b>24</b> |
| N° 200       | 80                 | 16         | <b>2</b>     | 71                 | 14         | <b>10</b> |
| <b>Fondo</b> | 9                  |            | <b>Fondo</b> | 49                 |            |           |
| <b>Total</b> | 497                |            | <b>Total</b> | 510                |            |           |

La comparación del porcentaje pasante en cada tamiz con los máximos y mínimos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 2240: “*Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería*” se resume en la Tabla 4.2 para la Muestra N°1 y en la Tabla 4.3 para la Muestra N° 2.

**Tabla 4.2. Comparación de los resultados de la granulometría de la Muestra N°1 con los valores normados en la NTC 2240**

| Tamiz  | % Retenido en dos tamices consecutivos | % Pasante | NTC 2240 |        |
|--------|--|-----------|----------|--------|
|        |  |           | Máximo   | Mínimo |
| N° 4   | -                                      | <b>87</b> | 100      |        |
| N° 8   | 27                                     | <b>73</b> | 100      | 95     |
| N° 16  | 28                                     | <b>59</b> | 100      | 70     |
| N° 30  | 27                                     | 47        | 75       | 40     |
| N° 50  | 25                                     | 34        | 40       | 20     |
| N° 100 | <b>29</b>                              | 18        | 25       | 10     |
| N° 200 | 32                                     | 2         | 10       | 0      |

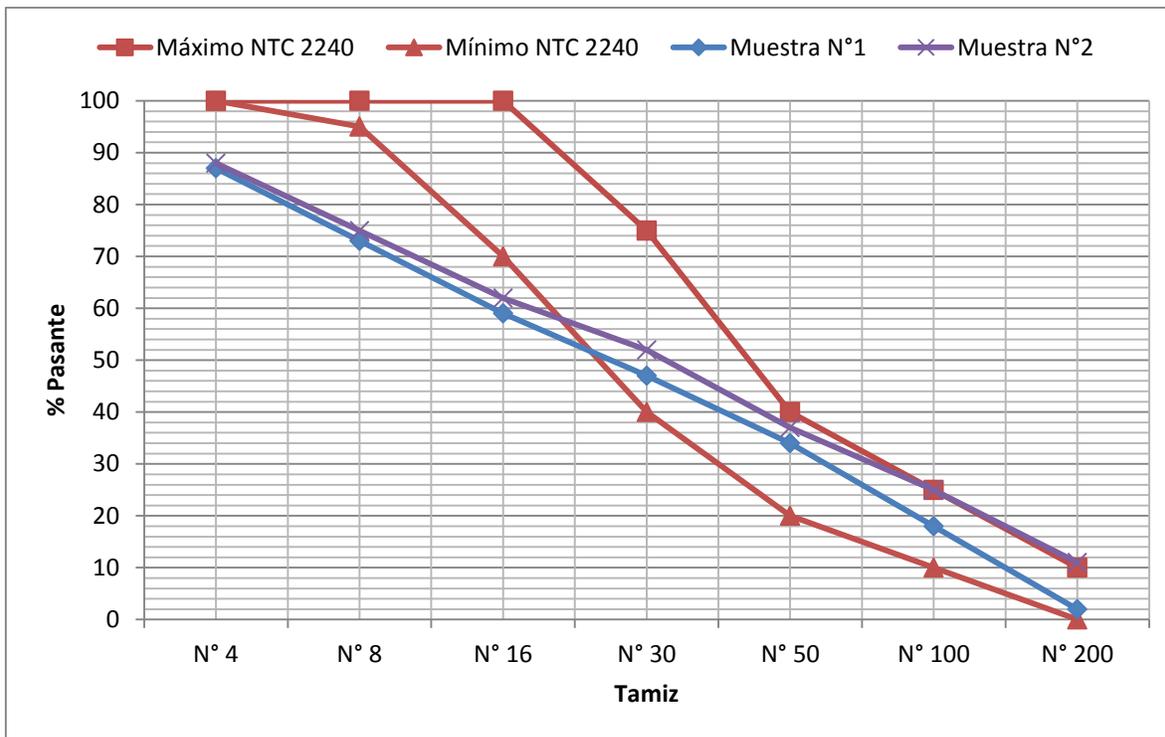
**Tabla 4.3. Comparación de los resultados de la granulometría de la Muestra N°2 con los valores normados en la NTC 2240**

| Tamiz  | % Retenido en dos tamices consecutivos | % Pasante | NTC 2240 |        |
|--------|--|-----------|----------|--------|
|        |  |           | Máximo   | Mínimo |
| N° 4   | -                                      | <b>88</b> | 100      |        |
| N° 8   | 26                                     | <b>74</b> | 100      | 95     |
| N° 16  | 27                                     | <b>61</b> | 100      | 70     |
| N° 30  | 25                                     | 49        | 75       | 40     |
| N° 50  | 25                                     | 36        | 40       | 20     |
| N° 100 | <b>26</b>                              | 24        | 25       | 10     |
| N° 200 | 26                                     | 10        | 10       | 0      |

Obsérvese que los valores mínimos de la NTC 2240 de porcentaje pasante en los tamices más gruesos (N°4, N°8 y N°16) se incumplen en ambas muestras. Claramente la norma colombiana exige un agregado con menos proporción de gruesos que la arena muestreada, usada en este trabajo.

Otro parámetro a evaluar es el porcentaje retenido en dos tamices consecutivos. En ambas muestras se mantiene por debajo del límite establecido, 50%. Sin embargo, entre el tamiz N°50 y N°100, la norma es más exigente limitando a un máximo de 25%, valor que en ambas muestra se supera por poco, 29% para la Muestra N°1 y 26% para la muestra N°2.

Para representar gráficamente la distribución granulométrica de la arena utilizada y su relación con respecto a los valores máximos y mínimos de porcentaje pasante establecidos en las norma de referencia se presenta la Gráfica 4.1.



Gráfica 4.1. Comparación de las muestras con límites granulométricos de la NTC 2240

#### IV.1.2. Características de los bloques

Se expone a continuación la revisión del cumplimiento de los criterios establecidos en la normativa venezolana referente a bloques de arcilla, Norma COVENIN 2-78: *“Bloques de arcilla para paredes. Especificaciones”*, que reglamenta las dimensiones del bloque y la resistencia a compresión. También se presenta el peso de los especímenes para constatar la regularidad del material con que fueron elaborados los bloques.

##### IV.1.2.1. Dimensiones y peso

En la Tabla 4.4 se especifica el ancho, largo, alto, el espesor de los tabiques exteriores e interiores, y peso de cada bloque.

**Tabla 4.4. Dimensiones y peso de bloques**

| Especimen | Dimensiones |            |           |                       |                       | Peso (kgf) |
|-----------|-------------|------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) | Tabique Exterior (cm) | Tabique Interior (cm) |            |
| BA - 1    | 15,30       | 30,80      | 20,00     | 0,963                 | 0,767                 | 5,405      |
| BA - 2    | 15,40       | 30,80      | 19,90     | 1,067                 | 0,817                 | 5,389      |
| BA - 3    | 15,20       | 30,60      | 19,90     | 0,873                 | 0,757                 | 5,315      |
| BA - 4    | 15,30       | 31,00      | 19,80     | 0,943                 | 0,707                 | 5,325      |
| BA - 5    | 15,10       | 30,60      | 19,90     | 0,903                 | 0,750                 | 5,308      |

La Norma COVENIN 2-78: “*Bloques de arcilla para paredes. Especificaciones*” establece que el espesor mínimo de los tabiques exteriores debe ser de 0,8 cm y el de los tabiques interiores debe ser de 0,6 cm. Así, como establece tolerancias para las dimensiones nominales de 3% para el alto y ancho y 4% para el largo. El bloque en cuestión de dimensiones nominales 15x20x30 cm tiene tolerancias expresadas en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5. Rango de tolerancia de dimensiones nominales de los bloques según la Norma COVENIN 2-78**

|                   | Dimensión nominal | Rango de tolerancias |        |
|-------------------|-------------------|----------------------|--------|
|                   |                   | Máximo               | Mínimo |
| <b>Alto (cm)</b>  | 20                | 20,6                 | 19,4   |
| <b>Ancho (cm)</b> | 15                | 15,5                 | 14,6   |
| <b>Largo (cm)</b> | 30                | 31,2                 | 28,8   |

Obsérvese en la Tabla 4.4 que para los cinco especímenes tomados como muestra se cumple el espesor de los tabiques y las dimensiones reales del bloque se encuentran dentro del rango de tolerancia. De la misma tabla se deriva que la variación de pesos es despreciable, cuantitativamente se evidencia un coeficiente de variación de 0,84%.

#### IV.1.2.2. Resistencia a la compresión

A partir de la carga registrada del ensayo de compresión simple y del área nominal ( $30 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^2$ ), se obtuvo la resistencia a compresión de cada bloque, presentada en la Tabla 4.6, donde también se presentan los valores estadísticos de resistencia promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

Tabla 4.6. Resistencia a la compresión simple de los bloques

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>p</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| BA - 1    | 9.300*             | 13.117                      | -   | 29,15                                 | 0,53                     | 1,80   |
| BA - 2    | 13.200             |                             | 29,33   |                                       |                          |        |
| BA - 3    | 12.850             |                             | 28,56   |                                       |                          |        |
| BA - 4    | 13.300             |                             | 29,56   |                                       |                          |        |
| BA - 5    | 7.050*             |                             | -   |                                       |                          |        |

Para el cálculo de los valores mencionados anteriormente, no se consideraron los especímenes BA-1 y BA-5, ya que fallaron con cargas significativamente inferiores en comparación con el resto de los bloques, representando estas cargas el 69,92% y el 53,01%, respectivamente, del valor de la carga mayor resistida, correspondiente al espécimen BA-4.

Todos los especímenes de bloques de arcilla cumplen con el requisito mínimo de Bloques Tipo B determinados en la Norma COVENIN 2-78. Siendo la resistencia a compresión de cada bloque mayor a  $15 \text{ kgf/cm}^2$  y el promedio de la muestra (f<sub>p</sub>), mayor a  $20 \text{ kgf/cm}^2$ .

Además se observó durante el ensayo que los cinco bloques fallaron de forma repentina, representando un comportamiento frágil, fallando principalmente en los tabiques verticales del espécimen. Las fallas típicas de los bloques se pueden observar en las Figuras 4.1 y 4.2.



FIG. 4.1. BA-2 LUEGO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE



FIG. 4.2. BA-3 LUEGO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

### IV.1.3. Características de las probetas de mortero

En lo siguiente se presenta las dimensiones y peso de las probetas cúbicas de mortero y los resultados del ensayo a compresión de estas.

#### IV.1.3.1. Dimensiones y peso

En la Tabla 4.7 se especifica las dimensiones, el área de aplicación de la carga necesaria para calcular la resistencia a la compresión, el peso, y en la última columna el uso del mortero correspondiente a la muestra.

**Tabla 4.7. Especificaciones de las probetas cúbicas de mortero ensayadas**

| Probeta | Lado 1 (cm) | Lado 2 (cm) | Lado 3 (cm) | Área (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Observación                  |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------------------|------------|------------------------------|
| M1-1    | 4,97        | 5,03        | 4,99        | 25,00                   | 0,255      | Mortero en juntas            |
| M1-2    | 4,84        | 5,03        | 5,05        | 24,35                   | 0,255      |                              |
| M1-3    | 5,01        | 5,04        | 5,14        | 25,25                   | 0,257      |                              |
| M2-1    | 4,97        | 5,02        | 5,02        | 24,95                   | 0,254      | Mortero para friso           |
| M2-2    | 4,99        | 5,03        | 4,96        | 25,10                   | 0,255      |                              |
| M2-3    | 5,04        | 4,97        | 5,02        | 25,05                   | 0,254      |                              |
| M3-1    | 4,96        | 5,02        | 5,17        | 24,90                   | 0,266      | Mortero para friso           |
| M3-2    | 5,06        | 4,93        | 5,13        | 24,95                   | 0,265      |                              |
| M3-3    | 4,99        | 5,08        | 5,13        | 25,35                   | 0,267      |                              |
| M4-1    | 4,94        | 5,17        | 5,07        | 25,81*                  | 0,253      | Mortero con fibra para friso |
| M4-2    | 4,96        | 5,25        | 5,07        | 25,81*                  | 0,253      |                              |
| M4-3    | 4,97        | 5,20        | 5,06        | 25,81*                  | 0,246      |                              |
| M5-1    | 5,00        | 5,29        | 5,05        | 26,45                   | 0,260      | Mortero con fibra para friso |
| M5-2    | 4,98        | 5,31        | 5,03        | 26,44                   | 0,259      |                              |
| M5-3    | 5,04        | 5,25        | 5,06        | 26,46                   | 0,258      |                              |

\*Valor ajustado de acuerdo a la Norma COVENIN 484-93, punto 8.2

Las muestras M1, M2, M3 representan el mortero empleado para juntas y friso de los muretes reforzados con mallas; y las muestras M4 y M5 representan el mortero con fibra de polipropileno incorporado.

#### **IV.1.3.2. Resistencia a la compresión**

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo III, punto III.4.2.2. A continuación se presenta descripción de las fallas observadas, la resistencia a compresión resultante para cada probeta, dimensiones, los parámetros de variación estadística y finalmente el análisis de estos resultados.

Se repitió en todas las probetas la presencia de fallas por tracción indirecta como consecuencia de la carga aplicada con la prensa hidráulica, ocasionando la aparición de grietas verticales y la típica falla en forma de cono. Obsérvese las Figuras 4.3 y 4.4.



FIG.4.3. PROBETA CÚBICA M4-1 LUEGO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE



FIG. 4.4. PROBETA CÚBICA M5-3 LUEGO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE

Tabla 4.8. Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cúbicas de mortero

| Probeta | Carga Máxima (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>c</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|---------|--------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| M1-1    | 1.540              | 61,60   | 59,78                                 | 1,67                     | 2,79   |
| M1-2    | 1.420              | 58,33   |                                       |                          |        |
| M1-3    | 1.500              | 59,40   |                                       |                          |        |
| M2-1    | 1.890              | 75,75   | 75,37                                 | 0,36                     | 0,47   |
| M2-2    | 1.890              | 75,30   |                                       |                          |        |
| M2-3    | 1.880              | 75,05   |                                       |                          |        |
| M3-1    | 1.200              | 48,19   | 49,73                                 | 1,39                     | 2,79   |
| M3-2    | 1.250              | 50,11   |                                       |                          |        |
| M3-3    | 1.290              | 50,89   |                                       |                          |        |
| M4-1    | 1.710              | 66,25   | 66,38                                 | 2,13                     | 3,21   |
| M4-2    | 1.770              | 68,58   |                                       |                          |        |
| M4-3    | 1.660              | 64,32   |                                       |                          |        |
| M5-1    | 1.730              | 65,41   | 65,77                                 | 0,52                     | 0,79   |
| M5-2    | 1.440              | 54,46*  |                                       |                          |        |
| M5-3    | 1.750              | 66,14   |                                       |                          |        |

\*Valor no válido para el cálculo de f<sub>c</sub>, de acuerdo a la Norma COVENIN 484-93, punto 8.3

Las muestras del mortero empleado en juntas y friso sin fibra agregada presentan una resistencia promedio de 61,63 kgf/cm<sup>2</sup> con un Cv=20,96%, mostrándose en estos resultados una dispersión importante. Mientras, en las muestras del mortero con fibra se presenta resistencia de 66,08 kgf/cm<sup>2</sup> con un

$C_v=0,65\%$ . Se aprecia un incremento de 7,22% del mortero con fibra de polipropileno con respecto al mortero sin fibra agregada.

#### IV.1.4. Características de las mallas utilizadas como refuerzo

Del ensayo a tracción realizado a probetas de malla tipo gallinero y malla plástica, y de la medición del ancho de los alambres que la conforman se presentan los siguientes resultados.

En la Tabla 4.9 se especifica las dimensiones de las probetas ensayadas (ancho y altura), y el diámetro del alambre correspondiente a cada tipo de malla.

**Tabla 4.9. Dimensiones de las mallas de refuerzo ensayadas**

| <b>Probeta</b> | <b>Ancho (mm)</b> | <b>Altura (mm)</b> | <b>Diámetro alambre (mm)</b> |
|----------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| MG-1           | 200               | 250                | 1,15                         |
| MG-2           | 200               | 250                |                              |
| MG-3           | 200               | 250                |                              |
| MP-1           | 200               | 250                | 3,00                         |
| MP-2           | 200               | 250                |                              |
| MP-3           | 200               | 250                |                              |

En la Tabla 4.9 “MG” corresponde a las probetas de malla de acero tipo gallinero, y “MP” a las probetas de malla plástica.

A continuación, en la Tabla 4.10, se presentan los resultados del ensayo a tracción: carga máxima resultante para cada probeta, parámetros de variación estadística, y seguidamente se describen las fallas observadas y el análisis de estos resultados.

**Tabla 4.10. Resultados ensayo a tracción realizado a las mallas de refuerzo**

| <b>Probeta</b> | <b>Carga Máxima (kgf)</b> | <b>Carga Máxima Promedio (kgf)</b> | <b>S (kgf)</b> | <b>Cv (%)</b> |
|----------------|---------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|
| MG-1           | 70                        | 67                                 | 5,77           | 8,66          |
| MG-2           | 60                        |                                    |                |               |
| MG-3           | 70                        |                                    |                |               |
| MP-1           | 60                        | 70                                 | 10,00          | 14,29         |
| MP-2           | 80                        |                                    |                |               |
| MP-3           | 70                        |                                    |                |               |

En las probetas de malla de acero tipo gallinero, se observó la rotura de los alambres ubicados en la zona central de la probeta para los tres especímenes ensayados. Ver Figura 4.5. En los especímenes de malla plástica no se evidenció la rotura de los alambres, ya que el desplazamiento del pistón de la prensa llegó a su límite antes de llegar a la rotura, esto evidencia gran ductilidad de la malla. Se puede observar el estiramiento de filamentos, sobre todo los cercanos a las placas de sujeción, en la Figura 4.6.



FIG. 4.5. ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETA DE MALLA DE ACERO TIPO GALLINERO



FIG. 4.6. ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETA DE MALLA PLÁSTICA

#### IV.1.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS

A continuación se especifica el ancho, largo, alto, área perpendicular a la aplicación de la carga, peso, y el peso por metro cuadrado de cada espécimen para verificar regularidad de los materiales utilizados en su construcción. Todo esto en Tablas 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 para pilas sin refuerzo, reforzadas con malla gallinero, reforzadas con malla plástica y reforzadas con fibra de polipropileno, en el mismo orden que se mencionan.

**Tabla 4.11. Características de las pilas sin refuerzo**

| Especimen | Dimensiones |            |           | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) |                               |            |   |  |
| PA-SR-1   | 20,20       | 31,80      | 63,90     | 642,36                        | 34,45      | 169,54                                    | 170,47   |
| PA-SR-2   | 19,00       | 31,00      | 64,80     | 589,00                        | 34,15      | 170,00                                    |  |
| PA-SR-3   | 20,00       | 31,20      | 64,80     | 624,00                        | 34,75      | 171,88                                    |  |

**Tabla 4.12. Características de las pilas reforzadas con malla de acero (gallinero)**

| Especimen | Dimensiones |            |           | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) |                               |            |   |  |
| PA-RA-1   | 20,00       | 31,50      | 64,80     | 630,00                        | 35,40      | 173,43                                    | 172,93   |
| PA-RA-2   | 19,50       | 31,80      | 64,60     | 620,10                        | 34,45      | 167,70                                    |  |
| PA-RA-3   | 19,30       | 30,40      | 64,80     | 586,72                        | 35,00      | 177,67                                    |  |

**Tabla 4.13. Características de las pilas reforzadas con malla plástica**

| Especimen | Dimensiones |            |           | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) |                               |            |   |  |
| PA-RP-1   | 19,90       | 31,30      | 62,70     | 622,87                        | 33,80      | 172,23                                    | 173,54   |
| PA-RP-2   | 20,00       | 31,00      | 64,50     | 620,00                        | 35,00      | 175,04                                    |  |
| PA-RP-3   | 19,90       | 31,00      | 65,50     | 616,90                        | 35,20      | 173,36                                    |  |

**Tabla 4.14. Características de las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso**

| Especimen | Dimensiones |            |           | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) |                               |            |   |  |
| PA-RF-1   | 19,40       | 30,60      | 64,00     | 593,64                        | 32,10      | 163,91                                    | 168,56   |
| PA-RF-2   | 19,80       | 31,50      | 64,40     | 623,70                        | 33,95      | 167,36                                    |  |
| PA-RF-3   | 20,50       | 30,90      | 64,20     | 633,45                        | 34,60      | 174,41                                    |  |

#### IV.1.6. CARACTERÍSTICAS DE LOS MURETES

Las características de los muretes ensayados se muestran en las Tablas 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18. En estas se especifica el ancho, largo, alto, longitud diagonal y peso de cada espécimen; así como medidas indirectas: área bruta (longitud diagonal por ancho), necesaria para determinar la resistencia al corte, y peso por metro cuadrado.

**Tabla 4.15. Características de los muretes sin refuerzo**

| Espécimen | Dimensiones |            |           |               | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) | Diagonal (cm) |                               |            |   |  |
| MA-SR-1   | 19,60       | 127,20     | 128,30    | 180,67        | 3541,08                       | 278,60     | 170,71                                    | 169,83   |
| MA-SR-2   | 19,50       | 127,30     | 126,60    | 179,54        | 3500,93                       | 267,50     | 165,98                                    |  |
| MA-SR-3   | 19,40       | 127,00     | 126,90    | 179,53        | 3482,97                       | 278,50     | 172,81                                    |  |

**Tabla 4.16. Características de los muretes reforzados con malla de acero (gallinero)**

| Espécimen | Dimensiones |            |           |               | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) | Diagonal (cm) |                               |            |   |  |
| MA-RA-1   | 19,80       | 126,60     | 129,10    | 180,82        | 3580,15                       | 284,00     | 173,76                                    | 172,87   |
| MA-RA-2   | 19,50       | 125,70     | 128,50    | 179,76        | 3505,27                       | 280,40     | 173,60                                    |  |
| MA-RA-3   | 19,00       | 127,20     | 129,00    | 181,17        | 3442,14                       | 281,00     | 171,25                                    |  |

**Tabla 4.17. Características de los muretes reforzados con malla plástica**

| Espécimen | Dimensiones |            |           |               | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) | Diagonal (cm) |                               |            |   |  |
| MA-RP-1   | 19,50       | 126,50     | 128,80    | 180,53        | 3520,37                       | 277,10     | 170,07                                    | 168,60   |
| MA-RP-2   | 19,00       | 125,80     | 128,50    | 179,83        | 3416,72                       | 259,60     | 160,59                                    |  |
| MA-RP-3   | 19,00       | 126,20     | 128,50    | 180,11        | 3422,04                       | 284,00     | 175,13                                    |  |

**Tabla 4.18. Características de los muretes reforzados con fibra de polipropileno en el friso**

| Especímen | Dimensiones |            |           |               | Área bruta (cm <sup>2</sup> ) | Peso (kgf) | Peso/m <sup>2</sup> (kgf/m <sup>2</sup> ) | Peso/m <sup>2</sup> promedio (kgf/m <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|------------|-----------|---------------|-------------------------------|------------|---|--|
|           | Ancho (cm)  | Largo (cm) | Alto (cm) | Diagonal (cm) |                               |            |   |  |
| MA-RF-1   | 19,30       | 126,00     | 127,00    | 178,90        | 3452,76                       | 283,00     | 176,85                                    | 176,64   |
| MA-RF-2   | 19,00       | 126,00     | 126,50    | 178,54        | 3392,35                       | 286,50     | 179,75                                    |  |
| MA-RF-3   | 19,30       | 126,70     | 127,50    | 179,75        | 3469,13                       | 280,00     | 173,33                                    |  |

## **IV.2. RESULTADOS DE ENSAYO DE PILAS Y MURETES**

Se presentan las fallas resultantes de los ensayos, los valores de las cargas máximas alcanzadas, medidas de dispersión, imágenes y análisis de esto para los ensayos de pilas a compresión simple y de muretes a compresión diagonal.

### **IV.2.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE A PILAS**

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento descrito en el Capítulo III, punto III.4.2.1. A continuación se muestran los resultados y análisis obtenidos a través del mismo, y la descripción de las fallas observadas.

#### **IV.2.1.1. Fallas observadas en los especímenes sin refuerzo**

En estas pilas se observó primero la falla de los tabiques verticales internos de los bloques, seguido de la separación del friso de la superficie de los bloques, finalizando con la aparición de grietas horizontales a lo largo de las caras frontales de la pila. Véase las Figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12.



FIG. 4.7. PA-SR-1 VISTA LATERAL



FIG. 4.8. PA-SR-1 EN VISTA FRONTAL



FIG. 4.9. PA-SR-2 EN VISTA LATERAL



FIG. 4.10. PA-SR-2 EN VISTA FRONTAL



FIG. 4.11. PA-SR-3 EN VISTA LATERAL



FIG. 4.12. PA-SR-3 EN VISTA FRONTAL

#### IV.2.1.2. Fallas observadas en los especímenes reforzados

Se hizo evidente la diferencia entre la respuesta de los especímenes reforzados con mallas y los no reforzados, en tanto que el friso de las pilas reforzadas no se desprendió de las caras de las pilas, retardando la falla del espécimen. En la Figura 4.15 se observa que la pila PA-RA-2 conservó el friso mientras uno de sus bloques falló en todos sus tabiques internos.

Vale destacar que el pandeo en las pilas reforzadas con mallas fue una constante, a diferencia de las pilas sin refuerzo y las pilas reforzadas con fibra. Véase desde la Figura 4.13 a la 4.29.



FIG. 4.13. PA-RA-1: VISTA LATERAL



FIG. 4.14. PA-RA-1: VISTA FRONTAL



FIG. 4.15. PA-RA-2: VISTA LATERAL



Fig. 4.16. PA-RA-2: Vista frontal



FIG. 4.17. PA-RA-3: VISTA LATERAL



FIG. 4.18. PA-RA-3: VISTA FRONTAL



FIG. 4.19. PA-RP-1: VISTA LATERAL



FIG. 4.20. PA-RP-1: VISTA FRONTAL



FIG. 4.21. PA-RP-2: VISTA LATERAL



FIG. 4.22. PA-RP-2: VISTA FRONTAL



FIG. 4.23. PA-RP-3: VISTA LATERAL



FIG. 4.24. PA-RP-3: VISTA FRONTAL



FIG. 4.25. PA-RF-1: VISTA LATERAL



FIG. 4.26. PA-RF-2: VISTA LATERAL



FIG. 4.27. PA-RF-2: VISTA FRONTAL



FIG. 4.28. PA-RF-3: VISTA LATERAL



FIG. 4.29. PA-RF-3: VISTA FRONTAL

#### IV.2.1.3. Resistencia a compresión de las pilas

De la carga máxima leída en la prensa hidráulica y el área bruta de los especímenes presentadas en el punto IV.1.5, se tiene la resistencia a compresión dispuestas en las Tablas 4.19, 4.20, 4.21 y 4.22, así como la media aritmética ( $f_m$ ) para cada condición de ensayo, y sus respectivos coeficientes de dispersión.

Tabla 4.19. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas sin refuerzo

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $f_m$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|---|------------------------------|--------------------------|--------|
| PA-SR-1   | 8.800              | 8.983                       | 13,70   | 14,49                        | 2,75                     | 18,97  |
| PA-SR-2   | 7.200              |                             | 12,22   |                              |                          |        |
| PA-SR-3   | 10.950             |                             | 17,55   |                              |                          |        |

**Tabla 4.20. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con malla de acero (gallinero)**

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>m</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| PA-RA-1   | 6.800              | 7.417                       | 10,79   | 12,17                                 | 2,45                     | 20,11  |
| PA-RA-2   | 6.650              |                             | 10,72   |                                       |                          |        |
| PA-RA-3   | 8.800              |                             | 15,00   |                                       |                          |        |

**Tabla 4.21. Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con malla plástica**

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>m</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| PA-RP-1   | 12.000             | 10.300                      | 19,27   | 16,61                                 | 2,70                     | 16,24  |
| PA-RP-2   | 8.600              |                             | 13,87   |                                       |                          |        |
| PA-RP-3   | 10.300             |                             | 16,70   |                                       |                          |        |

**Tabla 4.22 Resultados ensayo de compresión simple realizado a las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso**

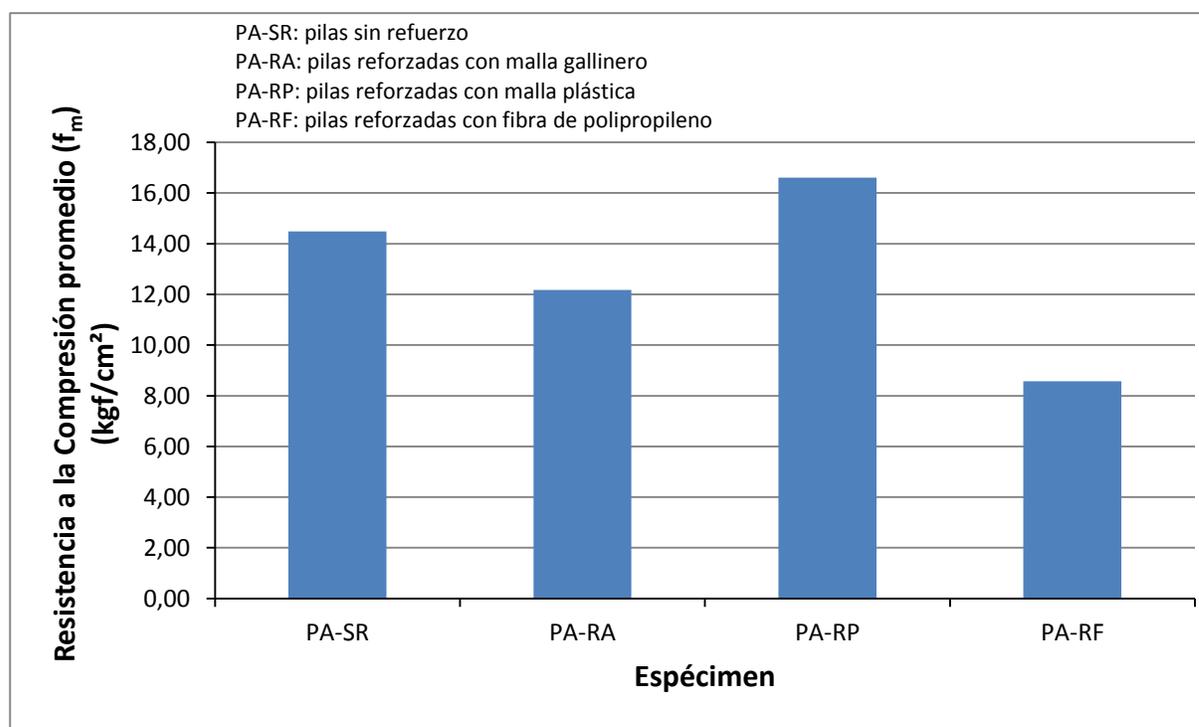
| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> ) | f <sub>m</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|--------|
| PA-RF-1   | 5.550              | 5.283                       | 9,35  | 8,57                                  | 1,53                     | 17,79  |
| PA-RF-2   | 4.250              |                             | 6,81  |                                       |                          |        |
| PA-RF-3   | 6.050              |                             | 9,55  |                                       |                          |        |

En la Tabla 4.19, referente a las pilas sin refuerzo, se puede apreciar una resistencia a la compresión promedio (f<sub>m</sub>) de 14,49 kgf/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación (Cv) de 18,97%; en la Tabla 4.20, se observa una resistencia a la compresión promedio (f<sub>m</sub>) de 12,17 kgf/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación (Cv) de 20,11%, para las pilas reforzadas con malla de acero; en cuanto a las pilas

reforzadas con malla plástica, en la Tabla 4.21 se aprecia una resistencia a la compresión promedio ( $f_m$ ) de 16,61 kgf/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación (Cv) de 16,24%; por último, en la Tabla 4.22, correspondiente a las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso, se observa una resistencia a la compresión promedio ( $f_m$ ) de 8,57 kgf/cm<sup>2</sup> con un coeficiente de variación (Cv) de 17,79%. Estos datos resumidos y las variaciones de resistencia se pueden ver en la Tabla 4.23 y gráficamente pueden verse las variaciones en la Gráfica 4.2.

**Tabla 4.23. Resumen de resistencia a compresión en pilas, dispersión e incrementos**

| Espécimen | $f_m$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv<br>(%) | Incremento de $f_m$ con respecto<br>a pilas sin refuerzo (%) |
|-----------|---------------------------------|-----------|--|
| PA-SR     | 14,5                            | 18,9      |  |
| PA-RA     | 12,2                            | 20,1      | -16%   |
| PA-RP     | 16,6                            | 16,2      | 15%  |
| PA-RF     | 8,6                             | 17,7      | -41%   |



**Gráfica 4.2. Resistencia a la compresión promedio de las pilas ensayadas**

Es evidente que las pilas reforzadas con fibra de polipropileno en el friso arrojaron en los ensayos la más baja resistencia a compresión, y las pilas reforzadas con malla plástica la mayor resistencia. Resulta curioso el hecho de que las pilas reforzadas con malla de acero tipo gallinero y las reforzada con fibra resistieron cargas menores que la pila sin ningún tipo de refuerzo. Este ensayo indica que el refuerzo no aporta resistencia fuera del plano de la carga, es decir el mortero con refuerzo no mejora la resistencia a tracción indirecta que se genera en la aplicación de la carga a compresión.

#### **IV.2.2. ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL A MURETES**

Siguiendo el procedimiento descrito en el Capítulo III, punto III.4.3, de los ensayos mecánicos realizados a 12 muretes, se desglosan los resultados y análisis a continuación expuestos.

##### **IV.2.2.1. Fallas observadas en los especímenes sin refuerzo**

En estos especímenes la falla representativa se observó en el murete MA-SR-1, fallando en forma escalonada a través de la junta y fracturando algunos bloques, anunciada por un crujido a medida que el espécimen se acercaba a la carga máxima. La fisura se expresó siguiendo un ángulo de  $45^{\circ}$  aproximadamente con respecto a la hilada. Esto se conoce como falla por tracción diagonal (San Bartolomé, 1994). Ver Figuras 4.30 y 4.31. Por otro lado, los especímenes MA-SR-2 y MA-SR-3 presentaron fallas focalizadas en la esquina superior del murete, desprendiéndose parte del friso en la zona afectada. En las Figuras de la 4.32 a la 4.35 se aprecian estas fallas.



FIG. 4.30. MA-SR-1



FIG. 4.31. FALLA EN FORMA ESCALONADA DE MA-SR-1



FIG. 4.32. MA-SR-2



FIG. 4.33. MA-SR-2: FALLA LOCAL



FIG. 4.34. MA-SR-3



FIG. 4.35. MA-SR-3: FALLA LOCAL

#### **IV.2.2.2. Fallas observadas en los especímenes reforzados**

El ensayo de compresión diagonal a los especímenes reforzados con malla de acero, malla plástica o con fibra de polipropileno en el friso, evidenció similitud a las fallas ocurridas en los muretes sin refuerzo; presentando fallas por tracción diagonal, que se hacían evidentes al aparecer grietas diagonales en las dos caras del friso, y atravesaban tanto las unidades de mampostería como las juntas de mortero; estas grietas, se propagaron de forma frágil, siguiendo un ángulo aproximado de  $45^{\circ}$  con respecto a la hilada, y fueron anunciadas por un crujido a medida que el espécimen se acercaba a la carga de máxima. En las Figuras 4.36, 4.38, 4.40, 4.46, 4.48, 4.49, 4.54 se pueden visualizar la falla descrita anteriormente.

Es importante resaltar, que en el caso de los muretes reforzados con malla de acero o plástica, las grietas se propagaron siguiendo la forma de la malla de refuerzo (ver Figura 4.40 y 4.41).

En la Figura 4.37 un acercamiento a una zona de la falla del murete MA-RA-1, donde se muestra que bloques y juntas han fallado y sin embargo la malla de acero tipo gallinero mantiene la integridad del murete

En la figura 4.39 se aprecia que un alambre de la malla gallinero falló, este resultado indica que la malla trabaja a tracción durante el ensayo, aunque falle luego que los bloques y el mortero. Esto muestra que el refuerzo fue solicitado durante la aplicación de la carga, trabajando en conjunto con el friso.



FIG. 4.36. MA-RA-1



FIG. 4.37. DETALLE DE FALLA EN MA-RA-1



FIG. 4.38. FALLA A TRACCIÓN DIAGONAL EN MA-RA-2



**FIG. 4.39. DETALLE EN MA-RA-2: ALAMBRE DE MALLA ROTO**



FIG. 4.40. MA-RA-3



**FIG. 4.41. DETALLE DE FALLA EN MA-RA-3**

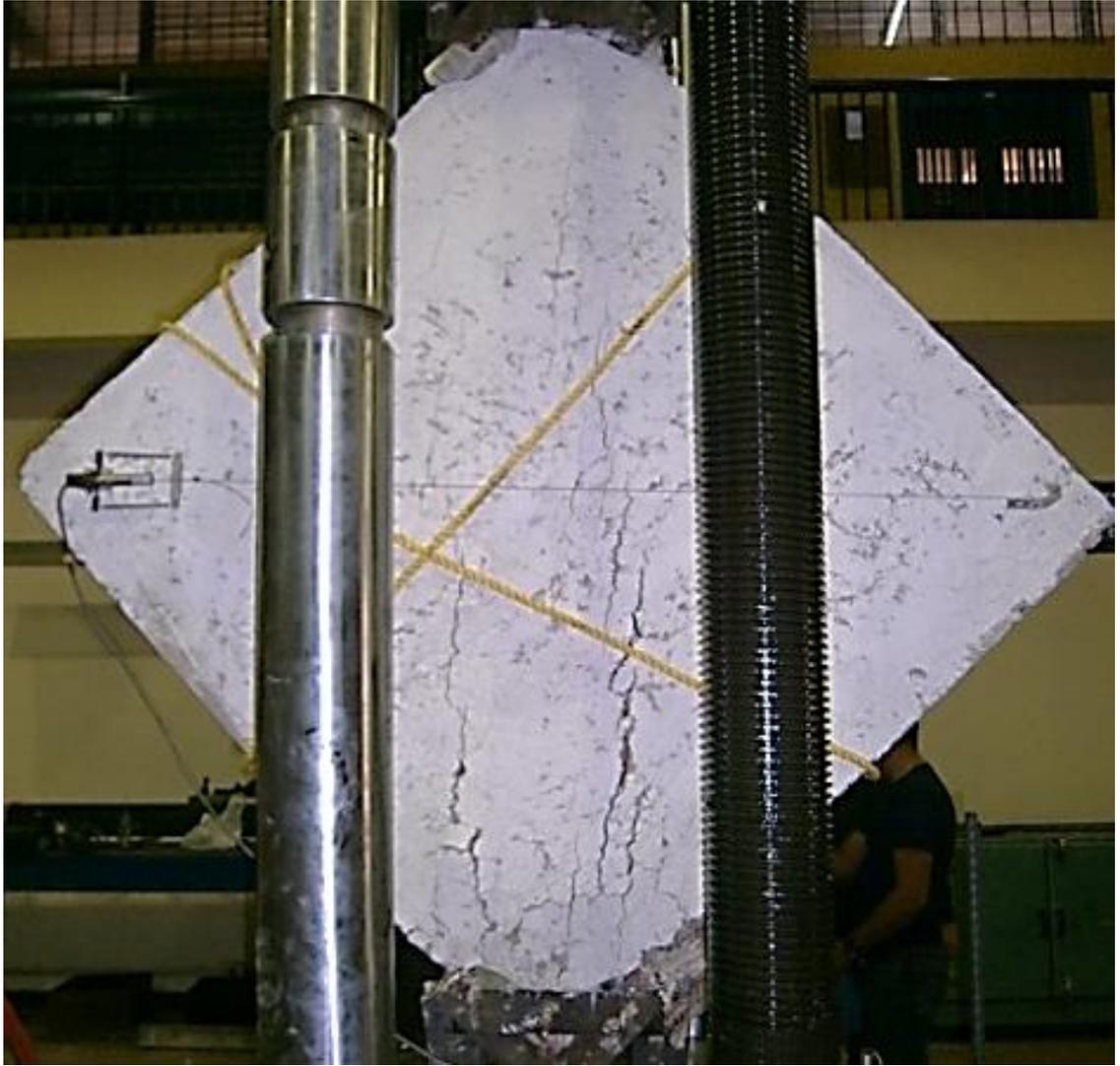


FIG. 4.42. FALLA EN MA-RP-1



FIG. 4.43. DETALLE DE FALLA MA-RP-1: FALLA EN BLOQUES Y MALLA DEFORMADA



FIG. 4.44. FRACTURA DE TABIQUES INTERIORES DE BLOQUES EN MA-RP-1



FIG. 4.45. DEFORMACIÓN DE MALLA PLÁSTICA EN MA-RP-1

Del espécimen MA-RP-1 se muestra en la Figura 4.42 la común falla de tracción diagonal; en la Figura 4.43 se aprecia que la falla logró cortar los bloques (probablemente por buena adherencia entre el mortero de la junta y el bloque, no se dio una falla escalonada) y resaltado en círculo se encuentra deformación de la malla plástica, al igual que en la Figura 4.45 que representa otra zona del mismo murete. Y la Figura 4.44 refleja la rotura de los tabiques interiores, casi por completo, de un bloque. Además de que es el murete con mayor carga registrada, 13.150 kgf.



**FIG. 4.46. FALLA DE TRACCIÓN DIAGONAL EN MA-RP-2**



FIG. 4.47. PARTE GENERADA POR LA FALLA

En el murete MA-RP-2 se repite la falla de tracción diagonal (Figura 4.46) y se muestra también como el rompimiento del friso se guía por la forma de la malla (Figura 4.47).



FIG. 4.48. FALLA EN MA-RP-3.



**FIG. 4.49. VISTA POSTERIOR DE FALLA EN MA-RP-3**

Se observa que una constante en los muretes reforzados con malla plástica es la falla a tracción diagonal. Es importante mencionar que en ninguno de los casos el murete se desplomó, ni se fracturó en partes; a diferencia de los muretes reforzados con fibras (ver Figura 4.51).



FIG. 4.50. FALLA A TRACCIÓN DIAGONAL EN MA-RF-1



FIG. 4.51. ROTURA EN DOS PARTES DE MA-RF-1



FIG. 4.52. MA-RF-2 LUEGO DE CARGA MÁXIMA



FIG. 4.53. FALLA LOCAL EN MA-RF-2



FIG. 4.54. FALLA A TRACCIÓN DIAGONAL EN MA-RF-3



FIG. 4.55. FORMA ESCALONADA DE LA FALLA EN MA-RF-3



FIG. 4.56. JUNTA DE MORTERO DESPRENDIDA DEL BLOQUE EN MA-RF-3

Los muretes cuyo friso tenía incorporada fibra de polipropileno mostraron falla diagonal por tracción indirecta en dos de sus especímenes (MA-RF-1 y MA-RF-3), ver Figuras 4.50, 4.54, y 4.55; y uno de los especímenes (MA-RF-2) presentó una falla en la zona de la esquina dispuesta en la base superior de la prensa hidráulica, se induce este resultado inesperado a causa de confinamiento en la esquina por acción del “capping” (ver Figura 4.52 y 4.53). Adicionalmente se observó el desprendimiento de la junta de mortero (ver Figura 4.56).

#### **IV.2.2.3. Resultados y análisis de los ensayos de compresión diagonal**

De la carga máxima leída en la prensa hidráulica y el área bruta de los especímenes presentadas en el punto IV.1.6, se tiene la resistencia a corte dispuestas en las Tablas 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27, así como la media aritmética ( $v_m$ ) para cada condición de ensayo, y sus respectivos coeficientes de dispersión.

**Tabla 4.24. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes sin refuerzo**

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Corte (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\nu_m$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|--------|
| MA-SR-1   | 9.950              | 8.650                       | 2,81                                       | 2,46                          | 0,31                     | 12,59  |
| MA-SR-2   | 8.300              |                             | 2,37                                       |                               |                          |        |
| MA-SR-3   | 7.700              |                             | 2,21                                       |                               |                          |        |

**Tabla 4.25. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes reforzados con malla de acero (gallinero)**

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Corte (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\nu_m$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|--------|
| MA-RA-1   | 11.350             | 11.067                      | 3,17                                       | 3,15                          | 0,12                     | 3,90   |
| MA-RA-2   | 10.600             |                             | 3,02                                       |                               |                          |        |
| MA-RA-3   | 11.250             |                             | 3,27                                       |                               |                          |        |

**Tabla 4.26. Resultados de ensayo de compresión diagonal a muretes reforzados con malla plástica**

| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Corte (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\nu_m$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|--------|
| MA-RP-1   | 13.150             | 12.083                      | 3,74                                       | 3,50                          | 0,24                     | 6,76   |
| MA-RP-2   | 11.150             |                             | 3,26                                       |                               |                          |        |
| MA-RP-3   | 11.950             |                             | 3,49                                       |                               |                          |        |

**Tabla 4.27. Resultados de ensayo de compresión diagonal realizado a muretes reforzados con fibra de polipropileno en el friso**

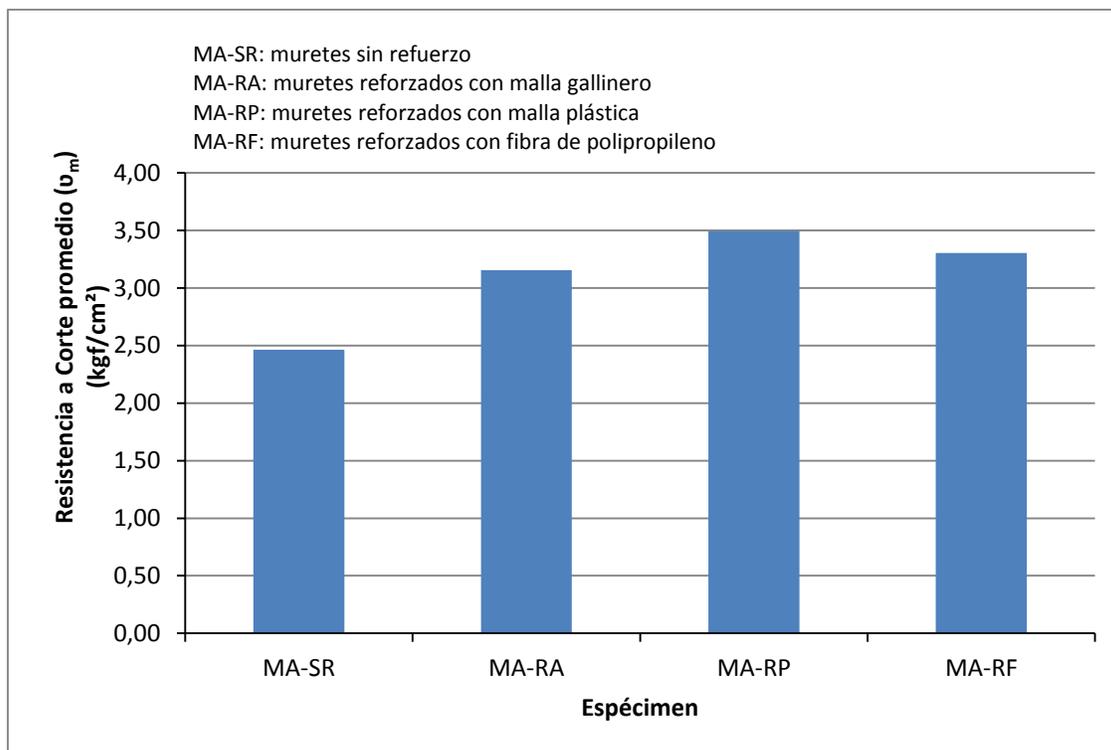
| Espécimen | Carga Máxima (kgf) | Carga Máxima Promedio (kgf) | Resistencia a Corte (kgf/cm <sup>2</sup> ) | $\nu_m$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | S (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Cv (%) |
|-----------|--------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------------|--------|
| MA-RF-1   | 12.000             | 11.367                      | 3,48                                       | 3,30                          | 0,44                     | 13,38  |
| MA-RF-2   | 9.500              |                             | 2,80                                       |                               |                          |        |
| MA-RF-3   | 12.600             |                             | 3,63                                       |                               |                          |        |

En la Tabla 4.28 se presenta el resumen de los valores promedios para cada condición de ensayo, el coeficiente de variación, y en la última columna el incremento de resistencia a corte que presentaron los muretes reforzados con respecto a los no reforzados.

**Tabla 4.28. Resultados de resistencia a corte en muretes, dispersión e incrementos**

| <b>Espécimen</b> | <b><math>v_m</math><br/>(kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Cv<br/>(%)</b> | <b>Incremento de <math>v_m</math> con respecto a muretes sin refuerzo (%)</b> |
|------------------|--|-------------------|---|
| MA-SR            | 2,46   | 12,59             |   |
| MA-RA            | 3,15   | 3,90              | 28%   |
| MA-RP            | 3,50   | 6,76              | 42%   |
| MA-RF            | 3,30   | 13,38             | 34%   |

Evidentemente la malla plástica presenta el mayor aumento de resistencia, seguido de la fibra incorporada en el friso y por último la malla de acero tipo gallinero. En la Gráfica 4.3 se puede apreciar ilustrativamente las tensiones a corte promedios de los muretes de acuerdo al tipo de refuerzo. De lo anterior podemos resaltar que el refuerzo de los muretes con malla o con fibra en el mortero de friso aumentó el esfuerzo resistente a corte de los muretes, apreciándose que los refuerzos fueron solicitados durante los ensayos y aportando mayor resistencia respecto a los especímenes no reforzados.



**Gráfica 4.3. Resistencia al corte promedio de los muretes ensayados**

Por otro lado, la Tabla 4.29 muestra la relación  $v_m / \sqrt{f_m}$ , que según Gallegos y Casabonne (2005) debe estar entre 0,53 y 1,20. Con esto se verificó que los valores obtenidos en este Trabajo Especial de Grado están dentro del rango estadístico determinado por los autores mencionados. En la tabla se evidencia que los valores promedios relacionados a este criterio se cumplen en todos los casos analizados.

**Tabla 4.29. Verificación de relación probabilística extraída de (Gallegos & Casabonne, 2005)**

| Espécimen                             | $v_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $f_m$<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | $v_m / \sqrt{f_m}$ |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Sin refuerzo                          | 2,46                           | 14,49                           | 0,65               |
| Reforzado con malla acero (gallinero) | 3,15                           | 12,17                           | 0,90               |
| Reforzado con malla plástica          | 3,50                           | 16,61                           | 0,86               |
| Con fibra de polipropileno            | 3,30                           | 8,57                            | 1,12               |

### **IV.3. RECOMENDACIONES PARA LA CONTINUACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN DE REFUERZO DE PAREDES DE MAMPOSTERÍA CON MALLAS**

Para garantizar la funcionalidad del refuerzo con malla se debe garantizar adherencia entre los bloques y el friso y entre el friso y la malla, para lo cual es fundamental el contacto entre estos materiales; así como otros elementos referentes a la instalación del refuerzo. En ese sentido, a partir de la experiencia de este trabajo, se recomienda:

- Humedecer los bloques un día antes de aplicar el salpicado para evitar que los bloques absorban el agua del mortero. No se debe aplicar agua justo antes del salpicado porque puede ocasionar deslizamiento del mortero.
- Verificar que la malla de refuerzo no esté rota ni estirada en ninguna parte.
- Impedir abultamiento de la malla al colocarla en el murete. Debe quedar tensa con una separación regular de la superficie de bloques. Esto se logra evitando halar la malla luego de que esté fijada en algún punto.
- La malla no debe verse en la superficie acabada y tampoco debe estar en contacto con los bloques. Es decir, debe quedar “embutida” en el friso.
- La junta debe ser continua y conservar su espesor para garantizar una colocación efectiva de los dispositivos de instalación.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### V.1. CONCLUSIONES

La evaluación del comportamiento mecánico de muretes de mampostería reforzados con mallas, específicamente a través del ensayo de compresión diagonal que permitió obtener la resistencia a corte de los muretes, permite enunciar las siguientes conclusiones:

- Los Muretes reforzados con mallas de acero tipo gallinero obtuvieron una resistencia a compresión diagonal mayor respecto a los muretes no reforzados en 28%.
- Los Muretes reforzados con mallas de plástico obtuvieron una resistencia a compresión diagonal mayor respecto a los muretes no reforzados en 42%.
- Los Muretes con friso reforzado con fibra obtuvieron una resistencia a compresión diagonal mayor respecto a los muretes no reforzados en 34%.

Las evidencias experimentales permiten establecer que los muretes reforzados, con los tres tipos de refuerzo, aumentaron la resistencia a compresión diagonal respecto a los no reforzados. Además, los muretes reforzados con malla mantuvieron su integridad (no se despedazaron). Esto se resume en la efectividad, en aumento de resistencia al corte y mantenimiento de la integridad de los muretes, del refuerzo con mallas; y en aumento de resistencia al corte del refuerzo con fibra de polipropileno.

Por otro lado, de los ensayos realizados a las pilas, no se evidenció una mejora en la resistencia a compresión de las pilas reforzadas con respecto a las no reforzadas, esto asienta que el refuerzo con malla no es significativo en la resistencia a la compresión.

En este tipo de investigaciones es fundamental un alto control de calidad para garantizar que la variable a evaluar, el refuerzo, efectivamente sea lo que se esté evaluando. Por eso concluimos primordial seguir las recomendaciones planteadas en el punto IV.3.

Resaltamos que la instalación de los refuerzos se realizó a partir de dispositivos diferentes, tanto en su elaboración como en su disposición, a los utilizados en trabajos anteriores, que garantiza espaciamiento entre la malla y la superficie de los bloques para que el refuerzo quede embutido. Concluimos esta técnica sustancial para los fines este trabajo.

## **V.2. RECOMENDACIONES**

A partir de esto se sugiere aplicar estas técnicas de refuerzo a viviendas construidas, para determinar la factibilidad técnica de proporcionar a la población de los sectores populares, que han levantado sus viviendas de mampostería, las herramientas básicas y necesarias para la implementación de estos tipos de refuerzo, evaluando el método de colocación y su capacidad de reducir la vulnerabilidad ante amenazas sísmicas y por lo tanto sumar seguridad a los pobladores.

Además, se sugiere continuar y profundizar en esta propuesta de reforzamiento estudiando los siguientes aspectos:

- Influencia de estos mismos refuerzos en muros de mampostería parcialmente confinados.
- Deformaciones de los especímenes de mampostería.
- Configuraciones diferentes en la colocación de las mallas como refuerzo.

Así mismo, evaluar el costo de la implementación de cada uno de los refuerzos sería útil para completar los parámetros ingenieriles que permitan determinar la factibilidad de la propuesta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bastardo, J., & Cadenas, Y. (2006). *Influencia del espesor del friso en las propiedades mecánicas de la mampostería con bloques huecos de arcilla y de concreto*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. Página Web de la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. Disponible: <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230> [Consulta: noviembre 2013]
- Cardona, O. (1999). Terremoto en Colombia, enero 25 de 1999: Lecciones para la prevención y atención de desastres sísmicos. *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres - América Latina y el Caribe- de la Organización de Naciones Unidas* [Página web]. Disponible: [http://www.eird.org/esp/revista/No14\\_99/desas3.htm](http://www.eird.org/esp/revista/No14_99/desas3.htm) [Consulta: octubre 2013]
- Castilla, E. (1997). Recomendaciones para el diseño sismorresistente de edificaciones de mampostería estructural. En G. Graces, *Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela*. Caracas: Editorial Brinett.
- Castilla, E., & Pose, M. (1995). Evaluación del comportamiento de muros de mampostería de concreto ante carga horizontal. *Boletín Técnico del IMME*, 33 (1), 31-52.
- Fundación venezolana de investigaciones sismológicas, F (2002). *La investigación sismológica en Venezuela*. Página Web de FUNVISIS. Disponible: [http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/funvisis\\_1\\_18.pdf](http://www.funvisis.gob.ve/archivos/pdf/libros/funvisis_1_18.pdf) [Consulta: noviembre 2013]

Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Lopez, J., Oller, S., & Oñate (1998). *Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos*. Página Web del Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Disponible: <http://www.cimne.com/personales/eo/publicaciones/files/m46.pdf> [Consulta: octubre 2013]

Meli, R., (1985), "Consideraciones sobre el Diseño Sísmico de Edificaciones de Mampostería", Taller - Normativa y Seguridad de Construcciones en Zonas Sísmicas, IMME, Caracas.

Molano, M. A., & Serrano, A. (2005). Rehabilitación sísmica de mampostería no estructural mediante listones de madera. Página Web de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Disponible: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis125.pdf> [Consulta: noviembre 2013]

Rodríguez Arteaga, J. A. (2006). Breve historia de la sismología en Venezuela. Página web de la Fundación Venezolana de Investigaciones sismológicas. Disponible: [http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/tecnica/docs/historia\\_sismologia.pdf](http://www.funvisis.gob.ve/archivos/www/tecnica/docs/historia_sismologia.pdf). [Consulta: febrero 2014]

Ruiz, M., & Renda, F., (1987). *Influencia del confinamiento en la adherencia bloque-mortero para bloques de concreto*. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de Albañilería*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Tena, A., & Miranda, E., (2003). Comportamiento mecánico de la mampostería. En H. Gallegos, *Edificaciones de mampostería para la vivienda*. (pp.20) México: Fundación ICA.

Zegarra, L., Quiun, D., & San Bartolomé, A. (2003). Técnicas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe. Página web de la Alcaldía de *Santa Eufemia del Arroyo*. Disponible: <http://www.santaefemiadelarroyo.es/archivos.shtml?idboletin=1230&idseccion=6340>. [Consulta: noviembre 2013]

Zegarra, L., Quiun, D., San Bartolomé, A., & Giesecke, A. (1997). *Manual Técnico para el reforzamiento de las viviendas de adobe existentes en la Costa y Sierra*. Página web del Centro Regional de Sismología para el Sur. Disponible: <http://www.ceresis.org/proyect/madobe/manual.htm>. [Consulta: octubre de 2013]

#### **Normas Venezolanas e Internacionales:**

COVENIN 1756 (2001). *Edificaciones Sismorresistentes 1756*. Caracas: Comisión venezolana de normas industriales y Fundación Venezolana de Investigaciones sísmológicas.

COVENIN 2 (1978). *Bloques de arcilla para paredes. Especificaciones* Caracas: Comisión venezolana de normas industriales.

COVENIN 23 (1960). *Productos de arcilla. Métodos de Ensayo*. Caracas: Comisión venezolana de normas industriales.

COVENIN 484 (1993). *Cemento Portland, Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en probetas cúbicas de 50,8 mm de lado*. Caracas: Comisión venezolana de normas industriales.

Norma Técnica Colombiana NTC 2240, *Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería*. Colombia, 2003.

NTCM. (2004). Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería. D.F.; México: Comité de normas Distrito Federal.

NSR-98, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente

Reglamento CIRSOC 501-E (2007). *Reglamento empírico para construcciones de mampostería de bajo compromiso estructural*. Buenos Aires, 2007.

# APÉNDICE A

## REGISTRO FOTOGRÁFICO

### A.1. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA (BLOQUES HUECOS DE ARCILLA)



FIG. A.1. BLOQUE HUECO DE ARCILLA UTILIZADO PARA LA ELABORACIÓN DE PILAS Y MURETES



FIG. A.2. CORTE DE BLOQUES A LA MITAD CON DISCO PUNTA DE DIAMANTE



FIG. A.3. NIVELADO DE BLOQUE EN LA APLICACIÓN DE CAPPING CON YESO

## A.2. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA



FIG. A.4. CUARTEADORA DE AGREGADO FINO



FIG. A.5. PESO DE MUESTRA N°1 DE ARENA



FIG. A.6. TAMICES USADOS PARA LA GRANULOMETRÍA

### A.3. PREPARACIÓN DE MORTERO PARA JUNTAS Y FRISO



FIG. A.7. COMPONENTES SÓLIDOS DEL MORTERO: ARENA LIGADA, CEMENTO Y CAL



FIG. A.8. PESADO DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA



FIG. A.9. PREPARACIÓN DEL MORTERO EN MEZCLADORA DE EJE VERTICAL



FIG. A.10. MEZCLA DE MORTERO CON FIBRA DE POLIPROPILENO AGREGADA

#### A.4. TOMA DE MUESTRAS DEL MORTERO



FIG. A.11. ENGRASADO DE LOS MOLDES CÚBICOS



FIG. A.12. PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LAS PROBETAS



FIG. A.13. PROBETAS CÚBICAS DESENCOFRADAS

## A.5. CORTE DE LAS MALLAS Y DISPOSITIVOS DE AMARRE



**FIG. A.14. CLAVOS Y CHAPAS USADOS COMO SEPARADORES EN LA COLOCACIÓN DE LAS MALLAS**



**FIG. A.15. CORTADO DE LOS CONECTORES DE ALAMBRE**



**FIG. A.16. MEDICIÓN DE LAS MALLAS DE REFUERZO**

## A.6. CONSTRUCCIÓN DE PILAS



FIG. A.17. COLOCACIÓN DE CONECTORES EN PILA



FIG. A.18. PILA SIN FRISAR



FIG. A.19. SALPICADO DE PILAS



FIG. A.20. AMARRE DE MALLA CON CONECTOR EN PILAS



FIG. A.21. LISTONES PARA FIJAR EL ESPESOR DEL FRISO



FIG. A.22. PILAS PINTADAS CON CAL Y EN MESA DE CAPPING

## A.7. CONSTRUCCIÓN DE MURETES



FIG. A.23. NIVELACIÓN DE LAS HILADAS



FIG. A.24. COLOCACIÓN DE CONECTORES EN MURETE



FIG. A.25. MURETE LEVANTADO



FIG. A.26. PROCESO DE SALPICADO DE MURETES



FIG. A.27. COLOCACIÓN DE MALLA DE REFUERZO



FIG. A.28. FIJACIÓN DE MALLA CON CONECTORES



FIG. A.29. INSTALACIÓN DE SEPARADORES EN MURETE



FIG. A.30. FIJACIÓN DEL ESPESOR DEL FRISO CON LISTONES



FIG. A.31. FRISADO DE MURETE



FIG. A.32. ESPESOR DE FRISO, 2CM



FIG. A.33. PINTADO DE MURETE CON CAL

## A.8. TRASLADO Y DISPOSICIÓN DE PILAS Y MURETES



FIG. A.34. TRASLADO DE MURETES DE LA NAVE DE ENSAYOS ESPECIALES A LA NAVE DE ENSAYOS FÍSICOS PARA SU POSTERIOR ENSAYO



FIG. A.35. PILAS Y MURETES PINTADOS CON CAL



FIG. A.36. COLOCACIÓN DE MURETE EN LA PRENSA HIDRÁULICA PARA SER ENSAYADO