	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	<u>Documento</u>	<u>Código</u>	<u>Fecha</u>	<u>Revisión</u>
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
	<u>Dependencia</u>	<u>Aprobado</u>		<u>Pág.</u>
	DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(194)

RESUMEN - TESIS DE GRADO

AUTORES	GERALDIN ALEJANDRA CARVAJALINO GENTIL JAHAIRA PATRICIA HERNANDEZ PALLARES		
FACULTAD	DE INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	Mag. NELSON AFANADOR GARCIA,		
TÍTULO DE LA TESIS	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS BLOQUES H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA		
<u>RESUMEN</u> (70 palabras aproximadamente)			
<p>En Colombia al igual que en muchas otras partes del mundo, la mayoría de las estructuras fueron construidas sin tener como base una normatividad que brindara los parámetros necesarios para hacer de ellas construcciones resistentes a los movimientos telúricos, motivo por el cual a lo largo de la historia se han registrado innumerables pérdidas de vidas humanas y de materiales difícilmente cuantificables.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 193	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 10	CD-ROM: 1



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL. OCAÑA N. DE S.
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088
www.ufpso.edu.co



**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS BLOQUES
H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA**

**GERALDIN ALEJANDRA CARVAJALINO GENTIL
JAHAIRA PATRICIA HERNANDEZ PALLARES**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2014**

**ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE LOS BLOQUES
H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA**

**GERALDIN ALEJANDRA CARVAJALINO GENTIL
JAHAIRA PATRICIA HERNANDEZ PALLARES**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Civil**

**Director
Mag. NELSON AFANADOR GARCIA
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA CIVIL
OCAÑA
2014**

AGRADECIMIENTOS

Le queremos agradecer a Dios por darnos la sabiduría y la fortaleza para salir adelante en cada uno de los procesos realizados durante el trabajo de grado.

A nuestros padres quienes nos brindaron apoyo y nos impulsaron a seguir adelante en cada una de las dificultades que se presentaban a lo largo de este camino.

Al Magister Nelson Afanador García, nuestro director de trabajo de grado, quien confió en nuestras capacidades y nos brindó su asesoría y apoyo incondicional en todo momento durante esta investigación.

Al laboratorista Iván Darío Bustos, quien nos colaboró constantemente en la ejecución de cada uno de los ensayos de laboratorio.

A Hilti por donar los anclajes mecánicos empleados en el sistema de refuerzo.

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en especial a la oficina de planeación, por la colaboración prestada en cada una de las actividades realizadas.

*Geraldin Alejandra Carvajalino
Jahaira Patricia Hernández Pallares*

DEDICATORIA

A Dios y la virgen, quienes fueron mi guía a cada paso en el camino para culminar mi trabajo de grado, me dieron la fuerza y el discernimiento para cumplir a cabalidad con mis objetivos.

A mi madre Dignora Pallares, mi abuela Yolanda Garcia quienes son mi motor y mi ejemplo a seguir, me encuentro infinitamente agradecida con el todo poderoso por bendecirme con su presencia en mi vida.

A Aldahir Álvarez Torrado, quien es mi amor, mi apoyo, mi guía y fortaleza, hoy le doy gracia a Dios por permitirme haber compartido este tiempo a su lado.

Y a todos mis familiares y amigos que creyeron en mí y me brindaron su apoyo, que de una u otra forma pusieron un granito de arena para que mi sueño se hiciera posible.

Jahaira Patricia Hernández Pallares

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme fuerza para culminar mis objetivos y alcanzar mis sueños.

A mi madre y mi padre quienes son mi apoyo y mi ejemplo, a todos mis familiares y amigos que creyeron en mí y me brindaron su apoyo.

A mis hermanas por hacer parte de mi vida y estar presentes en cada momento.

Geraldin Alejandra Carvajalino Gentil

CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	23
1. <u>ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS BLOQUES H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA</u>	24
1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	24
1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	25
1.3 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	25
1.4 <u>OBJETIVOS</u>	25
1.4.1 General	25
1.4.2 Específicos	25
1.5 <u>DELIMITACIONES</u>	26
1.5.1. Geográficas	26
1.5.2 Temporales	27
1.5.3 Conceptuales	27
1.5.4 Operativas	27
2. <u>MARCO REFERENCIAL</u>	28
2.1 <u>MARCO HISTÓRICO</u>	28
2.1.1 Revisión del estado del arte	28
2.1.1.1 Reparación de un muro de albañilería confinada	28
2.1.1.2 Modalidades de refuerzo de la mampostería en México	29
2.1.1.3 Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada	32
2.2 <u>MARCO CONCEPTUAL</u>	35
2.2.1 Resistencia a la compresión	36
2.2.2 Modulo de corte	36
2.2.3 Modulo de elasticidad	37
2.2.4 Esfuerzo cortante	37
2.2.5 Materiales cerámicos	37
2.2.5.1 Propiedades generales de los materiales cerámicos	38
2.2.5.2 Clasificación de los materiales cerámicos	38
2.2.6 Ladrillo	40
2.2.6.1 Procesado de materiales cerámicos para la fabricación de ladrillo	40
2.2.6.2 Clasificación de los ladrillos	41
2.2.7 Propiedades físicas y mecánicas de los bloques	42
2.2.7.1 Tasa de absorción inicial	42
2.2.7.2 Tasa de absorción final	42
2.2.7.3 Resistencia mecánica a la compresión	43
2.2.7.4 Resistencia a la flexión	43
2.2.7.5 Alabeo	43
2.2.7.6 Relación de vacíos	43
2.2.7.7 Fluidéz del mortero	43
2.2.7.8 Compresión del mortero de pega	43

2.2.7.9 Resistencia a la compresión axial en prismas	43
2.2.7.10 Tracción diagonal	44
2.2.8 Mampostería	45
2.2.8.1 Tipos de mampostería estructural	46
2.2.8.2 Unidades de mampostería	47
2.2.9 Mortero	50
2.2.9.1 Componentes	50
2.2.9.2 Tipos y usos de mortero	53
2.2.9.3 Propiedades del mortero	57
2.2.9.4 Diseño de morteros con cemento portland	59
2.2.10 Malla electrosoldada	63
2.3 MARCO LEGAL	63
2.3.1 Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC	63
2.3.2 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages (ESTM E 519-07)	64
2.3.3 Norma de construcción sismo resistente 2010 (NSR-10)	64
3. DISEÑO METODOLÓGICO	65
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	65
3.2 POBLACIÓN	65
3.3 MUESTRA	65
3.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	65
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	65
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	67
4.1. HALLAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA FLEXIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO HUECO DE ARCILLA H-10 QUE CORRESPONDEN A LOS FABRICADOS Y COMERCIALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA CLASIFICARLOS DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN LA NSR-10	67
4.2. ESTABLECER EL GRADO DE ABSORCIÓN DE AGUA QUE TIENEN LOS BLOQUES DE ARCILLA FABRICADOS Y COMERCIALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA REALIZAR UNA COMPARACIÓN CON EL GRADO DE ABSORCIÓN PERMITIDO SEGÚN LAS NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	84
4.3 DETERMINAR LA CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDEN SUCCIONAR LAS DISTINTAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA PREVIAMENTE SELECCIONADAS SOBRE LA CARA QUE DEBE ESTAR EN CONTACTO CON EL MORTERO DE PEGA	89
4.4 EVALUAR LA TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA A TRAVÉS DE LA PRUEBA DE FLUIDEZ DEL MORTERO	96
4.5 CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN EL MORTERO DE PEGA UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE LOS PRISMAS, MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADOS Y NO REFORZADOS EXTERIORMENTE	100

4.5.1	Diseño de mortero de pega	101
4.5.1.1	Ensayo de densidad aparente y absorción del agregado fino, NTC 237	101
4.5.1.2	Ensayo densidad específica del cemento, NTC 221	102
4.5.1.3	Ensayo de humedad del agregado fino, NTC 1776	104
4.5.1.4	Ensayo análisis granulométrico y módulo de finura, NTC 174	105
4.6	<u>CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS EN MAMPOSTERÍA EN BLOQUES H-10 COMO FACTOR DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS</u>	123
4.7	<u>DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN MAMPOSTERÍA DE BLOQUES H-10 UTILIZANDO PRISMAS</u>	136
4.8.	<u>DETERMINAR EL MÓDULO DE CORTE DE LOS MUROS REFORZADOS EXTERNAMENTE CON MALLA ELECTRO SOLDADA DE 150 X 150 X 3,5 X 3,5 MM</u>	139
4.9	<u>HALLAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD AL CORTE EN MUROS DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA TIPO BLOQUE H-10</u>	166
4.10	<u>ESTIMAR PARÁMETROS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO QUE PERMITAN CARACTERIZAR PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MUROS REALIZADOS EN BLOQUE H-10</u>	167
4.11	<u>DETERMINAR LA VARIACIÓN DIMENSIONAL RESPECTO AL ALBEO PRESENTADO EN LOS ELEMENTOS DE ARCILLA (CÓNCAVO Y CONVEXO)</u>	177
4.12	<u>DETERMINAR EL VOLUMEN DE VACÍOS EN LAS UNIDADES PERFORADAS HORIZONTALMENTE.</u>	181
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	186
6.	<u>RECOMENDACIONES</u>	188
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	189
	<u>REFERENCIAS DOCUMENTOS ELECTRÓNICAS</u>	192

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resistencia a la compresión en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	75
Cuadro 2. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en unidades de perforación horizontal H-10.	77
Cuadro 3. Módulo de rotura para unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	82
Cuadro 4. Verificación del módulo de rotura	84
Cuadro 5. Absorción de agua por inmersión en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	87
Cuadro 6. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de absorción durante 24 horas.	88
Cuadro 7. Tasa inicial de absorción (succión) en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	94
Cuadro 8. Determinación de la fluidez del mortero hidráulico para mortero de pega y de pañete en muros de mampostería de perforación horizontal H-10.	99
Cuadro 9. Determinación de la fluidez del mortero hidráulico para pega del ensayo a compresión de prismas en mampostería de perforación horizontal H-10.	100
Cuadro 10. Datos del ensayo densidad específica del cemento.	103
Cuadro 11. Datos ensayo de contenido humedad.	105
Cuadro 12. Resultados ensayo granulometría.	106
Cuadro 13. Contenido de materiales por metro cúbico de mortero en proporción 1:5,35	110
Cuadro 14. Determinación de la resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para muretes.	119
Cuadro 15. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero para pañete de muretes.	121
Cuadro 16. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para prismas	122
Cuadro 17. Resistencia a la compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	132
Cuadro 18. Comparación compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	134
Cuadro 19. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en prismas mediante el método experimental.	135
Cuadro 20. Comparación de resultados obtenidos de resistencia a la compresión en prismas utilizando el criterio de calidad de los materiales.	135
Cuadro 21. Módulo de elasticidad de prismas construidos en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	136
Cuadro 22. Comparación del módulo de elasticidad en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	137
Cuadro 23. Comparación de resultados obtenidos del módulo de elasticidad en prismas mediante el método experimental.	137

Cuadro 24. Determinación del espaciamiento mínimo del refuerzo horizontal y vertical de la malla electro soldada.	160
Cuadro 25. Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muretes de mampostería de perforación horizontal H-10 no reforzados.	161
Cuadro 26. Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muretes de mampostería de perforación horizontal H-10 reforzados.	162
Cuadro 27. Comparación del esfuerzo a corte de los muros elaborados en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	165
Cuadro 28. Comparación del módulo de rigidez de los muros elaborados en mampostería	165
Cuadro 29. Módulo de elasticidad determinado para muretes no reforzados y reforzados elaborados en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	166
Cuadro 30. Medición de alabeo en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	179
Cuadro 31. Medición del área de vacíos en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	184

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espesor mínimo de paredes en unidades (bloques) de mampostería de perforación vertical (mm)	49
Tabla 2. Usos del mortero de cemento	55
Tabla 3. Clasificación de los monteros de pega por propiedad o por proporción.	56
Tabla 4. Clasificación y dosificación por volumen de los morteros de relleno.	57
Tabla 5. Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación	58
Tabla 6. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural	77
Tabla 7. Tasa inicial de absorción.	96
Tabla 8. Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena.	109
Tabla 9. Factor de corrección altura contra espesor, para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.	132
Tabla 10. Nomenclatura para muros con y sin refuerzo por fabricante.	140
Tabla 11. Esfuerzo cortante (kpa) no reforzado.	168
Tabla 12. Esfuerzo cortante (kpa) no reforzado.	168
Tabla 13. Esfuerzo cortante (kpa) reforzado.	169
Tabla 14. Esfuerzo cortante (kpa) reforzado.	169
Tabla 15. Módulo de rigidez (kpa) no reforzado.	170
Tabla 16. Módulo de rigidez (kpa) no reforzado.	170
Tabla 17. Módulo de rigidez (kpa) reforzado.	171
Tabla 18. Módulo de rigidez (kpa) reforzado.	171
Tabla 19. Módulo de elasticidad (kpa) no reforzado.	172
Tabla 20. Módulo de elasticidad (kpa) no reforzado.	172
Tabla 21. Módulo de elasticidad (kpa) reforzado.	173
Tabla 22. Módulo de elasticidad (kpa) reforzado.	173

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación Norte de Santander Colombia	26
Figura 2. Define Materiales	35
Figura 3. Material Propiety data (SAP 2000)	36
Figura 4. Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal	45
Figura 5. Orden de compactación del moldeo de los cubos.	114
Figura 6. Medición del murete.	125
Figura 7. Ubicación de los anclajes en el murete.	147
Figura 8. Pantalla de entrada.	167
Figura 9. Costo de un muro de mampostería no estructural reforzada.	175
Figura 10. Costo de un muro de mampostería no estructural sin refuerzo.	176

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfica 1. Determinación de la resistencia a la compresión en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.	76
Gráfica 2. Determinación del módulo de rotura en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.	83
Gráfica 3. Determinación del porcentaje de absorción por inmersión en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante	88
Gráfica 4. Determinación de la tasa inicial de absorción en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.	95
Gráfica 5. Análisis granulométrico de los agregados	106
Gráfica 6. Correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos para cemento portland tipo I y arena de forma redonda y textura lisa.	108
Gráfica 7. Relación entre porcentaje de fluidez y relación agua-cemento.	108
Gráfica 8. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para muretes.	120
Gráfica 9. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pañete.	121
Gráfica 10. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para prismas.	122
Gráfica 11. Determinación de la resistencia a la compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.	134
Gráfica 12. Módulo de elasticidad vs resistencia a la compresión de los prismas elaborados con unidades de perforación horizontal H-10.	138
Gráfica 13. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 1.	162
Gráfica 14. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 2.	163
Gráfica 15. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 3.	163
Gráfica 16. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 4.	164
Gráfica 17. Curva esfuerzo – deformación.	164
Gráfica 18. Esfuerzo cortante (kpa) no reforzado.	169
Gráfica 19. Esfuerzo cortante (kpa) reforzado.	170
Gráfica 20. Módulo de rigidez (kpa) no reforzado.	171
Gráfica 21. Módulo de rigidez (kpa) reforzado.	172
Gráfica 22. Módulo de elasticidad (kpa) no reforzado.	173
Gráfica 23. Módulo de elasticidad (kpa) reforzado.	174
Gráfica 24. . Determinación de alabeo cóncavo en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante	180
Gráfica 25. Determinación de alabeo convexo en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.	180
Gráfica 26. Determinación de del área de vacíos en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.	185

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Procesado de material cerámico.	41
Fotografía 2. Medición de la altura de las unidades de mampostería.	68
Fotografía 3. Medición del largo de las unidades de mampostería.	68
Fotografía 4. Medición del ancho de las unidades de mampostería.	68
Fotografía 5. Secado de las piezas de mampostería en el horno mufla	69
Fotografía 6. Lectura de la temperatura del horno mufla.	69
Fotografía 7. Pesaje de las unidades de mampostería después del secado.	70
Fotografía 8. Enfriamiento de los especímenes.	70
Fotografía 9. Instalación de reglas y soportes de cada unidad.	71
Fotografía 10. Nivelación de las reglas.	71
Fotografía 11. Materiales para el refrentado.	71
Fotografía 12. Preparación de la mezcla.	72
Fotografía 13. Vertido de la mezcla en el espécimen.	72
Fotografía 14. repartición homogéneo de la mezcla.	72
Fotografía 15. Retiro de las reglas guía.	73
Fotografía 16. Cara del bloque perfectamente refrentado.	73
Fotografía 17. Montaje del espécimen a ensayar.	74
Fotografía 18. Equipo utilizado en el ensayo.	74
Fotografía 19. Falla a compresión de la unidad de mamposteria.	74
Fotografía 20. Nivelación y centrado de la lámina base.	78
Fotografía 21. Máquina de compresión.	79
Fotografía 22. Equipo utilizado para el ensayo a flexión.	79
Fotografía 23. Barras de acero colocadas encima de la lámina base.	79
Fotografía 24. Medición de los 12,5 mm en la unidad.	80
Fotografía 25. Aplicación de la carga al espécimen.	80
Fotografía 26. Control de la velocidad en la aplicación de carga al espécimen.	81
Fotografía 27. Falla después de aplicar carga al espécimen.	81
Fotografía 28. Masa seca del espécimen antes de la inmersión.	85
Fotografía 29. Especímenes sumergido en el tanque de almacenamiento.	85
Fotografía 30. Secado del exceso de agua sumergida del espécimen saturado.	86
Fotografía 31. Determinación de la masa con un paño húmedo.	86
Fotografía 32. Cálculo del área de la superficie en contacto con el agua.	90
Fotografía 33. Pesaje inicial de la muestra a ensayar.	90
Fotografía 34. Temperatura del cuarto.	91
Fotografía 35. Nivelación de la bandeja.	91
Fotografía 36. Ubicación de barras de metal inoxidable.	92
Fotografía 37. Llenado de la bandeja.	92
Fotografía 38. Medición de la profundidad del agua.	92
Fotografía 39. Absorción del espécimen sobre las barras de metal inoxidable.	93
Fotografía 40. Secado del espécimen con un paño húmedo.	93
Fotografía 41. Pesaje final de la muestra.	93
Fotografía 42. Mesa de flujo limpia y seca.	97

Fotografía 43. Vertido de la primera capa de mortero al molde.	97
Fotografía 44. Llenado total del molde.	98
Fotografía 45. Retiro del molde.	98
Fotografía 46. Muestra al finalizar la prueba de la mesa de flujo.	98
Fotografía 47. Medición del diámetro de la muestra.	99
Fotografía 48. Asegurado de los tornillos del molde.	111
Fotografía 49. Engrase de las caras interiores del molde.	112
Fotografía 50. Mezcla de mortero a utilizar.	112
Fotografía 51. Primera fase de llenado de la formaleta.	113
Fotografía 52. Apisonamiento de la capa de mortero.	113
Fotografía 53. Golpes a la formaleta.	113
Fotografía 54. Apisonamiento de la segunda capa de mortero.	114
Fotografía 55. Golpeado de la segunda capa de mortero.	115
Fotografía 56. Llenado total de los moldes.	115
Fotografía 57. Fraguado de los cubos de mortero.	115
Fotografía 58. Retiro de los cubos de mortero del molde.	116
Fotografía 59. Sumergido de los mortero en agua.	116
Fotografía 60. Especímenes después de ser sumergidos en agua.	116
Fotografía 61. Medición del área de la muestra.	117
Fotografía 62. Medición de la altura de la muestra.	117
Fotografía 63. Pesaje de los cubos de mortero.	117
Fotografía 64. Especimen listo para ser ensayado en la máquina.	118
Fotografía 65. Falla del cubo de mortero.	118
Fotografía 66. Construcción de prismas.	124
Fotografía 67. Aplomado de los prismas.	124
Fotografía 68. Medición del prisma.	124
Fotografía 69. Fraguado de los prismas.	125
Fotografía 70. Pesaje de los prismas.	126
Fotografía 71. Instalación y nivelado de las reglas en cada prisma.	126
Fotografía 72. Preparación de la mezcla para el refrentado.	127
Fotografía 73. Materiales para el refrentado.	127
Fotografía 74. Vertido de la mezcla en el espécimen.	128
Fotografía 75. Repartición homogénea de la mezcla.	128
Fotografía 76. Retiro de las reglas guía.	129
Fotografía 77. Cara del bloque perfectamente refrentado.	129
Fotografía 78. Instalación de los soportes en el prismas.	130
Fotografía 79. Nivelación de los soportes.	130
Fotografía 80. Instalación de LVDT.	130
Fotografía 81. Equipo utilizado en el ensayo.	131
Fotografía 82. Falla a compresión de los prismas de mampostería.	131
Fotografía 83. Nivelación de la superficie para construir los muretes.	141
Fotografía 84. Colocación de la primera hilada de bloque.	141
Fotografía 85. Medición del muro para garantizar sus dimensiones.	141
Fotografía 86. Elaboración de la mezcla.	142
Fotografía 87. Nivelación y aplomada de cada hilada.	142

Fotografía 88. Cubos de mortero de pega.	143
Fotografía 89. Ensayo de mesa de flujo.	143
Fotografía 90. Verificación de brecha.	143
Fotografía 91. Muro terminado y apuntalado.	144
Fotografía 92. Curado de los muretes.	144
Fotografía 93. Fraguado de muretes.	144
Fotografía 94. Corte de malla electro soldada.	145
Fotografía 95. Verificación de las Medidas de la malla.	145
Fotografía 96. Trazado de las diagonales en el muro.	145
Fotografía 97. Colocación de la malla electrosoldada en el muro.	146
Fotografía 98. Anclaje perno de vuelco toggler bolt.	146
Fotografía 99. Anclaje Hilti HIT-HY 70.	147
Fotografía 100. Perforación para anclajes.	148
Fotografía 101. Introducción del elemento metálico en el agujero.	148
Fotografía 102. Deslizamiento del capuchón del anclaje.	148
Fotografía 103. Quiebre de las guías a ras del capuchón.	149
Fotografía 104. Colocación del tornillo en el anclaje	149
Fotografía 105. Vista interna del bloque con el anclaje.	149
Fotografía 106. Introducción del tamiz en el agujero.	150
Fotografía 107. Instalación del cartucho HIT MM PLUS.	150
Fotografía 108. Instalación de la boquilla de mezcla.	150
Fotografía 109. Rellenado del tamiz con la resina hasta que rebose.	151
Fotografía 110. Insertado de la varilla en el tamiz con resina.	151
Fotografía 111. Cortado de la varilla.	151
Fotografía 112. Rellenado de mortero en las esquinas de carga.	152
Fotografía 113. Murete con la capa de salpicado.	152
Fotografía 114. Muro pañetado completamente.	153
Fotografía 115. Murete con cuña de nivelación.	153
Fotografía 116. Pintado de los muretes con cal.	154
Fotografía 117. Marcado de la cuadrícula en el murete.	154
Fotografía 118. Medición de las dimensiones del murete reforzado.	154
Fotografía 119. Medición de las dimensiones del murete no reforzado.	155
Fotografía 120. Instalación del equipo para el ensayo de tracción diagonal en muros no reforzados.	155
Fotografía 121. Colocación de los LVDT en muros no reforzados.	156
Fotografía 122. Aplicación de carga al murete sin refuerzo.	156
Fotografía 123. Falla por tracción diagonal del murete sin refuerzo.	156
Fotografía 124. Instalación del equipo de tracción diagonal en muros reforzados.	157
Fotografía 125. Colocación de los LVDT en muros reforzados.	157
Fotografía 126. Aplicación de la carga en muretes reforzados.	157
Fotografía 127. Falla por tracción diagonal del murete reforzado.	158
Fotografía 128. Equipo y materiales.	178
Fotografía 129. Medición de la superficie cóncava.	178
Fotografía 130. Medición de la superficie convexa.	179
Fotografía 131. Tamizado de la arena.	182

Fotografía 132. Secado de la arena.	182
Fotografía 133. Llenado de los núcleos del bloque.	182
Fotografía 134. Caída de la arena sobre el papel.	183
Fotografía 135. Transferencia de arena a la pipeta	183

RESUMEN

En Colombia al igual que en muchas otras partes del mundo, la mayoría de las estructuras fueron construidas sin tener como base una normatividad que brindara los parámetros necesarios para hacer de ellas construcciones resistentes a los movimientos telúricos, motivo por el cual a lo largo de la historia se han registrado innumerables pérdidas de vidas humanas y de materiales difícilmente cuantificables, antecedentes que han llevado a la investigación del comportamiento de las edificaciones y de los materiales que las componen, logrando con ello una serie de normas y códigos que rigen y establecen los requerimientos básicos en todos y cada uno de los aspectos relacionados con la construcción de estructuras sismo resistentes.

Teniendo en cuenta la importancia que tienen los materiales en la construcción de las edificaciones, este trabajo de investigación tiene como finalidad el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de perforación horizontal H-10 utilizadas para mampostería en la ciudad de Ocaña.

Para tal fin, se hizo necesario el desarrollo de una serie de ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales y sísmica de la UFPSO, los cuales se llevaron a cabo según lo estipulado en las normas técnicas colombianas (NTC) y en la norma sismo resistente del 2010 (NSR-10), prestando principal atención a los resultados obtenidos en cada ensayo para luego realizar un análisis estadístico de cada fabricante en estudio.

Entre los ensayos realizados se encuentra el reforzamiento externo de muros con malla electro soldada, en el cual se pretende hacer énfasis, pero sin restar importancia a los demás ensayos de laboratorio, los cuales fueron indispensables en la determinación de dichas propiedades; para llevar a cabo este ensayo se hizo necesario la construcción de 24 muretes perfectamente cuadrados de los cuales 8 no presentaban refuerzo y 16 se reforzaron con malla electro soldada de 150 x 150 x 3,5 x 3,5 mm, con el objeto de aplicarle carga hasta que presente falla por tensión diagonal, con lo que se pudo demostrar un aumento considerable en la resistencia a esfuerzos cortantes con respecto a la mampostería no reforzada.

INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más empleados y con mayor diversidad de usos desde la antigüedad hasta nuestros días, es la mampostería; el cual ha tenido gran influencia en el ámbito constructivo no solo en Colombia sino también alrededor de todo el mundo, pues ha estado presente en innumerables edificaciones que caracterizan y representan épocas importantes de la humanidad a lo largo de la historia. Muchas de estas edificaciones fueron realizadas antes de que existiera cualquier tipo de normatividad que otorgará los parámetros básicos de construcción resistentes a movimientos sísmicos. Debido a la no aplicabilidad de las normas sismo-resistentes y a las deficiencias en los aspectos relacionados con la construcción de las edificaciones, éstas al ser sometidas a grandes cargas y a sismos no generan la resistencia adecuada para soportar dichas solicitudes, llevando al colapso de las estructuras; razón por la cual a lo largo del tiempo se han registrado innumerables pérdidas de vidas humanas y de materiales.

A causa de estos inconvenientes presentados se han venido desarrollando diversas investigaciones y estudios de las propiedades físicas y mecánicas de las piezas de arcilla cocida, encaminadas a mejorar la resistencia sísmica y mecánica de la mampostería; entre las cuales podemos destacar las investigaciones relacionadas a implementar diferentes técnicas de reforzamiento en muros de mampostería; una de estas técnicas es el reforzamiento externo con malla electro soldada, tema que conjunto a una serie de laboratorios fueron desarrollados en este proyecto de investigación, con el fin de determinar propiedades importantes acerca del comportamiento físico y mecánico de los bloques de arcilla H-10 producidos y comercializados en la ciudad de Ocaña.

A fin de cumplir con los objetivos propuestos en este trabajo de grado fue necesario el análisis del estado del arte pertinente al reforzamiento de muros tal es el caso de la “Reparación de un muro de albañilería confinada”¹, otros trabajos de investigación desarrollados han hecho posible estudiar el tema como lo es el "refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada"², tema tratado por la Pontificia Universidad Javeriana, además existen diversos textos y libros enfatizados en las “modalidades de refuerzo de la mampostería”³ caso particular de México.

¹ SAN BARTOLOMÉ, Ángel y CASTRO, Arturo. Reparación de un muro de albañilería confinada. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad Ingenierías. Ingeniería Civil, 2007. 8 p. [en línea]. [citado en 16 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-Reparaci%F3n-Muro%20Confinado%20.pdf>>

² FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

³ HERNANDEZ BASILIO, Oscar. Modalidades de refuerzo de la mampostería en México. México: UNAM. Instituto de Ingeniería. [en línea]. [citado en 3 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.capac.org/web/portals/0/biblioteca_virtual/doc002/Cap%C3%ADtulo%205.pdf>

1. ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS BLOQUES H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia al igual que en muchos otros países, un gran porcentaje de las edificaciones allí construidas no cumplen con las especificaciones y requerimientos básicos de diseño establecidos en los códigos normativos para estructuras sismo resistentes capaces de soportar cargas o esfuerzos sin presentar falla, tampoco realizan un análisis y estudio de los materiales a utilizar que les permita conocer sus propiedades y características para proveer su respuesta ante movimientos telúricos y de esta manera tomar acciones que permitan deformaciones sin llegar a la rotura; estas deficiencias en el proceso constructivo originan en muchas ocasiones el colapso de las estructuras, trayendo con esto grandes pérdidas de vidas humanas y materiales no cuantificables.

De igual manera, Colombia está inmersa en muchas fallas sísmicas entre las cuales podemos encontrar que para el municipio de Ocaña está la falla de la Bucaramanga – santa marta, esto significa que en la eventualidad de un evento sísmico puede haber una amplificación de onda o transmisión de efectos sísmicos a lo largo de la falla, debido a ello la Norma Sismo Resistente Colombiana restringe el uso de la mampostería simple solo para zonas de amenaza sísmica baja, pero el Municipio de Ocaña se encuentra en una zona de mediana sismicidad y es catalogado como zona de amenaza sísmica intermedia con Aceleración Pico Efectiva de 0,20g, por lo tanto su utilización es restrictiva, no puede ser usada en esta zona. Pero hemos observado que en zonas periféricas de la ciudad se encuentran asentamientos suburbanos utilizando bloque H-10 como mampostería simple sin ningún confinamiento debidamente diseñado, por lo tanto no están cumpliendo con la NSR-10 y se hace necesario su reforzamiento para la cual la norma establece en la sección D.12⁴ que es posible utilizar mampostería simple reforzándola exteriormente con malla electro soldada para disminuir los efectos del sismo de diseño sobre vivienda y así evitar pérdidas humanas y económicas.

La presente propuesta de investigación tiene como objetivo determinar propiedades físicas y mecánicas de los bloques H-10 fabricados y comercializados en el municipio de Ocaña en la construcción, que permita determinar valores de la resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m), modulo a corte de la mampostería (G_m) y módulo de elasticidad de la mampostería (E_m), los cuales son parámetros básicos de modelación en la mampostería reforzada, con el objeto de brindar información necesaria en la construcción de estructuras sismo resistentes para el municipio de Ocaña.

⁴ NSR-10. Mampostería reforzada externamente. Capitulo D.12

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Es posible disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de uno y dos pisos construidas en mampostería simple tipo bloque H-10 para el municipio de Ocaña?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Con el estudio de las propiedades físico mecánicas del bloque H-10 producidos y comercializados en la ciudad de Ocaña, se pretende elaborar un documento en el que se encuentre la resistencia a la compresión ($f'm$), modulo a corte (G_m) y módulo de elasticidad (E_m) para cada fabricante analizado y demás características de las unidades de perforación horizontal, que sirva como referencia en el momento de su utilización para el análisis de estabilidad de la mampostería y elementos estructurales.

La idea de la propuesta se encuentra encaminada a suministrar la información necesaria mediante la realización de una serie de ensayos de laboratorio que permitan establecer el comportamiento físico y mecánico de las unidades de perforación horizontal H-10 producidas y comercializadas en el municipio de Ocaña, como también el comportamiento de mampostería reforzada externamente con malla electro soldada; para lo cual se desarrollará y anexará un análisis detallado de los resultados obtenidos durante la elaboración de los diferentes ensayos.

Con la propuesta planteada se pretende proveer una información preliminar del comportamiento de la mampostería utilizada en Ocaña, con base a ofrecer parámetros necesarios en la construcción de estructuras resistentes a sismos; de igual modo se busca dar una pauta que facilite estudios futuros sobre propiedades y características de los materiales utilizados en los procesos constructivos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General. Determinar las propiedades físico - mecánicas de los bloques H-10 producidos y comercializados en el municipio de Ocaña.

1.4.2 Específicos. Hallar la resistencia a la compresión y a la flexión de unidades de mampostería de ladrillo hueco de arcilla H-10 que corresponden a los fabricados y comercializados en el municipio de Ocaña, para clasificarlos de acuerdo a lo establecido en la Norma técnica colombiana.

Establecer el grado de absorción de agua que tienen los bloques de arcilla fabricados y comercializados en el municipio de Ocaña, para realizar una comparación con el grado de absorción permitido según las normas técnicas colombianas.

Determinar la cantidad de agua que pueden succionar las distintas piezas de mampostería previamente seleccionadas sobre la cara que debe estar en contacto con el mortero de pega.

Evaluar la trabajabilidad de la mezcla a través de la prueba de fluidez del mortero.

Calcular la resistencia a la compresión en el mortero de pega utilizado en la elaboración de los prismas, los muros de mampostería reforzados y no reforzados exteriormente.

Calcular la resistencia a la compresión de prismas en mampostería en bloques H-10 como factor de diseño de estructuras.

Determinar el módulo de elasticidad en mampostería de bloques H-10 utilizando prismas.

Determinar el módulo de corte de los muros reforzados externamente con malla electro soldada de 150 x 150 x 3,5 mm.

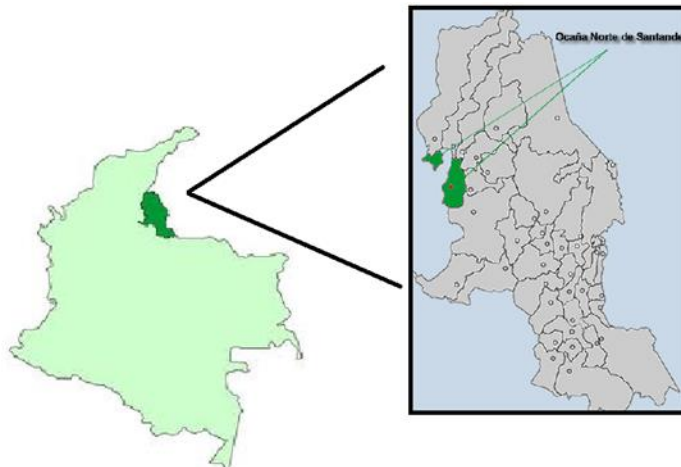
Hallar el módulo de elasticidad al corte en muros de mampostería de arcilla tipo bloque H-10.

Estimar parámetros de análisis estadístico que permitan caracterizar propiedades mecánicas de los muros realizados en bloque H-10.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1. Geográficas. El proyecto se realizará en la Ladrillera Ocaña, la comercializadora Solo Gres y en los laboratorios de resistencia de materiales y sísmica y en el de suelos, mezcla y pavimentos de la Universidad Francisco de Paula Santander sede la primavera del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Figura 1. Ubicación Norte de Santander Colombia



Fuente. www.quoteko.com⁵

⁵ QUETETO. Mapa de Colombia con Norte de Santander. [En línea]. Actualizad en el 2010. [citado 25 de agosto del 2013]. Disponible en internet en: <<http://quoteko.com/hidrograf-colombiana-colombia.html>>

1.5.2 Temporales. Esta investigación se llevara a cabo en un periodo de 12 meses, iniciando en el mes de enero, en donde se desarrollaran las actividades señaladas en el cronograma descrito posteriormente.

1.5.3 Conceptuales. El presente trabajo estará encaminado al estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques H-10 elaborados y comercializados en el municipio de Ocaña, por los cuales se determinaran los siguientes conceptos: Resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m), módulo a corte de la mampostería (G_m) y módulo de elasticidad de la mampostería (E_m) de los muros realizado en mampostería con fines de modelación.

1.5.4 Operativas. En el estudio de las propiedades físico-mecánicas del bloque H-10 producido y comercializado en la ciudad de Ocaña, se puede sufrir demoras en la adquisición de los bloques elaborados en la ciudad de Cúcuta; como también la disposición del tiempo de los asesores y técnicos de laboratorio importantes para la elaboración de la presente investigación.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTORICO

2.1.1 Revisión del estado del arte. A nivel mundial ha existido una gran cantidad y variedad de sismos; que repercuten en construcciones urbanas, en donde la más afectada es la población de escasos recursos ya que sus edificaciones se encuentran construidas en mampostería simple que no cumplen con las normas sismo resistentes, generando así innumerables pérdidas materiales y humanas; a raíz de esto se han desarrollado diferentes investigaciones en países tales como PERÚ y MÉXICO tomando como tema la mampostería reforzada externamente.

2.1.1.1 Reparación de un muro de albañilería confinada. En este documento desarrollado por Ángel San Bartolomé y Arturo Castro Morán de la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ se busca analizar el comportamiento como método de reparación de un muro confinado que se encamisa con una malla electro soldada luego de haber fallado por cortante; para lo cual se utilizó una dosificación de mortero 1:4 (relación cemento-arena fina). Para esta investigación fue necesario llevar a cabo una serie de ensayos de laboratorio como los son compresión del mortero y del concreto a los 28 días empleado en la construcción del muro confinado, ensayos de tracción de la malla electro soldada; se construyeron y ensayaron 4 pilas y 4 muretes de albañilería simple, con la finalidad de obtener su resistencia característica a compresión axial y a compresión diagonal.

Para el ensayo de tracción diagonal los muretes construidos tenían dimensiones de 2.6 m de longitud por 2.4 m de altura y un espesor de 13 cm, a los cuales se le aplico carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado, hasta presentar falla; luego para lograr reparar este muro se encamisó con malla electro soldada de 4,5 mm de diámetro espaciadas 15 cm en ambas caras del muro para aplicarle la solicitud de carga a la cual estaba sujeto el muro original, con el objeto de lograr una comparación, con lo cual se obtuvieron resultados como: el método de reparación logró que la rigidez lateral inicial se recupere en 85% respecto a la del muro original, el módulo de corte del muro reparado fue 33% mayor que el del muro original, sin embargo, la rigidez lateral del muro reparado fue 15% menor que la del muro original y es porque la rigidez lateral depende no solo de la deformación por corte, sino también de la deformación por flexión, y en la reparación no se contempló el resane de las fisuras finas existentes en las columnas ni la mejora de la resistencia a flexión. Por último se proporcionó al muro un mejor comportamiento sísmico, ya que las grietas diagonales del muro original se transformaron en fisuras finas y la resistencia a carga lateral se incrementó sustancialmente (40%). Asimismo, la falla en el muro reparado fue por flexión, que finalmente derivó en deslizamiento y pandeo del refuerzo vertical⁶.

⁶ SAN BARTOLOMÉ, Ángel y CASTRO, Arturo. Reparación de un muro de albañilería confinada. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad Ingenierías. Ingeniería Civil, 2007. 8 p. [en línea]. [citado en 16 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: < <http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-Reparaci%F3n-Muro%20Confinado%20.pdf> >

Otros ensayos realizados fue el de compresión axial en 4 pilas de 60 cm de altura y 13 cm de espesor, y de compresión diagonal en 4 muretes cuadrados de 60 x 60 cm con 13 cm de espesor, con el fin de conocer las propiedades de la mampostería, de los cuales se obtuvo una resistencia característica a compresión axial $f'_m = 86 \text{ kg/cm}^2$ y a compresión diagonal $v'_m = 17 \text{ kg/cm}^2$. La falla de estos especímenes fue frágil, triturándose los ladrillos.

2.1.1.2 Modalidades de refuerzo de la mampostería en México. El capítulo quinto de este texto hace referencia al comportamiento de las mamposterías reforzadas y el efecto de la cuantía y distribución del acero de refuerzo, pero para ello es necesario además analizar aspectos relacionados a las características generales de las piezas, del mortero y del refuerzo mínimo que piden las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTCM). Es importante hacer notar que en el caso de las características de las piezas, de los morteros y de las mamposterías que se dan como valores índice de resistencia en las normas, fueron obtenidos de estudios que datan de principios de los años 70 y aparecieron por primera vez en el Reglamento de 1977; estos valores han permanecido sin modificación desde esa fecha. Aunque existen piezas de excelente calidad, en general la calidad de la mampostería no es la esperada, pues su resistencia ha disminuido mucho debido a factores relacionados con la calidad de las piezas, el control en obra del mortero y de la mampostería, el desconocimiento de los diseñadores del comportamiento de las mamposterías.

Una estructura de mampostería siempre va a estar expuesta a diversas cargas tales como carga vertical debida al peso de las losas, de las cargas vivas y a su peso propio, fuerzas cortantes y momentos de volteo (flexión) originados por las fuerzas de inercia durante un sismo y empujes normales al plano de los muros que pueden ser causados por empuje de viento, tierra o agua, así como por fuerzas de inercia cuando el sismo actúa normal al plano del muro; todo esto puede originar que la mampostería falle, por lo que es conveniente conocer el comportamiento y los tipos de falla que se puede presentar en ellas independientemente de la existencia o no del refuerzo.

Algunas de estas fallas son la falla por carga axial, la cual es muy poco probable que ocurra debido a que el área de los muros es grande; podría ocurrir si las piezas son de muy mala calidad, o porque han perdido capacidad de carga por efecto del intemperismo. Se identifica porque el material literalmente se aplasta cuando es de baja calidad, o si es de buena calidad, aparecen numerosas grietas verticales. Otra falla que se puede presentar es la falla por flexión que se produce cuando se alcanza el esfuerzo resistente en tensión de la mampostería, el cual es muy bajo (del orden de 1 a 2 kg/cm^2) y puede ocurrir en el plano del muro o perpendicular a éste. La flexión en el plano del muro es grave cuando no hay acero de refuerzo; al haber refuerzo, éste toma los esfuerzos de tensión que la mampostería no es capaz de soportar; éstas se identifican mediante grietas horizontales que se forman en los extremos del muro, siendo mayores las grietas en la parte inferior y disminuyendo la altura del muro. También se puede observar la falla debida a un esfuerzo cortante, la cual se obtiene cuando existe carga vertical sobre el muro que contrarresta el efecto de la flexión, o en muros de gran longitud, o se tiene suficiente refuerzo vertical. Se identifican dos formas de falla en cortante: en una de ellas la grieta es diagonal que corre solamente a través de las

juntas de mortero (en escalera), a esta se le conoce como falla por cortante; mientras que si la grieta es casi recta rompiendo las piezas, se dice que la falla es por tensión diagonal.

El comportamiento de muros de mampostería ha sido estudiado en México desde los años 60, por lo que se han realizado innumerables investigaciones que dan como conclusión que antes de agrietarse el muro tiene un comportamiento elástico lineal aún para cargas alternadas; después que se agrieta, su comportamiento dependerá de la cantidad y disposición del acero de refuerzo. Si el refuerzo es poco, los ciclos histérico son delgados, haciendo ver la poca capacidad de disipar energía, por lo que comúnmente se pierde resistencia drásticamente. Pero si tiene refuerzo suficiente, los ciclos de histéresis son amplios y el muro es capaz de soportar altos niveles de carga con grandes deformaciones; incluso puede llegar a tener un comportamiento equivalente al elastoplástico, de allí la importancia del refuerzo en muros de mampostería. Para cargas alternadas, el deterioro (pérdida de rigidez y resistencia) del muro es pequeño cuando se tienen distorsiones menores a la del agrietamiento; después de éste, el deterioro depende de la manera como se refuerce el muro. El material hueco es más sensible al deterioro que uno macizo, y es diferente la intensidad del deterioro si la falla es por flexión (dúctil) a que si es por cortante o por tensión diagonal (frágil), siendo mayor en los últimos casos, por lo tanto para evitar la falla frágil de la mampostería, es necesario que ésta se refuerce adecuadamente.

En Estados Unidos y otros países, el sistema constructivo consiste en reforzar los muros de piezas huecas con barras verticales en los huecos de las piezas y horizontales en las juntas o piezas especiales. La experiencia sobre el comportamiento sísmico de estas construcciones es más o menos amplia, hay evidencia de que con cantidades altas de refuerzo se obtiene un incremento en la resistencia con respecto a la mampostería no reforzada y un comportamiento bastante dúctil. Hay que recalcar que las cantidades de refuerzo necesarias para lograr un comportamiento adecuado son muy altas y que se requieren separaciones pequeñas del refuerzo tanto vertical como horizontalmente. El procedimiento tiene distintas modalidades que llegan en muros de edificios altos hasta el relleno total de los huecos de las piezas con concreto y el colado de muros delgados de concreto entre dos paños de muros de mampostería.

En México, el refuerzo interior no es muy popular debido a la dificultad de supervisión y, cuando se usa, se emplean cantidades de refuerzo mucho menores que las mínimas especificadas en Estados Unidos, con lo cual se ha demostrado, tanto en laboratorio como en estructuras reales, que se tiene un comportamiento sísmico no muy satisfactorio debido a que la resistencia se deteriora rápidamente por la repetición de cargas alternadas.

Este procedimiento de refuerzo tiene la ventaja, sobre el de confinar con dalas y castillos, a que el muro puede quedar aparente; tiene sin embargo la desventaja de que las piezas huecas tienden a tener fallas locales por desprendimiento de sus paredes, que la liga que se obtiene entre los distintos elementos es menos efectiva y que la cantidad de refuerzo necesaria para asegurar un buen comportamiento es mayor. Estos aspectos negativos son más importantes si las piezas son de barro, ya que el concreto en los huecos no se adhiere a las piezas. Mucho de este problema se ha evitado en México usando varillas de diámetro

pequeño y alta resistencia entre las juntas del mortero; en los múltiples ensayos que se han realizado, se ha observado que no ocurre una falla explosiva como es común que ocurra cuando no se tiene este refuerzo, ya que éste evita concentrar la zona de daño en los extremos superior e inferior de los muros, permitiendo, al actuar como “estribos”, distribuir los esfuerzos cortantes en una zona más amplia.

En un muro que soporta tanto cargas verticales como laterales, la falla se inicia por agrietamiento horizontal en la base (flexión), presentándose después una falla por agrietamiento diagonal al aumentar las cargas. El tener carga vertical aumenta apreciablemente la resistencia al primer agrietamiento y tiende a llevar a un tipo de falla por tensión diagonal, disminuyendo la capacidad de deformación del muro. El agrietamiento por flexión se reduce también al aumentar el acero de refuerzo en los extremos del muro y la carga vertical sobre el mismo.

Los aplanados de buena calidad (que contengan cemento) contribuyen en forma importante a la resistencia del muro, principalmente porque ayudan a redistribuir los esfuerzos. También se ha observado que el confinamiento exterior del muro (dadas y castillos) no influye apreciablemente en la resistencia al agrietamiento, pero sí a la resistencia y capacidad de deformación en la falla; tampoco el refuerzo colocado en el interior de las piezas aumenta la resistencia al agrietamiento, pero el refuerzo horizontal colocado entre las juntas del mortero, tanto en muros confinados como con refuerzo interior, ayuda a repartir mejor la fuerza cortante en toda la altura del muro, evitando que se concentre en sus extremos superior e inferior.

Ya sea por flexión o por cortante, se producen aplastamientos y desprendimientos locales en los extremos de los muros para etapas cercanas a la falla, dichos aplastamientos son debidos a la gran expansión lateral que tiene el mortero para altos niveles de esfuerzos, lo que produce tensiones en las piezas. En Estados Unidos y Nueva Zelanda se evita lo anterior colocando piezas de acero perforadas en los extremos de los muros en las dos o tres hiladas inferiores y superiores, esto resulta impráctico en nuestro medio; una solución eficiente que ha dado muy buenos resultados, aún en mampostería de piezas huecas, es colocar varilla corrugada de pequeño diámetro (5/32" a 5/16") y de muy alta resistencia (6000 kg/cm²), en las juntas de mortero; éste refuerzo también ha probado ser efectivo, para resistir fuerza cortante una vez que el muro se agrieta.

Cabe resaltar que todo tipo de refuerzo trabaja a su plena capacidad después que se daña la mampostería; y que la presencia de agrietamiento no implica necesariamente la falla del muro, sino que ésta depende del confinamiento, refuerzo exterior e interior, que éste tenga y que pueda hacer que el muro resista cargas similares o mayores a la de agrietamiento.

Es necesario recalcar que el refuerzo horizontal entre las juntas del mortero usando la denominada escalerilla no es conveniente, ya que se ha visto durante ensayos en laboratorio que ocurre una falla frágil al romperse la escalerilla para deformaciones relativamente bajas, cosa que no ocurre cuando se emplean varillas de diámetro pequeño que se anclan en los extremos del muro.

Otro tipo de refuerzo del cual también ya se tienen buenas experiencias es el consistente de mallas electro soldadas, por una o por ambas caras del muro. El uso de estas mallas se ha dirigido preponderantemente como procedimiento para reparar mamposterías dañadas; experiencias con mallas del tipo gallinero o para cerca no han dado resultados satisfactorios, y en el caso de las mallas electro soldadas es condición indispensable sujetarlas adecuadamente a la mampostería, digamos a cada 30 ó 45 cm en ambas direcciones mediante alambres que amarren ambos lechos de malla, además, debe emplearse un mortero de buena calidad para lograr una buena adherencia con la mampostería. La norma de mampostería propuesta (GDF, 2002), presenta un criterio de diseño para evaluar la contribución de la malla a la resistencia a cortante.⁷

Posteriormente en Colombia también se han venido realizando investigaciones acerca de reforzamiento de mampostería, un claro ejemplo de ello es la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá.

2.1.1.3 Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Este trabajo tiene como objeto investigar la aplicabilidad del refuerzo con malla electro soldada para muros en mampostería no estructural. Este estudio se enfocó en el análisis del comportamiento de muros construidos con bloques # 4 y bloques # 5, los cuales son los más usados en Colombia. El sistema de refuerzo consiste en fijar al muro una malla electro soldada por medio de anclajes mecánicos y finalmente cubrir con un pañete. El comportamiento de los muros se analizó variando el tipo de la malla electro soldada y la posición del refuerzo.

Para el desarrollo de la parte experimental se ensayaron un total de 40 muretes, donde 20 fueron construidos con bloque No. 4 y los otros 20 con bloque No. 5. Sometidos a tracción diagonal y 3 muros a carga lateral, para determinar el aporte del refuerzo en la resistencia, ductilidad y deformación de los muros.

Es necesario rehabilitar una vivienda cuando existan deficiencias constructivas que representen un peligro para la seguridad y/o cuando un terremoto u otro efecto causen daños estructurales en la misma.

El grado de rehabilitación sismo resistente de viviendas depende de la evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica y de la evaluación del nivel del daño en las viviendas afectadas por sismos. De esta forma se puede decidir si la vivienda necesita ser reparada, reforzada o reconstruida. El reforzamiento de una vivienda se lleva a cabo cuando se desee aumentar: la capacidad portante, la ductilidad y capacidad de deformación en el rango inelástico (aunque no se haya podido medir) de la misma, especialmente en los muros, y se lleva a cabo no necesariamente cuando la estructura presente deterioros causados por terremotos u

⁷ HERNANDEZ BASILIO, Oscar. Modalidades de refuerzo de la mampostería en México. México: UNAM. Instituto de Ingeniería. [en línea]. [citado en 3 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.capac.org/web/portals/0/biblioteca_virtual/doc002/Cap%C3%ADtulo%205.pdf >

otros causantes. De los tipos de reforzamiento comúnmente empleados en viviendas Colombianas son la construcción de vigas y columnas de confinamiento en concreto reforzado, confinamiento de aberturas, reemplazo de muros no estructurales o muros con aberturas por muros estructurales, revestimiento estructural con fibras compuestas, costura de grietas con barras de refuerzo.

Para llevar a cabo esta investigación lo primero fue determinar las dimensiones de los bloques de arcilla N°4 y N°5, según estudios son los más utilizados en Colombia. Las unidades que se usaron fueron producción de una ladrillera ubicada en el sur de Bogotá, en donde se seleccionaron aleatoriamente las unidades y en donde se certificó el cumplimiento de la norma NTC 4205. Para la elaboración del mortero de pega se diseñó un mortero tipo N que cumple con las características mostradas en la Tabla D.3.1 del Capítulo D-3 de la NSR-98; y con una dosificación de 1:0.5:3 (cemento:cal:arena). El tipo de anclaje seleccionado fue el perno de vuelco Toggler Bolt de la empresa Hilti Colombia S.A. Este sistema de fijación consiste en un canal roscado que acepta un tornillo, patas plásticas únicas y un capuchón de tranca para fijar en materiales huecos.

La utilización del anclaje mecánico se vio necesaria por los altos esfuerzos a tensión que se esperaban durante el ensayo. En cuanto a los muretes, se determinó que sólo se colocarían 2 anclajes por m² y en las esquinas opuestas al eje de aplicación de la carga. Para los muros a escala real se colocaron 5 anclajes con una separación aproximada de 1.6 m, ya que fue lo establecido en el diseño por m². Estos últimos se ubicaron simétricamente e intercalados.

Se emplearon dos tipos de mallas electro soldadas; la primera, de 4.5 mm de diámetro con un espaciamiento de 15 cm y la segunda, de 6.5 mm de diámetro con un espaciamiento de 15 cm. En cuanto a la elaboración del mortero del pañete se cambió la dosificación a 1:0.5:2 (cemento:cal:arena), para proporcionarle mayor resistencia al sistema de refuerzo. Por otro lado se construyeron prismas colocando dos bloques, uno encima del otro, unidos por mortero de pega. Se realizaron 5 prismas por cada tipo de bloque, es decir, 5 para el bloque No. 4 y 5 para el bloque No. 5, ya que según la norma NSR-98 se especifica que debe de ensayarse un mínimo de 3 prismas por cada 500 metros cuadrados de muro o fracción.

Para la investigación se determinaron muretes de dimensiones de 1.10m x 1.10 m realizándose como mínimo 3 especímenes por cada tipo de alternativa; sin embargo, para prever cualquier inconveniente se construyeron 4 muretes. En cuanto a los muros se ensayó solamente uno cuyas dimensiones eran de 1.73 m x 1.73 m, y el muro de mampostería con el sistema de transmisión de carga y la adecuación al banco de pruebas de 2.13 m x 1.93 m.

Para el análisis de la influencia del sistema de refuerzo en muros de mampostería no estructural, se vio la necesidad de variar la posición del refuerzo, (en una cara o en dos caras), el bloque y el espesor de la malla electro soldada.

En la realización de los muretes se tuvieron pegas horizontales y verticales de 1,5 cm aproximadamente, teniendo en cuenta además el proceso de curado, para lo cual se mojaban 2 veces diarias y se cubrieron con plásticos durante la primera semana; fue necesario rellenar las esquinas de la diagonal a la cual se le aplicaría la carga.

En cuanto a los muros se realizaron 3 conformados por 8 hiladas de 5 ½ bloques por cada una y pegas horizontales y verticales de 1.5 cm aproximadamente. Debido a que el ensayo sobre los muros fue de carga lateral, hubo la necesidad de implementar un sistema de transmisión de carga el cual consistió en una viga superior y una columna en concreto reforzado. Adicionalmente, para la adecuación de los muros al banco de pruebas o placa de reacción fue necesario la elaboración de una viga inferior en concreto reforzado; en estos muros se usaron 5 unidades de anclaje para cada uno.

Es necesario mencionar que además de los ensayos mencionados anteriormente se realizaron también los ensayos de Resistencia a la Compresión, de Absorción Total y de Estabilidad Dimensional para unidades de mampostería; así como el ensayo de Resistencia a la Compresión para cubos de mortero y cilindros de concreto.

Después de haber realizado dichos ensayos y de analizar y depurar los resultados se desarrolló un modelo analítico de los muretes, para el cual se utilizó el programa de elementos finitos SAP2000 Non Linear, donde los bloques de arcilla se modelaron como elementos tipo shell, el mortero de pega y de pañete como sólido y la malla electro soldada. La mampostería presenta un comportamiento frágil y no lineal al ser sometido a diferentes solicitaciones de carga; por esta razón esta modelación no se realiza para determinar valores de esfuerzos reales de los muros de mampostería no reforzada. Con la modelación se identifican la distribución de los esfuerzos y deformaciones que van a soportar internamente el conjunto de piezas al ser sometidas a un sistema de cargas en su rango elástico.

De lo cual se puede concluir para bloques N°4 que en los muretes sin refuerzo presentaron un comportamiento frágil, explosivo y peligroso para las vidas humanas. En promedio su esfuerzo cortante fue bajo, con un valor de 0.341 MPa; en cuanto a los muretes reforzados en ambas caras el porcentaje del aumento del esfuerzo cortante promedio superó el 78% con respecto al esfuerzo cortante del testigo. Se caracterizó por no presentar separación de las piezas que lo conformaba, ya que el sistema hacía que estas permanecieran unidas; en los muretes que llevaban el sistema de refuerzo en una cara, se observó un aumento en el esfuerzo cortante considerable, pero de menor magnitud que el observado en el sistema de refuerzo de dos caras, ya que alcanzó un aumento del 42%. Por otro lado, se pudo observar que no necesariamente el murete con mayor diámetro de malla fue el más resistente.

Para los bloques N°5 se concluye que el murete testigo reportó en promedio un esfuerzo cortante bajo, con un valor de 0.323 MPa; los muretes reforzados por una cara resistieron más con la malla de 6.5 mm de diámetro, del orden de 46.15 %, mientras que con la malla de 4.5mm de diámetro sólo se incrementó en un 37.25%. En cambio, los muretes reforzados por las dos caras y con malla de 6.5 mm de diámetro aumentaron su resistencia

en un 65.78%, mientras que con la malla de 4.5 mm de diámetro su crecimiento de la resistencia fue del 69.52%.

Para solucionar este problema presentado y descrito anteriormente la Escuela Colombiana de Ingeniería Sísmica en su norma Técnica Colombiana del 2010 establece en el título D12 los requerimientos para reforzar mampostería simple mediante reforzamiento externo con malla electrosoldada.⁸

2.2 MARCO CONCEPTUAL

El presente trabajo tiene como objeto principal la determinación de la Resistencia a la compresión f'_m , Modulo elasticidad o longitudinal (E) y Modulo a corte (G) de los muros realizados en bloque H-10 con fines de modelación, este proceso se puede observar en la ilustración 3 y 4.

Figura 2. Define Materiales



Fuente. SAP 2000 Nonlinear⁹

⁸ FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

⁹ SAP 2000 Three Dimensional Static and Dynamic finite Element Analysis and Design of Structures, Nonlinear 8.01 Caltrans. Computers and Structures Inc. Berkeley, California, 2002.

Figura 3. Material Propiety data (SAP 2000)

Material Property Data	
General Data	
Material Name and Display Color	Hormigon Armado
Material Type	Concrete
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2400
Mass per Unit Volume	244.7319
Units	Kgf. m. C
Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.188E+09
Poisson's Ratio, U	0.2
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	9.117E+08
Other Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f'c	2100000
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	
<input type="checkbox"/> Switch To Advanced Property Display	
OK Cancel	

Fuente. SAP 2000 Non linear

2.2.1 Resistencia a la compresión. Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. La resistencia a la compresión de un material que falla debido al fracturamiento se puede definir en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los materiales que no se rompen en la compresión se define como la cantidad de esfuerzo necesario para deformar el material una cantidad arbitraria. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima por el área transversal original de una probeta en un ensayo de compresión.¹⁰

2.2.2 Modulo de corte. El módulo de elasticidad transversal, también llamado módulo de cizalladura, es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico (lineal e isótropo) cuando se aplican esfuerzos cortantes. Este módulo recibe una gran variedad de nombres, entre los que cabe destacar los siguientes: módulo de rigidez transversal, módulo de corte, módulo de cortadura, módulo elástico tangencial, módulo de elasticidad transversal.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad transversal tiene el mismo valor para todas las direcciones del espacio. En materiales anisótropos se pueden

¹⁰ INSTRON. Resistencia a la compresión. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Compressive-Strength.aspx>>

definir varios módulos de elasticidad transversal, y en los materiales elásticos no lineales dicho módulo no es una constante sino que es una función dependiente del grado de deformación.¹¹

2.2.3 Modulo de elasticidad. Relación entre la fatiga unitaria y la correspondiente deformación unitaria en un material sometido a un esfuerzo que está por debajo del límite de elasticidad del material. También llamado módulo de elasticidad, módulo de Young, módulo elástico.

Un módulo elástico es un tipo de constante elástica que relaciona una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

Los materiales elásticos isótropos quedan caracterizados por un módulo elástico y un coeficiente elástico (o razón entre dos deformaciones). Es decir, conocido el valor de uno de los módulos elásticos y del coeficiente de Poisson se pueden determinar los otros módulos elásticos. Los materiales ortótropos o anisótropos requieren un número de constantes elásticas mayor.¹²

2.2.4 Esfuerzo cortante. Las fuerzas aplicadas a un elemento estructural pueden inducir un efecto de deslizamiento de una parte del mismo con respecto a otra. En este caso, sobre el área de deslizamiento se produce un esfuerzo cortante, o tangencial, o de cizalladura. Análogamente a lo que sucede con el esfuerzo normal, el esfuerzo cortante se define como la relación entre la fuerza y el área a través de la cual se produce el deslizamiento, donde la fuerza es paralela al área.¹³

Además es indispensable determinar si los bloques que se producen en el Norte de Santander están cumpliendo lo dispuesto para su utilización según el Título D y E de la Norma Sismo Resistente del 2010 (NSR-10), la cual data el seguimiento de las especificaciones establecidas por la NTC 4205 (Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos) , NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm o 50,8 mm de lado), NTC 5784(Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico), NTC 3495 (Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería), ESTM E 519-07 (Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages).

2.2.5 Materiales cerámicos. Se entiende por material cerámico el producto de diversas materias primas, especialmente arcillas , que se fabrican en forma de polvo o pasta (para poder darles forma de una manera sencilla) y que al someterlo a cocción sufre procesos

¹¹ CYCLOPAEDIA.NET. Módulo de cortante. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://es.cyclopaedia.net/wiki/Modulo-de-cortante>>

¹² WIKIPEDIA La enciclopedia libre. Modulo elástico. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_el%C3%A1stico>

¹³ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Sede Palmira. Resistencia de Materiales. Esfuerzo cortante. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/1_4.htm>

físico-químicos por los que adquiere consistencia pétrea. Dicho de otro modo más sencillo, son materiales sólidos inorgánicos no metálicos producidos mediante tratamiento térmico. Todos ellos se obtienen al hornear materiales naturales, como la arcilla o el caolín, junto con una serie de aditivos, como colorantes, desengrasantes, etc., todo ello mezclado y cocido en un horno sucesivas veces.

2.2.5.1 Propiedades generales de los materiales cerámicos. Comparados con los metales y plásticos son duros, no combustibles y no oxidables.

Su gran dureza los hace un material ampliamente utilizado como abrasivo y como puntas cortantes de herramientas.

Gran resistencia a altas temperaturas, con gran poder de aislamiento térmico y, también, eléctrico.

Gran resistencia a la corrosión y a los efectos de la erosión que causan los agentes atmosféricos.

Alta resistencia a casi todos los agentes químicos.

Una característica fundamental es que pueden fabricarse en formas con dimensiones determinadas.

Los materiales cerámicos son generalmente frágiles o vidriosos. Casi siempre se fracturan ante esfuerzos de tensión y presentan poca elasticidad.

2.2.5.2 Clasificación de los materiales cerámicos. Dependiendo de la naturaleza y tratamiento de las materias primas y del proceso de cocción, se distinguen dos grandes grupos de materiales cerámicos: las cerámicas gruesas y las cerámicas finas.

Materiales cerámicos porosos o gruesos. No han sufrido vitrificación, es decir, no se llega a fundir el cuarzo con la arena debido a que la temperatura del horno es baja. Su fractura (al romperse) es terrosa, siendo totalmente permeables a los gases, líquidos y grasas. Los más importantes:

Arcilla cocida: de color rojiza debido al óxido de hierro de las arcillas empleadas. La temperatura de cocción es de unos 800°C. A veces, la pieza se recubre con esmalte de color blanco (óxido de estaño) y se denomina loza estannífera. Con ella se fabrican: baldosas, ladrillos, tejas, jarrones, cazuelas, etc.

Loza italiana: Se fabrica con arcilla entre amarilla-rojiza mezclada con arena, pudiendo recubrirse de barniz transparente. La temperatura de cocción ronda los 1000°C. Se emplea para fabricar vajillas baratas, adornos, tiestos, etc.

Loza inglesa: Fabricada de arcilla arenosa a la cual se le ha eliminado el óxido de hierro y se le ha añadido sílex, yeso, feldespato (bajando el punto de fusión de la mezcla) y caolín para mejorar la blancura de la pasta. Se emplea para vajilla y objetos de decoración. La cocción se realiza en dos fases:

Se cuece a unos 1100°C. Tras lo cual se saca del horno y se recubre con esmalte.

Se introduce de nuevo en el horno a la misma temperatura

Refractarios: Se fabrican a partir de arcillas mezcladas con óxidos de aluminio, torio, berilio y circonio. La cocción se efectúa entre los 1.300 y los 1.600 °C, seguidos de enfriamientos muy lentos para evitar agrietamientos y tensiones internas. Se obtienen productos que pueden resistir temperaturas de hasta 3.000 °C. Las aplicaciones más usuales son: ladrillos refractarios (que deben soportar altas temperaturas en los hornos) y electrocerámicas (usados en automoción, aviación, etc.)

Materiales cerámicos impermeables o finos: en los que se someten a temperaturas suficientemente altas como para vitrificar completamente la arena de cuarzo. Así, se obtienen productos impermeables y más duros. Los más importantes son:

Gres cerámico común: obtenido a partir de arcillas ordinarias, sometidas a temperaturas de unos 1.300 °C. Es muy empleado en pavimentos y paredes.

Gres cerámico fino: Obtenido a partir de arcillas conteniendo óxidos metálicos a las que se le añade un fundente (feldespato) para bajar el punto de fusión. Más tarde se introducen en un horno a unos 1.300 °C. Cuando está a punto de finalizar la cocción, se impregnan los objetos de sal marina que reacciona con la arcilla formando una fina capa de silicoaluminato alcalino vitrificado que confiere al gres su vidriado característico. Se emplea para vajillas, azulejos.

Porcelana: obtenido a partir de una arcilla muy pura, caolín, mezclada con fundente (feldespato) y un desengrasante (cuarzo o sílex). Su cocción se realiza en dos fases: una a una temperatura de entre 1.000 y 1.300 °C y, tras aplicarle un esmalte otra a más alta temperatura pudiendo llegar a los 1.800 °C. Teniendo multitud de aplicaciones en el hogar (pilas de cocina, vajillas, tazas de café, etc.) y en la industria (toberas de reactores, aislantes en transformadores, etc.).¹⁴

En la norma sismo resistente 2010 especifica en el título D, capítulo D.3.6 los tipos de unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de

¹⁴ TECNOLOGIA ESO, materiales cerámicos. propiedades, clasificación y obtención. [en línea]. [citado en 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html#sthash.vCcw6sVC.dpuf>>

perforación vertical, de perforación horizontal o sólida, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.¹⁵

2.2.6 Ladrillo. Son elementos constructivos en forma de prisma rectangular que pueden ser de arcilla cocida o arcilla cruda; a estos últimos se les llama adobes y sólo son utilizados en cercas o construcciones pequeñas, tienden a ser reemplazados por los bloques o por los ladrillos cocidos.

2.2.6.1 Procesado de materiales cerámicos para la fabricación de ladrillo. Las etapas básicas en la fabricación de productos cerámicos son:

Extracción: obtención de la arcilla, en las canteras, llamadas barrenos, que además de ser a cielo abierto, suelen situarse en las inmediaciones de la fábrica de arcilla.

Preparación: Consiste en la molienda primero y la mezcla de las diferentes materias primas que componen el material. La composición variará en función de las propiedades requeridas por la pieza de cerámica terminada. Las partículas y otros constituyentes tales como aglutinantes y lubricantes pueden ser mezclados en seco o húmedo. Para productos cerámicos tales como ladrillos comunes, tuberías para alcantarillado y otros productos arcillosos, la mezcla de los ingredientes con agua es una práctica común. Para otros materiales cerámicos, las materias primas son tierras secas con aglutinantes y otros aditivos.

Conformación: los métodos de modelado de cerámica que se utilizan más comúnmente son:

Prensado. La materia prima puede ser prensada en estado seco, plástico o húmedo, dentro de un troquel para formar productos elaborados (Ver vídeo como se fabrican los azulejos más abajo).

Prensado en seco: este método se usa frecuentemente para productos refractarios (materiales de alta resistencia térmica) y componentes cerámicos electrónicos. El prensado en seco se puede definir como la compactación uniaxial simultánea y la conformación de los polvos granulados con pequeñas cantidades de agua y/o pegamentos orgánicos en un troquel. Después del estampado en frío, las partículas son normalmente calentadas (sinterizadas) a fin de que se consigan la fuerza y las propiedades microestructurales deseadas. El prensado en seco se utiliza mucho porque permite fabricar una gran variedad de piezas rápidamente con una uniformidad y tolerancia pequeñas.

Extrusión. Las secciones transversales sencillas y las formas huecas de los materiales cerámicos en estado plástico a través de un troquel de embutir. (Ver vídeo como se fabrican los ladrillos más abajo).

¹⁵ NSR-10, Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Unidades de mampostería. Capítulo D.3.6

Fotografía 1. Procesado de material cerámico



Fuente. www.4.bp.blogspot.com¹⁶

Secado: Las piezas recién moldeadas se romperían si se sometieran inmediatamente al proceso de cocción, por lo que es necesario someterlas a una etapa de secado con el propósito es eliminar el agua antes de ser sometida a altas temperaturas. Generalmente, la eliminación de agua se lleva a cabo a menos de 100°C y puede tardar tanto como 24h. para un trozo de cerámica grande.

Cocción: al cocer las arcillas a alta temperatura se producen una serie de reacciones que desembocan en una consistencia pétreo y una durabilidad adecuada para el fin para el que se destinan. Como se ha dicho antes la temperatura dependerá del tipo de material.¹⁷

2.2.6.2 Clasificación de los ladrillos. Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

Ladrillo perforado, que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.

Ladrillo macizo, aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.

Ladrillo tejar o manual, simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.

¹⁶ HORNO DE LADRILLOS. [en línea]. [citado el 25 de agosto del 2013]. Disponible en internet en : <<http://4.bp.blogspot.com/D08jLJS9ELo/URPtRnxCeM/AAAAAAAAAHrQ/7TPMbZWIFLk/s1600/horno+de+ladrillos.jpg>>

¹⁷ TECNOLOGIA ESO, materiales cerámicos. propiedades, clasificación y obtención. [en línea]. [citado en 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html#sthash.vCcw6sVC.dpuf>>

Ladrillo aplantillado, aquel que tiene un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, generalmente a sardinel, conforman una moldura corrida. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las piedras, y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo.

Ladrillo hueco, son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el peso y el volumen del material empleado en ellos, facilitando su corte y manejo. Aquellos que poseen orificios horizontales son utilizados para tabiquería que no vaya a soportar grandes cargas. Pueden ser de varios tipos:

Rasilla: su soga y tizón son mucho mayores que su grueso. En España, sus dimensiones más habituales son 24 x 11,5 x 2,5 cm.

Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.

Ladrillo hueco doble: con dos hileras de perforaciones en la testa.

Ladrillo hueco triple: posee tres hileras de perforaciones en la testa.

Ladrillo caravista: son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.

Ladrillo refractario: se coloca en lugares donde debe soportar altas temperaturas, como hornos o chimeneas.

Los ladrillos son utilizados en construcción en cerramientos, fachadas y particiones.

Se utiliza principalmente para construir Paredes, muros o tabiques. Aunque se pueden colocar a hueso, lo habitual es que se reciban con mortero. La disposición de los ladrillos en el muro se conoce como aparejo, existiendo gran variedad de ellos.¹⁸

2.2.7 Propiedades físicas y mecánicas de los bloques. Los ensayos más frecuentes para medir las características físicas y mecánicas de los bloques de arcilla, son los siguientes: módulo de rotura (resistencia a la flexión), resistencia a la compresión, ensayo de inmersión durante 24 horas, tasa inicial de absorción (succión), medición de alabeo, relación de vacíos, resistencia a la compresión en prismas, tracción diagonal en muretes; teniendo en cuenta además los ensayos de resistencia a la compresión en cubos de mortero y fluidez del mortero con el fin de garantizar su calidad.

2.2.7.1 Tasa de absorción inicial. Este ensayo tiene como finalidad conocer la capacidad de absorción capilar que tienen las unidades secas, medida durante 1 min; se expresa en g/cm²/min.

2.2.7.2 Tasa de absorción final. El objeto de esta actividad es calcular el incremento en la masa de un material seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

¹⁸ WIKIPEDIA la enciclopedia libre. ladrillo. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo>>

2.2.7.3 Resistencia mecánica a la compresión. Este laboratorio consiste en someter una muestra de material que no tenga muchas irregularidades a compresión mediante una carga aplicada uniformemente sobre la superficie de una de las caras del bloque hasta alcanzar su falla. En este ensayo se toman los datos de la resistencia última de cada bloque y dividiéndola entre el área de la superficie en compresión se obtiene el valor del esfuerzo último correspondiente.

2.2.7.4 Resistencia a la flexión. Este ensayo utiliza el principio de una viga simplemente apoyada con carga puntual en el centro de la luz. Usando la máquina de compresión se aplica carga constantemente hasta alcanzar la falla de cada bloque. Se recolectan los datos de la resistencia última del material. Con los datos de las dimensiones de cada bloque se calcula el momento producido por la carga (M), su inercia (I) y la distancia al eje neutro (c) con lo cual se determina el esfuerzo último a compresión.

2.2.7.5 Alabeo. La importancia de este ensayo se centra en que la mayor concavidad o convexidad del bloque produce un aumento en el espesor de la junta y disminuye la adherencia mortero-ladrillo al formarse vacíos en la zonas más alabeadas.

2.2.7.6 Relación de vacíos. Con esta experiencia se busca determinar el volumen de vacíos correspondientes a las celdas y perforaciones de las unidades de mampostería; relacionando el volumen perteneciente a las cavidades del bloque con su volumen total.¹⁹

2.2.7.7 Fluides del mortero. El contenido de cemento, en sí afecta la resistencia del concreto, la resistencia disminuye conforme se reduce el contenido de cemento. En este ensayo se obtiene la cantidad necesaria de agua que necesita un mortero para su homogeneización entre el cemento y el árido (arena); con esta cantidad de agua el mortero puede sacar gran eficacia en la obra a ejecutar, esto más el respectivo curado.²⁰

2.2.7.8 Compresión del mortero de pega. La mezcla para formar el mortero están compuestas de una parte de cemento, arena y agua, ensayados en unos cubos de 50 mm como moldes, los cuales después de un día de curado se desmoldan y sumergen en agua, quienes al ser ensayados proporcionar un medio para determinar la resistencia a la compresión del mortero de pega, dado que sus resultado permiten analizar si la conformación y especificaciones de la mezcla son las adecuadas. Cumpliendo además con La dosificación adecuada del mortero antes diseñado y comprobando su resistencia.

2.2.7.9 Resistencia a la compresión axial en prismas. En este caso se experimentan pequeños especímenes cuyos ensayos permiten determinar su resistencia a la compresión

¹⁹ SLIDESHARE. Propiedades mecánicas. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://www.slideshare.net/Rukawua90/propiedades-mecanicas-3>>

²⁰ SCRIBD. Fluides de los morteros de cemento. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://es.scribd.com/doc/110544131/Fluides-de-Los-Morteros-de-Cemento>>

dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la unidad. Además si se instrumenta adecuadamente se puede obtener el módulo de elasticidad (E_m).²¹

2.2.7.10 Tracción diagonal. El objetivo de este laboratorio consiste en aplicar fuerza diagonal a pequeños muros previamente construidos en bloque H-10 para determinar su resistencia al corte puro, dividiendo la carga diagonal de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada. También se busca con este hallar el módulo de corte (G_m).

La mayoría de los edificios fijos en la base satisfacen la necesidad de reducir las fuerzas cortantes sísmicas, generalmente apoyándose en la disipación de energía mediante el comportamiento histérico de su estructura; para ello ha sido necesario basarse en la ductilidad de sus miembros y en la formación de articulaciones plásticas en ellos. Sin embargo, cuando se presentan dichas condiciones, en muchos casos la estructura sufre daños apreciables. En la actualidad las técnicas para el diseño sismoresistente dictan que la tendencia no es rigidizar el edificio, pero sí reducir las fuerzas del sismo actuando sobre él. El diseño sismoresistente se encamina al uso en la construcción de modelos estructurales diseñados en software SAP 2000 permiten proveer un modelo experimental sobre sistemas y componentes de la estructura, con el fin de evaluar su comportamiento y sus materiales bajo diferentes solicitaciones de carga, no solo bajo cargas estáticas, sino también simulando cargas dinámicas como sismos.²²

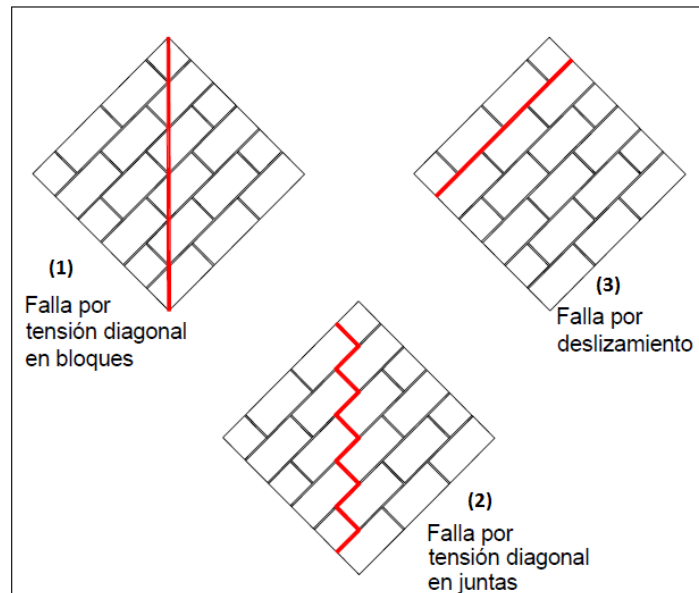
Las fallas típicas de los muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal pueden ser de tres tipos (Figura1): (1) falla por tensión diagonal en bloques; se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta.; (2) falla por tensión diagonal en juntas; se produce por la falla por adherencia bloque-mortero, su trayectoria es en forma escalonada aproximadamente al centro del murete; (3) falla por deslizamiento; se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal.²³

²¹ INGENIERÍA 17 (2): 53-70, ISSN: 1409-2441; 2007. Propiedades a compresión de mampostería. San José, Costa Rica. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/ingenieria-17-2/03-navas_propiedades.pdf>

²² UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Modelación estructural. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/436/mi_931.pdf?sequence=1>

²³ FERNANDEZ BAQUEIRO, L., MARIN GOMEZ, F., VARELA, J. y VARGAS MARIN, G. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica. 2001. 10p. [en línea]. [citado el 9 enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf>

Figura 4. Tipos de fallas en muretes de mampostería sujetos a tracción diagonal



Fuente. FERNANDEZ BAQUEIRO, L., MARIN GOMEZ, F., VARELA, J. y VARGAS MARIN, G. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY. 13-2, pp. 41-50. [en línea]. [citado el 9 enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf>

2.2.8 Mampostería. Se llama mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en erguir muros y paramentos mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos) que pueden ser, por ejemplo:

Ladrillos

Bloques de cemento prefabricados

Piedras, talladas en formas regulares o no

Este sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en alturas grandes. La mayor parte de la construcción es estructural.

A la disposición y trabazón dadas a los materiales empleados en los muros se llama aparejo.

En la actualidad, para unir las piezas se utiliza generalmente una argamasa o mortero de cemento y arena con la adición de una cantidad conveniente de agua.

En algunos casos es conveniente construir el muro sin utilizar mortero, y los muros así resultantes se denominan muro secos o muros de cuerda seca. Este tipo de trabajo de los muros es típico de las construcciones rurales tradicionales, por ejemplo, en la Alpujarra granadina, en la región de Andalucía, España.

Cuando el elemento que conforma el muro es un sillar, a la fábrica resultante se le denomina sillería a hueso, en la que los sillares se colocan en seco sin material que se interponga entre ellos.

Cuando el elemento que conforma el muro es un mampuesto, a la fábrica se le denomina mampostería en seco, en la que se colocan los mampuestos sin mortero que los una, y a lo sumo se acuñan con ripios.²⁴

2.2.8.1 Tipos de mampostería estructural. La clasificación que se enumera a continuación está basada en la determinada por la Norma Colombiana Sismoresistente, NSR-10²⁵.

- **Mampostería de cavidad reforzada.** Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas o no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES).
- **Mampostería reforzada.** Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1 de la NSR-10, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo.
- **Mampostería parcialmente reforzada.** Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).

²⁴WIKIPEDIA La enciclopedia libre. Mampostería. [en línea]. [citado el 16 enero de 2014]. Disponible en internet en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Mamposter%C3%ADa>>

²⁵ NSR-10. Título D. Clasificación, usos, normas, nomenclatura y definiciones. Capítulo D.2, pg D-5

- **Mampostería no reforzada.** Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).
- **Mampostería de muros confinados.** Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple los requisitos del capítulo D.10 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).
- **Mampostería de muros diafragma.** Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Los muros diafragma deben cumplir los requisitos del capítulo D.11 de la NSR-10. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo sólo se permite dentro del alcance del Capítulo A.10 de la NSR-10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.
- **Mampostería reforzada externamente** — Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos y cumple con los requisitos descritos en D.12 de la NSR-10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

2.2.8.2 Unidades de mampostería. Se especifican a continuación según lo determinado por la Norma Colombiana Sismoresistente, NSR-10²⁶.

- **Tipos de unidades de mampostería.** Las unidades de mampostería que se utilicen en las construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Según el tipo de mampostería estructural y según el tipo de refuerzo, las unidades pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólida, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.

²⁶ NSR-10. Título D. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Capítulo D.3, pg D-16, D-17.

• **Normas de producción y calidad.** Todas las unidades de mampostería utilizadas en el diseño y la construcción de estructuras de mampostería deben cumplir con las siguientes normas: Unidades de concreto para mampostería

Las unidades (bloque) de perforación vertical portante de concreto para mampostería deben cumplir con la norma NTC 4026²⁷ (ASTM C90)

Las unidades portantes de concreto macizas (tolete) para mampostería, deben cumplir con la norma NTC 4026²⁷ (ASTM C55)

Las unidades de concreto para mampostería no estructural, deben cumplir con la norma NTC 4076²⁸ (ASTM C129)

Unidades de arcilla para mampostería

Las unidades (bloque) de perforación vertical de arcilla para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1²⁹ (ASTM C34)

Las unidades de arcilla macizas (tolete) para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1²⁹ (ASTM C62, C652)

Las unidades de arcilla para mampostería no estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-2³⁰ (ASTM C56, C212, C216).

Las unidades de arcilla de perforación horizontal para mampostería estructural deben cumplir con la norma NTC 4205-1²⁹ (ASTM C56, C212).

Las unidades de mampostería de arcilla cocida que se utilicen en fachadas deben cumplir con la norma NTC 4205-3³¹.

Unidades sílico-calcáreas para mampostería. Las unidades sílico-calcáreas para mampostería deben cumplir con la norma NTC 922³² (ASTM C73).

²⁷ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 1997. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural.

²⁸ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 1997. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mamposterías no estructurales interiores y chapas de concreto.

²⁹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2009. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos, parte 1: mampostería estructural.

³⁰ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2009. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos, parte 2: mampostería no estructural.

³¹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2009. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos, parte 3: mampostería de fachada.

³² ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 1975. Ladrillos silico calcáreos.

- **Unidades especiales.** Para la construcción de elementos de mampostería como muros, vigas, etc., son indispensables unidades especiales, las cuales deben cumplir las especificaciones adoptadas para las unidades típicas del mismo material.

- **Unidades de mampostería de perforación vertical.** Las unidades de mampostería de perforación vertical (bloque) se pueden utilizar en las construcciones de mampostería estructural de todos los tipos clasificados en D.2.1 de la NSR-10. Pueden ser de concreto, arcilla o sílico-calceas. Se establecen, además, para este tipo de unidades los siguientes requisitos:

Dimensiones de las celdas y las paredes. El área de las celdas verticales de la pieza de mampostería en posición normal, no puede ser mayor que el 65% del área de la sección transversal. Las celdas verticales u horizontales continuas en donde se coloque refuerzo no pueden tener una dimensión menor de 50 mm, ni menos de 3000 mm² de área. Las paredes externas e internas no pueden tener un espesor menor que el establecido en la Tabla 1.

Tabla 1. Espesor mínimo de paredes en unidades (bloques) de mampostería de perforación vertical (mm)

Espesor externo Nominal	Espesor mínimo de paredes exteriores		Espesor mínimo de tabiques transversales Sin perforaciones verticales secundarias
	Sin perforaciones verticales secundarias	Con perforaciones verticales secundarias	
80	20	30	20
100	20	30	20
120	22	32	20
150	25	35	25
200	30	40	25
250	35	45	30
300	40	50	30

Fuente. NSR.10. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Capítulo D.3. p, D-17.

La unidad de 80 mm de espesor externo nominal sólo se permite en muros no estructurales y en las paredes laterales de mampostería de cavidad.

Perforaciones secundarias. Las unidades de perforación vertical en arcilla cocida pueden tener perforaciones secundarias en las paredes, distintas a las celdas principales y paralelas a ellas. Las perforaciones en las paredes no pueden tener una dimensión transversal mayor de 20 mm ni pueden estar a menos de 10 mm del borde de la pared perforada.

- **Unidades de perforación horizontal.** Las unidades de mampostería de perforación horizontal (bloque) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1 de la NSR-10, mampostería de muros confinados, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden usar combinadas con unidades de perforación vertical, en edificaciones de uno y

dos pisos del grupo de uso I para mampostería no reforzada y para mampostería parcialmente reforzada.

- **Unidades macizas de mampostería.** Las unidades macizas de mampostería (tolete) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1 de la NSR-10, mampostería de muros confinados, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden utilizar, combinadas con unidades de perforación vertical para mampostería parcialmente reforzada.

2.2.9 Mortero. El uso del mortero en la construcción ha sido muy diverso; en Colombia se usa ampliamente como material de revoque, como material de pega en la mampostería y en los últimos tiempos en la mampostería estructural.

El mortero es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y en algunas ocasiones aditivos, prácticamente es hormigón sin el agregado grueso.³³

2.2.9.1 Componentes

- **Cemento.** El Cemento Portland es uno de los más utilizados en la actualidad, son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua.

El clinker, la materia prima para producir el cemento, se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. Las variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir.

El tipo de materias primas y sus proporciones se diseñan en base al tipo de cemento deseado.

Clasificación de los cementos.

Tipo, nombre y aplicación

I: Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

IA: Normal. Uso general, con inclusor de aire.

II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

³³ BIBLIOTECA DIGITAL, Capítulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

IIA: Moderado. Igual que el tipo II, pero con inclusor de aire.

III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

IIIA: Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

Tipo I: Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación.

Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II: El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc.

Tipo III: Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV: El cemento Portland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo. El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas.

La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la

resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo.

En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos -como el mineral de fierro cuando es necesario- y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir un material nodular de color verde oscuro denominado CLINKER.³⁴

- **Agregados.** Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia de agua forman todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto.³⁵

Los agregados para el mortero de pega deben cumplir con la norma NTC 2240³⁶ (ASTM 144). Donde se estipula que el agregado en morteros de mampostería debe ser una arena natural o triturada. La arena triturada es el producto obtenido por la trituración de piedra, grava o escoria de alto horno enfriada al aire y especialmente procesada para asegurar una forma apropiada de partículas y una adecuada granulometría.

La arena natural o artificial forma el mayor constituyente en volumen y masa. Actúa como llenante inerte logrando estabilidad en el volumen, generando economía, y trabajabilidad. Dependiendo de la cantidad de arena las propiedades del mortero cambian, por ejemplo cuando se incrementa la proporción de arena aumenta el tiempo de endurecimiento del mortero pero se reducen las grietas debido a la retracción del mortero en conjunto.

La cantidad de finos en las arenas debe ser de cuidado ya que mientras la deficiencia de estos produce morteros más resistentes, los excesos de finos producen morteros de baja resistencia e incrementan la retracción.³⁷

- **Agua.** El papel del agua en la elaboración de un concreto es de suma importancia, ya que la cantidad utilizada en relación con la cantidad de cemento depende de la manejabilidad y las resistencias finales.

³⁴ ARQUBA, Cemento portland. Uso y aplicaciones. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/cemento-portland-usos-y-aplicaciones/>>

³⁵ UNICAUCA, Capítulo 2. Agregados para mortero o concreto. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%2020PDF%20ver.%20202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20concreto.pdf>>

³⁶ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2003. Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería.

³⁷ FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

También hay que hacer énfasis en la calidad del agua para elaborar el concreto. Si el agua es buena para beber, es buena para hacer concreto; el agua que se va a usar debe estar limpia, se pueden usar aguas de ríos y quebradas si estas no se encuentran turbias.³⁸

- **Aditivos.** El aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados y el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o a las necesidades del constructor.

Los aditivos se emplean cada vez en mayor escala en la fabricación de morteros y hormigones, para la elaboración de productos de calidad, en procura de mejorar las características del producto final. No se trata en ningún modo de aditivos del cemento, pues la misión del aditivo no consiste en mejorar el cemento, sino permitir la transformación o modificación de ciertos caracteres o propiedades de un producto acabado, que según los casos, puede ser un hormigón, un mortero o una lechada para inyecciones.

En resumidas cuentas el aditivo no se limita a actuar sobre el cemento, sino que su acción se ejerce sobre los tres componentes de la mezcla: el árido o agregado, el cemento y el agua. En esta acción influyen en gran manera la naturaleza y la dosificación de cada uno de esos componentes.³⁹

2.2.9.2 Tipos y usos de mortero. Atendiendo a su endurecimiento se pueden distinguir dos tipos de morteros: Los aéreos que son aquellos que endurecen al aire al perder agua por secado y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación, y los hidráulicos o acuáticos que endurecen bajo el agua, debido a que su composición les permite desarrollar resistencias iniciales relativamente altas. Teniendo en cuenta los materiales que los constituyen.

- **Morteros calcáreos:** los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos. Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. Se recomienda que la arena sea de partículas angulares y que esté libre de materia orgánica. La proporción de cal-arena más usada para revoque es de 1 -2 y para mampostería simple de 1-3 o de 1-4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad.

³⁸ SLIDESHARE. El agua. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.slideshare.net/LennHegg/exposicion-de-kfc>>

³⁹ RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Aditivos para mortero y concreto. Universidad del Cauca. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%2020PDF%20ver.%20202009/Cap.%2011%20-%20Aditivos%20para%20morteros%20o%20concretos.pdf>>

- **Morteros de yeso:** Se preparan con yeso hidratado con agua. El contenido de agua es variable según el grado de cocción, calidad y finura de molido del yeso. En obras corrientes se agrega el 50%, para estucos el 60% y para moldes el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora.

- **Morteros de cal y cemento:** Son aconsejables cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia (superior a la de los morteros de cal; en estos morteros se sustituye parte del cemento por cal, razón por la cual se les conoce también como Morteros de Cemento Rebajado.

Las relaciones de mezcla más usadas varían entre 1: 2:6 y 1: 2:10 de cemento, cal y arena y el agua necesaria varía de acuerdo a la composición del mortero y a la consistencia deseada. Si el contenido de cemento es alto, el mortero será de alta resistencia y de poco tiempo entre amasado y colocación, será más o menos trabajable y tiene una contracción del 3% si el mortero es seco; en cambio si el contenido de cal es alto tendrá menor resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será más plástico y permeable, pero tendrá mayor retracción. Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá y será poco trabajable, pero tendrá poca retracción. Por lo anterior debe buscarse una combinación adecuada a las condiciones de obra.

En la Norma Sismo Resistente 2010 se especifica en el capítulo D.3.2, que el cemento y la cal utilizada en obra debe estar en condiciones apropiadas y debe corresponder en su tipo y clase a aquel sobre el cual se basan las dosificaciones del concreto y los morteros.⁴⁰

Deben cumplirse las siguientes normas:

Cemento portland: NTC 121⁴¹ y NTC 321⁴² (ASTM C150 y C595).

Cemento para mampostería: NTC 4050⁴³ (ASTM C91).

Cal viva: NTC 4046⁴⁴ (ASTM C5).

Cal hidratada: NTC 4019⁴⁵ (ASTM C270).

⁴⁰ NSR-10, Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Cemento y Cal. Capítulo D.3.2

⁴¹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2001. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento portland, especificaciones físicas y mecánicas.

⁴² ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2001. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento portland, especificaciones químicas.

⁴³ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2001. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento para Mampostería.

⁴⁴ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2001. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cal (CaO) viva para propósitos estructurales.

⁴⁵ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2001. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cal hidratada para mampostería.

- **Morteros de cemento:** Son los más empleados en Colombia, se componen de arena, agua y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Es hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se acostumbra mezclarlo en obra, revolviendo primero el cemento y la arena y después adicionando el agua.

En el mortero de cemento al igual que en el hormigón, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

En algunos casos se emplean arenas con ligeros contenidos de limo o arcilla, para darle mayor trabajabilidad al mortero, sin embargo, los morteros fabricados con este tipo de arena no son muy resistentes.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre sí, pues no existe suficiente pasta de cemento que actúe como lubricante.

Por otro lado si el mortero es muy rico, es decir, con alto contenido de cemento, es muy resistente pero con alta retracción en el secado, o sea muy susceptible de agrietarse; estos morteros muy ricos sólo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como muros de contención o cimientos.⁴⁶

El uso del mortero de cemento es ampliamente difundido, y se dosifica de acuerdo a la proporción en peso de cemento y arena. La Tabla 2 resume las proporciones de mortero.

Tabla 2. Usos del mortero de cemento

Motero	Usos
1:1	Mortero muyrico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes y cimentaciones.
Fuente. BIBLIOTECA DIGITAL, Capitulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: < http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf >	

⁴⁶ BIBLIOTECA DIGITAL, Capitulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

Los morteros pueden tener una función estructural, y pueden usarse entonces en la construcción de elementos estructurales, o en la mampostería en donde puede ser de pega o de relleno en las celdas de los muros.

Existen otros morteros que no tienen función estructural y se destinan a recubrimiento como pañetes, repellos o revoques.⁴⁷

La Norma Sismo Resistente del 2010 clasifica Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería los cuales deben cumplir la norma NTC 3329⁴⁸ (ASTM C270) y con lo especificado en la Tabla D.3.4-1. El mortero premezclado para pega de unidades de mampostería debe cumplir con la norma NTC 3356⁴⁹ (ASTM C1142).

Los morteros de pega deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y, además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.⁵⁰ La Tabla 3 resume esta clasificación.

Tabla 3. Clasificación de los monteros de pega por propiedad o por proporción.

Tabla D.3.4-1
Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad ⁽¹⁾			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa ⁽²⁾	Flujo en (%) ⁽³⁾	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada ⁽⁴⁾	Cemento para Mampostería ⁽⁷⁾	Arena/Material Cementante ⁽⁵⁾	
							Min.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N ⁽⁶⁾	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:

- Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).
- Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado
- Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91)
- Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
- Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
- El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (*DM*)
- El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

Fuente. NSR-10. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Capítulo D.3. pg D-14.

⁴⁷ BIBLIOTECA DIGITAL, Capítulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

⁴⁸ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2004. Concretos. Especificaciones del mortero para unidades de mampostería.

⁴⁹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Concretos. Mortero premezclado para mampostería.

⁵⁰ NSR-10, Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Mortero de pega. Capítulo D.3.4

Los morteros de relleno se encuentran regulados por la Norma Sismo Resistente del 2010 la cual especifica que este tipo de morteros utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 4048⁵¹ (ASTM C476). Además deben ser de buena consistencia y con fluidez suficiente para penetrar en las celdas de inyección sin segregación.

La dosificación de los componentes de los morteros de relleno debe basarse en ensayos previos de laboratorio o con experiencia de campo en obras similares y su clasificación se debe basar en la dosificación mínima de sus componentes indicada en la Tabla 4. La resistencia, f'_{cr} , debe medirse a los 28 días.⁵²

Tabla 4. Clasificación y dosificación por volumen de los morteros de relleno.

Tipo de Mortero	Cemento	Agregados/Cemento			
		Fino		Grueso (tamaño < 10 mm)	
	Portland	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Fino	1	2.25	3.5	-	-
Grueso	1	2.25	3.0	1.0	2.0

Fuente. NSR-10. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Capítulo D.3. Pg. D-15

Los morteros de relleno son aquellos que se utilizan para verter en el interior de los muros con el objeto de aumentar la sección neta resistente del muro y favorecer la unión entre la mampostería y el refuerzo.

2.2.9.3 Propiedades del mortero

- **Mortero en estado plástico**

Manejabilidad: Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la facilidad para dejarse manejar. La manejabilidad está relacionada con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena.

Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No. 111, aunque en la práctica, hasta ahora, se ha definido por la apreciación del albañil. En la tabla No.28 se recomienda una manejabilidad para diferentes tipos de mortero de acuerdo a los tipos de construcción y a los sistemas de colocación.

⁵¹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2002. Concretos. Mortero de inyección (grouts) para mampostería.

⁵² NSR-10, Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Mortero de relleno. Capítulo D.3.5

Retención de agua: se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo un ladrillo.

Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire.

La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento.

Velocidad de endurecimiento: Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad ver Tabla 5.

Tabla 5. Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	CONDICIÓN DE COLOCACIÓN	EJEMPLO DE TIPOS DE ESTRUCTURA	EJEMPLO DE SISTEMA DE COLOCACIÓN
Dura (seca)	80 – 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 – 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Fuente. BIBLIOTECA DIGITAL, Capítulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

- **Morteros en estado endurecido.**

Retracción: se debe principalmente a la retracción de la pasta de cemento y se ve aumentada cuando el mortero tiene altos contenidos de cemento. Para mejorar esta retracción y evitar agrietamientos es conveniente utilizar arenas con granos de textura rugosa, y tener en cuenta además que en clima caliente y de muchos vientos, el agua tiende a evaporarse más rápidamente produciendo tensiones internas en el mortero, que se traducen en grietas visibles.

La retracción es proporcional al espesor de la capa, a la riqueza en cemento de la mezcla y a la mayor absorción de la pared sobre la que se vaya a aplicar.

Adherencia: es la capacidad de absorber, tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero y una estructura, es decir a la capacidad de responder monolíticamente con las piezas que une ante solicitudes de carga.

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie sobre la que se va a colocar el mortero sea tan rugosa como sea posible y tenga una absorción adecuada, comparable con la del mortero.

Resistencia: Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión.

Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento.

Por último el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados.

Durabilidad: Al igual que en el concreto, la durabilidad se define como la resistencia que presenta el mortero ante agentes externos como: Baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. En general, se puede decir que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad.

Apariencia: La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad.⁵³

2.2.9.4 Diseño de morteros con cemento portland. Al igual que en el concreto, existen numerosos métodos para diseñar morteros, pero todos ellos son de ensayo-error. Para

⁵³ BIBLIOTECA DIGITAL, Capítulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

conocer la dosificación de la mezcla es necesario realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- **Ensayo de densidad aparente.** La densidad aparente está definida como la relación que existe entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material incluidos todos los poros saturables y no saturables.

$$\text{Densidad aparente} = PS/V_m$$

Donde PS = peso seco de la masa (m)

V_m = volumen ocupado por la masa (m)

Es conveniente anotar que la densidad aparente se puede determinar en estado seco o en estado húmedo, dependiendo del grado de saturación de los poros.

En el campo de la tecnología del concreto la densidad que interesa es la densidad aparente debido a que lógicamente con ella es que se determina la cantidad (en peso) de agregado requerida para un volumen unitario de concreto, porque los poros interiores de las partículas de agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa de concreto y por qué el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua de mezclado; entendiéndose como el agua de mezclado tanto el agua de hidratación del cemento como el agua libre que en combinación con el cemento produce la pasta lubricante de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

La densidad aparente del agregado depende la constitución mineralógica de la roca madre y por lo tanto de su densidad así como también de la cantidad de huecos o poros que contenga. Por lo general, el valor de esta densidad en los agregados pétreos oscila entre 2.30 g/cm³ y 2.8 g/cm³ según la roca de origen.⁵⁴

- **Ensayo de Absorción del agregado.** Es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como “seco” cuando se ha mantenido a una temperatura de 110°C ± 5° por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

El rango del peso porcentaje de absorción para los agregados es de 1% a 4%. La absorción de los agregados se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masas se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

⁵⁴ BLOGSPOT. Ingeniería Civil. Determinación de la densidad nominal y la densidad aparente para agregados. 2008. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <ngevil.blogspot.com/search?q=Ensayo+de+densidad+aparente>

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación.⁵⁵

- **Ensayo de densidad específica del cemento.** El peso específico del cemento (densidad, peso volumétrico, peso unitario, masa unitaria) se define como el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. La masa específica se presenta en megagramos por metro cúbico o gramos por centímetro cúbico (el valor numérico es el mismo en las dos unidades). El peso específico del cemento varía de 3.10 hasta 3.25, con promedio de 3.15 Mg/m³. El cemento portland de alto horno y el portland puzolánico tiene pesos específicos que varían de 2.90 hasta 3.15, con promedio de 3.05 Mg/m³. El peso específico del cemento (Tabla 2-20) no es una indicación de la calidad del cemento, su principal uso es en los cálculos de las proporciones de la mezcla.

Para el proporcionamiento de la mezcla, puede ser más útil expresar la densidad como densidad relativa, también llamada de gravedad específica o densidad absoluta. La densidad relativa es un número adimensional determinado por la división de la densidad del cemento por la densidad del agua a 4°C, la cual es 1.0 Mg/m³ (1.0 g/cm³, 1000 kg/m³ o 62.4 lb/pies³).

Se supone la densidad relativa del cemento portland como siendo 3.15 para su uso en los cálculos volumétricos del proporcionamiento de la mezcla de concreto. Como las proporciones de la mezcla traen las cantidades de los ingredientes del concreto en kilogramos o libras, se debe multiplicar la densidad relativa por la densidad del agua a 4°C, establecida como 1000 kg/m³ (62.4 lb/pies³), para la determinación de la densidad o el peso específico de las partículas de cemento en kg/m³ o lb/pies³.⁵⁶

- **Ensayo de Humedad del agregado fino.** Cuando el agregado está expuesto a la lluvia, se acumula una cantidad considerable de humedad en la superficie de las partículas, a excepción de la parte superior de la pila, esa humedad se conserva durante mucho tiempo. Esto ocurre especialmente cuando se trata de agregado fino y la humedad superficial o libre (la que sobra de la que ha mantenido el agregado en su condición de saturado y superficialmente seco), se debe tomar en cuenta en el cálculo de cantidades para la muestra. La humedad superficial se expresa como un porcentaje del peso del agregado saturado y superficialmente seco y se le conoce como el contenido de humedad.

⁵⁵CLUB ENSAYOS. Porcentaje de absorción. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://clubensayos.com/Ciencia/PORCENTAJE-DE-ABSORCION/1310007.html>>

⁵⁶BLOGSPOT. Notas de Concreto. Peso específico (densidad) y densidad relativa (densidad absoluta, gravedad específica) del concreto. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/peso-especifico-densidad-y-densidad.html>>

Como el contenido de humedad del agregado cambia con el clima y varía también de una pila a otra, es necesario determinar con frecuencia el valor del contenido de humedad; para ello se han ideado varios métodos. El más antiguo de ellos consiste simple y sencillamente en encontrar la pérdida de peso de una muestra de agregado sometida a secado en una charola colocada sobre una fuente de calor, se requiere cuidado para evitar el sobre secado; la arena debe estar en condición de flujo libre, sin calentarse más. Este estado puede determinarse al tacto o formando montones de arena mediante un molde cónico; al quitar el molde el material se debe desplazar libremente, cuando la arena adquiere un tono café es indicio inequívoco de sobre secado. Este ensayo es fundamental para que no ocurran variaciones significativas en las cantidades de mezclas o tandas si se dosifican por volumen; por ello deben tenerse las precauciones del caso.⁵⁷

- **Análisis Granulométrico.** El análisis granulométrico de la arena tiene por objeto determinar las cantidades en que están presentes partículas de ciertos tamaños en el material.

La distribución de los tamaños de las partículas se realiza mediante el empleo de mallas de aberturas cuadradas, de los tamaños siguientes: 3/8", Números 4, 8, 16, 30, 50 y 100 respectivamente. La prueba consiste en hacer pasar la muestra a través de dichas mallas y se determina el porcentaje de material que se retiene en cada una.

Los resultados de la prueba se grafican junto con los límites que especifican los porcentajes aceptables para cada tamaño, a fin de verificar si la distribución de tamaños es adecuada. En la norma de la ASTM C 33 se estipulan los requisitos que permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría del agregado fino.

En mezclas pobres o cuando se usan agregados gruesos de tamaño pequeño, es conveniente una granulometría que se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada criba, para lograr un aumento de manejabilidad. En mezclas ricas, por economía, son más convenientes las granulometrías gruesas.

Agua – cemento y eligiendo correctamente la relación agregado - fino agregado grueso, puede emplearse agregado fino con una amplia variación granulométrica, sin que se produzca un efecto apreciable en la resistencia.

- **Módulo de finura.** El módulo de finura, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Numero 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre cien.

⁵⁷ SCRIB. Humedad agregado fino y grueso. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/86031624/HUMEDAD-Agregado-Fino-y-Grueso>>

Es un indicador de la finura de un agregado: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado. Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.⁵⁸

2.2.10 Malla electrosoldada. Según la NSR-10 en el título C, capítulo C.3.5 indica que el refuerzo debe ser corrugado. El refuerzo liso solo puede utilizarse en estribos, espirales o tendones, y refuerzo de repartición y temperatura. Además, se pueden utilizar cuando el Título C del Reglamento NSR-10 así lo permita: refuerzo consistente en pernos con cabeza para refuerzo de cortante, perfiles de acero estructural o en tubos, o elementos tubulares de acero. Las fibras de acero deformadas dispersas se permiten solamente para resistir cortante bajo las condiciones indicadas en C.11.4.6.1.⁵⁹

Es un producto prefabricado con alambres de acero trefilados de alta resistencia, corrugados, longitudinales y transversales, colocados mediante un proceso de electrosoldadura formando ángulos rectos.

Este producto presenta grandes ventajas como son, disminuir la cantidad de acero requerida, aumenta la velocidad en la obra por la sencilla y rápida colocación, ya que evita la necesidad de cortar y amarrar el refuerzo, teniendo así ventajas también económicas. Se entrega en medidas estándar en 6 m * 2.35 en las diferentes referencias.

Se utilizan principalmente en la industria de la construcción, como acero de refuerzo en losas, pavimentos, muros de contención y muros portantes, en estructuras hidráulicas como canales, vertederos, piscinas, en silos, entre otros. También elaboramos mallas especiales teniendo en cuenta aspectos como:

Los espacios mínimos establecidos

Los diámetros que no deben superar el 35% de diferencia entre ellos

La cantidad mínima a fabricar.

La malla electrosoldada se compone de una serie de grafiles longitudinales y transversales que forman ángulos rectos, soldados en los puntos de intersección.⁶⁰

2.3 MARCO LEGAL

2.3.1 Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. La presente investigación se acoge a la regulación en propiedades físico mecánicas de los bloques de arcilla presente en la NTC 4205 unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámico, NTC 4017 Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros

⁵⁸ DOCUMENTO DE GOOGLE. Módulo de finura. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.galeon.com/matcon/lab03/granulo.doc>>

⁵⁹ NSR-10. Materiales. Acero de refuerzo. Capítulo C.3.5

⁶⁰ CODIACERO. Malla electrosoldada. . [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://codiacero.com/2008/content/blogcategory/38/110/>>

productos de arcilla, NTC 220 determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50mm o 50,8 mm de lado, NTC 5784 Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico, NTC 3495 Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

2.3.2 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages (ESTM E 519-07). Este método de ensayo cubre la determinación de la diagonal tracción o resistencia al corte de muros totalmente cuadrados.

2.3.3 Norma de construcción sismo resistente 2010 (NSR-10). TITULO D y E (NSR-10) Mampostería estructural. Este título del reglamento establece los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos.

3. DISEÑO METODOLOGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACION

El presente trabajo se llevará a cabo con base al tipo de investigación descriptiva no experimental, teniendo en cuenta que busca especificar propiedades características y rangos importantes del fenómeno a analizar. De esta manera, la investigación descriptiva permitirá conocer las propiedades físicas y mecánicas del bloque H-10 elaborado y comercializado en la ciudad de Ocaña.

3.2 POBLACION

La población para el estudio estará conformada por todos los fabricantes de la ciudad de Ocaña que elaboren y comercialice bloques en arcilla H10 y por los de la ciudad de Cúcuta que comercialice sus productos en este municipio.

3.3 MUESTRA

Existen métodos de muestreo probabilísticos y no probabilísticos y entre los métodos no probabilísticos está la opinión del experto, la cual está fundamentada en la experiencia que tenga sobre el tema en cuestión, para efectos de determinar el tamaño de la muestra para los bloques comercializados en el municipio de Ocaña se tuvo en cuenta la opinión del experto, en este caso el ingeniero Nelson Afanador dado de que en Ocaña solo se comercializan tres tipos de bloque producidos en Cúcuta que son Arbetcol, Zuligres y Arcillas de Colombia y el bloque que se produce y se comercializa en Ocaña es el de la ladrillera Ocaña; por tanto el tamaño de la muestra son 4 fabricantes.

3.4 RECOLECCION DE INFORMACION

Para la recolección de la información, los datos serán suministrados de fuentes primarias y secundarias, como fuente primaria se utilizará la entrevista aplicada a los propietarios de las distintas ladrilleras ubicadas en la ciudad de Ocaña, para conocer de primera mano la procedencia y preferencia de los bloques H-10, con el fin de focalizar la población a estudiar.

Los datos secundarios serán tomados de los registros de la Cámara de Comercio de Ocaña para conocer las empresas que producen y distribuyen el bloque H-10 en la ciudad de Ocaña, además se utilizarán fuentes de diferentes investigaciones en torno al tema, como también normas, informes y propuestas anteriormente realizadas a través de la técnica de análisis documental.

3.5 PROCESAMIENTO YANALISIS DE INFORMACION

Entre las técnicas de procesamiento y análisis de los datos, se desarrollarán en siete etapas, de la siguiente manera:

Toma de datos de las muestras

Caracterización de las muestras

Diseño y dosificación del mortero de pega a utilizar

Fabricación de los muros y pilas de mampostería con las especificaciones indicadas

Elaboración de los distintos ensayos cumpliendo con las Normas Técnicas Colombianas, la Norma Sismo Resistente del 2010 y teniendo como referencia otras investigaciones concernientes al tema estudiado.

Generación de archivos, revisión y depuración de la información.

Análisis estadístico y comparación de resultados

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con el objeto de determinar y conocer algunas de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de perforación horizontal H-10, se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio, los cuales se especifican a continuación:

4.1. HALLAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y A LA FLEXIÓN DE UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO HUECO DE ARCILLA H-10 QUE CORRESPONDEN A LOS FABRICADOS Y COMERCIALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA CLASIFICARLOS DE ACUERDO A LO ESTABLECIDO EN NORMA TECNICA COLOMBIANA.

Según lo establecido en la NTC 4017⁶¹, para la realización del ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de mampostería se emplearon cinco (5) muestras por cada fabricante, para tal efecto se requiere el equipo que a continuación se relaciona.

Equipo

Máquina universal Pinzuar Ltda. modelo PU- 300 M, serie 109
Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005”
Equipo para refrentado (reglas de madera, soportes de acero, nivel, llana, tara y espátula)
Gato hidráulico de 20 Ton
Multiplexor Pinzuar Ltda. Serie A100
Computador portátil marca HP
Lámina de acero de 320 x 23 x 20 mm
Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. modelo PG 190 serie 151
Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Los materiales utilizados para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques de arcilla son los siguientes.

Materiales

20 bloques de perforación horizontal H-10
Yeso, super escayola, producido por Yesos y caolines del caribe S.A.
Agua

Procedimiento

Se mide como mínimo tres veces la altura (véase fotografía 2), el largo (véase fotografía 3) y el ancho (véase fotografía 4) de cada una de las muestras, para hallar un promedio.

⁶¹ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Fotografía 2. Medición de la altura de las unidades de mampostería.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 3. Medición del largo de las unidades de mampostería.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 4. Medición del ancho de las unidades de mampostería.



Fuente. Autores del proyecto

Realizadas las mediciones geométricas del bloque, a continuación se procede al secado utilizando para ello un horno mufla Pinzuar Ltda., el cual esta sujeto a una temperaturas entre 110 °C y 115 °C para un tiempo no menor de 24 horas, como se indica en la fotografía 5, la fotografía 6 indica el medidor de temperatura que esta en la parte inferior del horno mufla.

Fotografía 5. Secado de las piezas de mampostería en el horno mufla



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 6. Lectura de la temperatura del horno mufla.



Fuente. Autores del proyecto

Después del proceso de secado en el horno mufla se realizan dos pesajes sucesivos a intervalos de 2 horas, verificando que no se presente una pérdida de masa superior al 0,2 % del último peso del espécimen determinado previamente. Para realizar este pesaje es necesario colocar un bloque base para evitar la transferencia de temperatura al metal de la balanza Vease fotografía 7.

Fotografía 7. Pesaje de las unidades de mampostería después del secado.



Fuente. Autores del proyecto

Después del secado, se colocan los especímenes sin apilarlos en un cuarto con temperatura controlada de $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa entre 30 % y 70 %, durante un período de 4 horas, como se muestra en la fotografía 8.

Fotografía 8. Enfriamiento de los especímenes



Fuente. Autores del proyecto

Una vez se complete el enfriado de las unidades, se inicia el proceso de refrentado con yeso en las dos caras opuestas de carga de cada espécimen; para esto se instala un par de reglas guías soportadas con unos ganchos de acero (véase fotografía 9); las cuales posteriormente serán niveladas (según fotografía 10).

Fotografía 9. Instalación de reglas y soportes de cada unidad.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 10. Nivelación de las reglas



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente se prepara la mezcla para refrentado compuesta por yeso y agua. Como se muestra en las fotografías 11 y 12.

Fotografía 11. Materiales para el refrentado.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 12. Preparación de la mezcla



Fuente. Autores del proyecto

Se vierte la mezcla encima del bloque (ver fotografía 13) y se esparce homogéneamente con ayuda de una llana metálica(ver fotografía14).

Fotografía 13. Vertido de la mezcla en el espécimen



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 14. repartición homogéneo de la mezcla



Fuente. Autores del proyecto

Luego se retiran las reglas cuidadosamente como se muestra en la fotografía 15, culminando así el proceso de refrentado de una de las caras del bloque, posteriormente se realiza el mismo procedimiento en su cara opuesta; se debe observar que los espesores de los refrentados sean aproximadamente los mismos, sin exceder 3,2 mm (ver fotografía 16).

Fotografía 15. Retiro de las reglas guía.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 16. Cara del bloque perfectamente refrentado



Fuente. Autores del proyecto

Los refrentados deben tener al menos 24 h antes de ensayar los especímenes. Al momento de ensayar las unidades deben ubicarse en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio. Los especímenes se centran bajo una lámina en acero de espesor 20 mm, sobre la cual va ubicado un gato hidráulico de 20 Ton previamente calibrado (ver fotografía 17), que a su vez va conectado a un multiplexor Pinzuar Ltda. y éste se conecta a un computador quien traduce la información en datos numéricos en archivo xls, como hace referencia la fotografía 18.

Fotografía 17. Montaje del espécimen a ensayar.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 18. Equipo utilizado en el ensayo



Fuente. Autores del proyecto

Para la aplicación de carga el gato hidráulico debe tener una precisión de $\pm 1,0 \%$ de la carga aplicada y además al ensayar el espécimen debe tener una velocidad de carga tal que el ensayo a compresión se encuentre entre 60 seg y 120 seg; hasta que el espécimen falle, como se ilustra en la fotografía 19.

Fotografía 19. Falla a compresión de la unidad de mampostería.



Fuente. Autores del proyecto

Realizado este procedimiento se procede a iniciar las operaciones necesarias para determinar la compresión máxima del bloque, para ello a continuación se muestran los cálculos realizados.

Cálculos

Resistencia a la compresión,

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

C = Resistencia del espécimen a la compresión en Pa x 10⁴ o (kg/cm²)

W = Carga máxima de rotura, en N (o kg-f) o la indicada en la maquina

A = Promedio de las áreas brutas de la superficie e inferior del espécimen en cm²

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión en unidades de bloques de perforación horizontal H-10 para cada fabricante se muestran a continuación en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Resistencia a la compresión en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

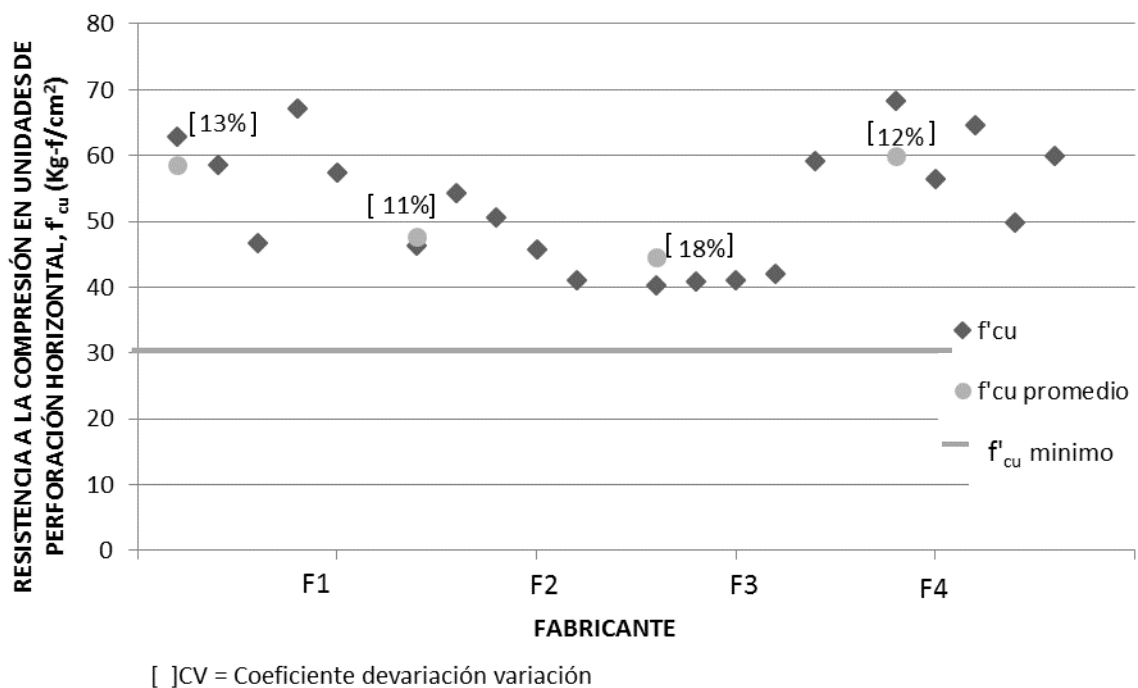
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UNIDADES DE PERFORACION HORIZONTAL H-10							
FABRICANTE	ESPECIMEN	AREA PROMEDIO (cm ²)	CARGA MAX (Kg-f)	REST. COMPRESION f _{cu} (Kg-f/cm ²)	f _{cu} PROM. (Kg-f/cm ²)	DESV. ESTANDAR (σ)	COEF. DE VARIACION (CV)
F1	1	285,05	7.040	62,88	58,56	7,67	13%
	2	283,38	5.702	58,53			
	3	279,89	2.183	46,68			
	4	282,49	8.099	67,20			
	5	282,15	5.340	57,50			
F2	1	303,72	3.197	46,36	47,59	5,00	11%
	2	306,66	5.753	54,25			
	3	303,60	4.462	50,54			
	4	308,28	3.198	45,68			
	5	310,57	1.889	41,12			
F3	1	291,10	851	40,31	44,65	8,11	18%
	2	292,05	1.028	40,78			
	3	292,73	1.127	41,03			
	4	282,35	986	42,04			
	5	283,41	5.869	59,11			
F4	1	301,77	9.762	68,41	59,85	7,20	12%
	2	299,38	5.997	56,38			
	3	302,16	8.656	64,66			
	4	300,31	4.109	49,92			
	5	300,62	7.121	59,89			
				PROMEDIO TOTAL	52,66	7,00	13,5%

Fuente. Autores del proyecto

En el cuadro anterior se evidencian los resultados a la compresión de las piezas de mampostería H-10, cuyo valor máximo fue para el fabricante 4 que corresponde a la ladrillera Zuligres con un f'_{cu} promedio de 59,85 kg-f/cm² y cuyo valor mínimo fue para el fabricante 3 correspondiente a la ladrillera Arcillas de Colombia con un f'_{cu} promedio de 44,65 kg-f/cm².

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de compresión de los bloques H-10 se indica en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Determinación de la resistencia a la compresión en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

En la gráfica 1, el coeficiente de variación para bloques utilizados en Ocaña es de 13,5 %, lo cual representa unos datos homogéneos que no tienen dispersiones importantes en los resultados, pues son menores al 30%.

Según la NTC 4205⁶² las unidades de mampostería de arcilla cocida deben cumplir con la resistencia mínima a la compresión especificada en la Tabla 6.

⁶² ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques ceramicos.

Tabla 6. Propiedades físicas de las unidades de mampostería no estructural

Tipo	Resistencia mínima a la compresión MPa (kg/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	3.0 (30)	2.0 (20)	17	20	13.5	14
PV	14.0 (140)	10.0 (100)	17	20	13.5	14
M	14.0 (140)	10.0 (100)	17	20	13.5	14

Par el caso de ladrillos de perforación vertical los valores establecidos corresponden a resistencia neta mínima a la compresión, en los otros casos corresponden a Resistencia Bruta.

PH = Unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque)
 PV = Unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque)
 M = Unidad de mampostería maciza (ladrillo)

Fuente. ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. p. 5.

De acuerdo con la cuadro 2, todos los fabricantes cumplen de manera individual y promedio con las especificaciones para uso de la mampostería no estructural de PH.

Cuadro 2. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en unidades de perforación horizontal H-10.

FABRICANTE	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, f' cu (Kg-f/cm ²)	Universidad Javeriana, f' cu (Kg-f/cm ²)
F1	58,56	
F2	47,59	
F3	44,65	
F4	59,85	
PROMEDIO	52,66	
Fuente. Autores del proyecto		66,33

Según⁶³, la resistencia a la compresión promedio para las de unidades de perforación horizontal es de 6,63 Mpa en comparación con los datos obtenidos para Ocaña cuyo promedio fue 5,27 Mpa, se observa una variación entre los datos del 25%. Además de los resultados obtenidos en el ensayo a compresión, se presentan a continuación los valores obtenidos del ensayo a flexión, teniendo en cuenta los requerimientos de la NTC 4017⁶⁴, en la realización del ensayo de resistencia a la flexión (Módulo de rotura) de unidades de mampostería de perforación horizontal se utilizaron cinco (5) muestras por fabricante. Para llevar a cabo este ensayo se requiere del siguiente equipo.

⁶³FORERO LUNA, María C; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Tesis para Título de Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Área de investigación, estructuras. 2004.

⁶⁴ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Equipo

Máquina de compresión, marca soiltest Chicago CF 410

Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005"

Flexómetro Lufkin 16"/5 m

Cronómetro digital

Nivel de mano

Placa en acero de 230 x 320 x 20 mm

Lámina en acero de 40 x 200 x 6 mm

Dos barras de acero de 1 pulgada de diámetro y 210 mm de longitud

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Cubo en acero de 25 x 25 x 12,5 mm

Para la determinación del módulo de rotura en los especímenes de bloque H-10 es necesario contar con los materiales que a continuación se mencionan.

Materiales

20 bloques de perforación horizontal H-10

Procedimiento

El procedimiento para este ensayo es el mismo procedimiento del ensayo de la resistencia a la compresión respecto a la medición, secado y enfriado de las unidades, los siguientes pasos se indican a continuación.

Al finalizar el proceso de secado y enfriado de los especímenes, la muestra se lleva a la máquina de ensayo de compresión, marca soiltest Chicago CF 410 y se coloca una base rígida, para este caso es una lámina metálica de 230 x 320 x 20 mm como soporte del bloque (véase fotografía 20). Las fotografías 21 y 22 hacen referencia a la máquina de compresión ó CBR y al equipo empleado para el ensayo, respectivamente.

Fotografía 20. Nivelación y centrado de la lámina base.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 21. Máquina de compresión



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 22. Equipo utilizado para el ensayo a flexión



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente, encima de la lámina base se colocan dos barras de acero lisas de 1 pulgada de diámetro (ver fotografía 23) y colocadas al centro de las barras a 12,5 mm de cada borde del espécimen, como se muestra en las fotografía 24.

Fotografía 23. Barras de acero colocadas encima de la lámina base.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 24. Medición de los 12,5 mm en la unidad.



Fuente. Autores del proyecto

Se coloca el espécimen con el lado plano hacia abajo, el cual se carga en el centro de la luz de apoyo, para ello se utiliza un cubo de acero de 25 x 25 x 12,5 mm. Si se tienen reentrantes o ranuras, se colocan de tal manera que estas depresiones o ranuras queden en el lado de la compresión. La carga se aplica a la cara superior del espécimen mediante una placa de apoyo de acero de 6 mm de espesor y 40 mm de ancho; su longitud debe ser como mínimo igual a la altura del espécimen, ver fotografía 25.

Fotografía 25. Aplicación de la carga al espécimen.



Fuente. Autores del proyecto

La velocidad de carga no debe exceder los 8.900 N/min ó 1,3 mm/min según la NTC 4017⁶⁵, lo cual se logró utilizando una máquina y controlando la velocidad de carga, un giro completo del dial debe hacerse en dos minutos (ver fotografía 26), repitiendo el procedimiento hasta que se presente la falla en el bloque (ver fotografía 27), la lectura total obtenida del dial (medidor) debe ser corregida mediante el uso de la tabla de calibración de la empresa Pinzuar Ltda.

⁶⁵ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Fotografía 26. Control de la velocidad en la aplicación de carga al espécimen.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 27. Falla después de aplicar carga al espécimen.



Fuente. Autores del proyecto

Después de realizado todo el procedimiento anterior se procede a determinar el módulo de rotura máximo arrojado por el ensayo a flexión de los bloques H-10, cálculos que se presentan a continuación.

Cálculos

Módulo de rotura,

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

En donde,

MR = módulo de rotura de la muestra en el plano de falla, en Pa.

W = carga máxima indicada por la máquina de prueba, en N.

L = distancia entre los soportes (medida centro a centro), en mm.

b = ancho neto (distancia de cara a cara) de la muestra en el plano de falla, en mm.

d = profundidad, (distancia desde la cara superior hasta el plano de apoyo) de la muestra en el plano de falla, en mm.

x = distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en la dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión, en mm.

Los resultados obtenidos del módulo de rotura en las unidades de perforación horizontal H-10 de cada fabricante se muestran en el cuadro 3.

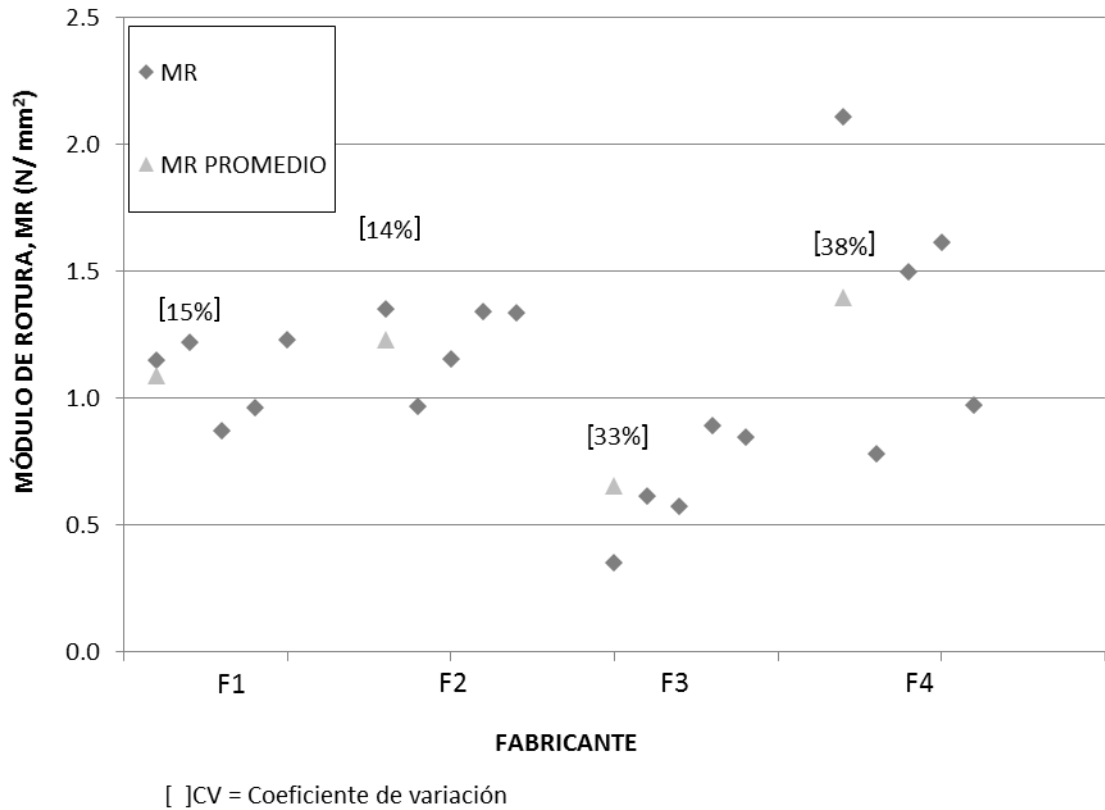
Cuadro 3. Módulo de rotura para unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Módulo de rotura de las unidades de perforación horizontal h-10							
Fabricante	Espécimen	Carga (N)	Tiempo (seg)	MR(N/mm²)	Promedio MR (N/mm²)	Desviación estándar (σ)	Coef. De variación (CV)
F1	6	5.828,16	120	1,15	1,09	0,16	15%
	7	5.736,33	74	1,22			
	8	4.451,45	88	0,87			
	9	4.359,73	109	0,96			
	10	5.828,16	114	1,23			
F2	6	9.692,40	160	1,35	1,23	0,17	14%
	7	6.195,56	135	0,97			
	8	8.955,44	153	1,16			
	9	9.185,64	160	1,34			
	10	8.817,26	145	1,34			
F3	6	2.344,94	120	0,35	0,65	0,22	33%
	7	3.443,33	90	0,61			
	8	3.214,30	119	0,57			
	9	4.680,77	127	0,89			
	10	4.359,73	98	0,85			
F4	6	12.642,98	195	2,11	1,40	0,53	38%
	7	4.543,18	140	0,78			
	8	9.323,82	147	1,50			
	9	10.568,32	189	1,61			
	10	6.195,56	140	0,97			
Promedio Total					1,09	0,27	25%
Fuente. Autores del proyecto							

En el cuadro 3, se muestran los resultados del ensayo a flexión para unidades de mampostería H-10, cuyo valor máximo fue para el fabricante 4 que corresponde a la ladrillera Zuligres con un MR promedio de 1,4 N/mm² y cuyo valor mínimo fue para el fabricante 3 correspondiente a la ladrillera Arcillas de Colombia con un MR promedio de 0,65 N/mm².

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo a flexión de los bloques H-10 se indica en la grafico 2.

Grafica 2. Determinación del módulo de rotura en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

En la gráfica 2 se puede encontrar que el coeficiente de variación es pequeño dado de que para bloques utilizados en Ocaña es 25 %, al analizar cada fabricante de manera individual se observa que los fabricantes 1 y 2 presentan datos homogéneos pues no tienen dispersiones importantes en los resultados, dado de que las dispersiones son menores al 30%, mientras que los fabricantes 3 y 4 superan este porcentaje.

Según las referencias bibliográficas Takeuchi⁶⁶, el módulo de rotura encontrado puede variar entre el 10% y 30% de la resistencia a la compresión obtenidas para las unidades de mampostería, dicha verificación puede ser observada en el cuadro 4.

⁶⁶ TAKEUCHI CAORI, Patricia. Comportamiento en la mampostería estructural. 1ra. edición Bogotá D.C. Colombia: Universidad nacional de Colombia, 2007.

Cuadro 4. Verificación del módulo de rotura

Espécimen	Módulo de rotura prom. (N/mm ²)	Resistencia a la compresión prom. f'cu (kg-f/cm ²)	(10% y 30%) f'cu
F1	1,09	5,74	18,94%
F2	1,23	4,66	26,36%
F3	0,65	4,38	14,97%
F4	1,40	5,87	23,79%

Fuente. Autores del proyecto

Del cuadro 4 se observa que todos los fabricantes cumplen con las observaciones presentadas por el documento enunciado anteriormente.

4.2. ESTABLECER EL GRADO DE ABSORCIÓN DE AGUA QUE TIENEN LOS BLOQUES DE ARCILLA FABRICADOS Y COMERCIALIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, PARA REALIZAR UNA COMPARACIÓN CON EL GRADO DE ABSORCIÓN PERMITIDO SEGÚN LAS NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

Según los requerimientos de la NTC 4017⁶⁷, para llevar a cabo el ensayo de absorción de agua por inmersión durante 24 horas de las unidades de mampostería de perforación horizontal se utilizaron cinco (5) muestras por cada uno de los fabricantes, contando además con el equipo necesario para el desarrollo de este laboratorio.

Equipo

- Calibrador digital BAKER Reading 0,01 mm/0,0005”
- Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series
- Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. Modelo PG 190 serie 151
- Tanque de almacenamiento de agua
- Paño húmedo

Para la realización del ensayo absorción por inmersión durante 24 horas es indispensable contar con los materiales mencionados a continuación.

Materiales

- 20 bloques de perforación horizontal H-10
- Agua

⁶⁷ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Procedimiento

Se inicia realizando la medición, secado y enfriado como se describió en el ensayo de resistencia a la compresión, por tanto se le dará continuación a los siguientes pasos.

Luego del enfriamiento se procede a pesar cada uno de los bloques, dato que representa la masa seca del espécimen antes de la inmersión como se referencia en la fotografía 28.

Fotografía 28. Masa seca del espécimen antes de la inmersión.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez se haya pesado todas las unidades, éstas se sumergen en un tanque de agua limpia y destilada, a una temperatura entre 15,5 °C y 30 °C por un tiempo no inferior a 24 horas según fotografía 29.

Fotografía 29. Especímenes sumergido en el tanque de almacenamiento



Fuente. Autores del proyecto

Los especímenes se retiran del agua, con un paño húmedo se secan para quitar el exceso de agua (ver fotografía 30) y luego se pesan en la balanza digital, para determinar la masa

sumergida del espécimen saturado (ver fotografía 31). El pesaje de cada muestra se debe hacer antes de que pasen 300 seg. de retirado del tanque de agua.

Fotografía 30. Secado del exceso de agua sumergida del espécimen saturado



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 31. Determinación de la masa con un paño húmedo



Fuente. Autores del proyecto

Al finalizar el anterior procedimiento se realizan los siguientes cálculos matemáticos, con el fin de determinar el porcentaje máximo de absorción por inmersión durante 24 horas.

Cálculos

Absorción por inmersión durante 24 horas

$$\% \text{ absorción} = \frac{100 * (W_{ss} - W_s)}{W_s}$$

En donde,

W_s = masa seca del espécimen antes de inmersión, en g.

W_{ss} = masa sumergida en agua fría del espécimen saturado, en g.

Los resultados obtenidos del ensayo de absorción de agua-inmersión durante 24 horas en unidades de perforación horizontal H-10 para cada fabricante se muestran a continuación en el cuadro 5.

Cuadro 5. Absorción de agua por inmersión en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

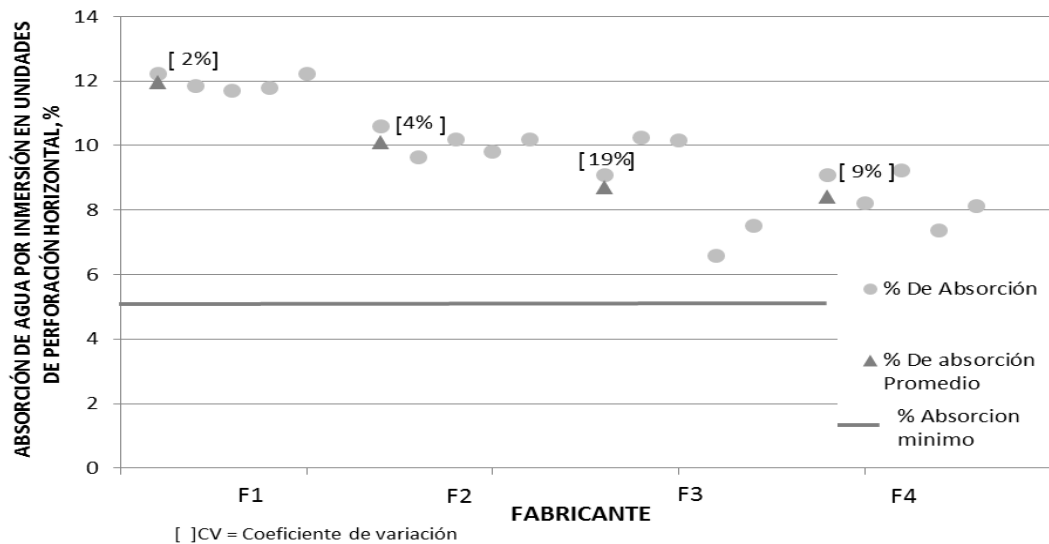
Absorción de agua por inmersión en unidades de perforación horizontal							
Fabricante	Espécimen	Peso seco (gr)	Peso sumergido (gr)	% de absorción	Prom. % de absorción	Desv. Estándar (σ)	Coef. De variación (cv)
F1	1	4.770	5.353	12,22	11,95	0,26	2%
	2	4.402	4.923	11,84			
	3	4.309	4.813	11,70			
	4	4.364	4.878	11,78			
	5	4.299	4.825	12,24			
F2	1	4.148	4.588	10,61	10,09	0,38	4%
	2	4.143	4.542	9,63			
	3	4.083	4.499	10,19			
	4	4.165	4.574	9,82			
	5	4.206	4.635	10,20			
F3	1	3.866	4.217	9,08	8,72	1,62	19%
	2	3.777	4.164	10,25			
	3	3.753	4.134	10,15			
	4	3.838	4.091	6,59			
	5	3.807	4.093	7,51			
F4	1	4.293	4.683	9,08	8,40	0,76	9%
	2	4.424	4.787	8,21			
	3	4.143	4.525	9,22			
	4	4.297	4.614	7,38			
	5	4.174	4.513	8,12			
PROMEDIO TOTAL				9,79	0,75	8,5%	

Fuente. Autores del proyecto

Para el municipio de Ocaña el porcentaje promedio de absorción durante 24 horas para las unidades de perforación horizontal es de 9,79%, de igual manera, los resultados obtenidos en el ensayo arrojan valores para todos los fabricantes que van desde 6,59% hasta 12,24%, presentado el máximo promedio la ladrillera Ocaña con un valor de 11,95% y el mínimo promedio la ladrillera Zuligres cuyo valor es 8,4%, datos que se evidencian en el cuadro 5.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de absorción agua-inmersión durante 24 horas de los bloques H-10 se indica en la gráfica 3.

Grafica 3. Determinación del porcentaje de absorción por inmersión en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

La grafica 3 muestra que la distorsión en los resultados obtenidos durante el ensayo es pequeña, por tanto, se presenta una homogeneidad en los datos con un coeficiente de variación del 8,5%.

Los fabricantes analizados cumplen con el valor de absorción por inmersión requerido por la NTC 4205⁶⁸, la cual establece que este no puede ser inferior al 5% en promedio.

A continuación, se presenta la comparación de resultados obtenidos del ensayo de porcentaje de absorción durante 24 horas promedio.

Cuadro 6. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de absorción durante 24 horas.

Porcentaje de absorción durante 24 horas		
Fabricante	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, %	Universidad Javeriana, %
F1	11,95	
F2	10,09	
F3	8,72	
F4	8,4	
PROMEDIO	9,79	15,81

Fuente. Autores del proyecto

⁶⁸ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2000. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos.

Según⁶⁹, el porcentaje promedio de absorción durante 24 horas para las de unidades de perforación es de 15,81%, en comparación con los datos obtenidos para Ocaña cuyo promedio fue 9,79%, se observa una variación entre los datos del 6,02%.

4.3 DETERMINAR LA CANTIDAD DE AGUA QUE PUEDEN SUCCIONAR LAS DISTINTAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA PREVIAMENTE SELECCIONADAS SOBRE LA CARA QUE DEBE ESTAR EN CONTACTO CON EL MORTERO DE PEGA

Cumpliendo lo estipulado en la NTC 4017⁷⁰, el ensayo de tasa inicial de absorción (succión) de las unidades de mampostería de perforación horizontal fueron necesarias cinco (5) muestras por cada uno de los fabricantes, para tal efecto se requiere del equipo mencionado a continuación.

Equipo

Bandeja o contenedor, de profundidad interior mínima de 13 mm, su relación longitud - ancho debe permitir contar con una superficie de agua no inferior a 2000 cm².

Soporte para espécimen, barras de metal inoxidable con longitud entre 125mm y 150mm de sección transversal rectangular y altura igual a 6 mm.

Nivel de burbuja

Medidor de profundidad

Calibrador digital BAKER Reading 0,01 mm/0,0005”

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Horno digital de precisión Pinzuar Ltda. Modelo PG 190 serie 151

Termómetro

Cronometro digital

Paño húmedo

En la realización del ensayo de tasa inicial de absorción se utilizan los siguientes materiales.

Materiales

20 bloques de perforación horizontal H-10

Agua

⁶⁹FORERO LUNA, María C; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Tesis para Título de Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, Área de investigación, estructuras. 2004.

⁷⁰ ICONTEC. Catalogo normas técnicas colombianas 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Procedimiento

Al igual que en los ensayos anteriores de resistencia a la compresión y flexión en bloques H-10 y al ensayo de absorción-inmersión durante 24 horas, este procedimiento comprende los mismos de medición, secado y enfriado, con lo cual se da continuidad a los siguientes pasos.

Al finalizar el enfriado, es necesario determinar el área de la superficie de la pieza que debe estar en contacto con el agua, con una precisión de $\pm 1,6 \text{ mm}^2$, ilustrado en la fotografía 32.

Fotografía 32. Cálculo del área de la superficie en contacto con el agua.



Fuente. Autores del proyecto

Luego se determina la masa del espécimen con aproximación de la balanza digital Pinzuar Ltda. de 0,5 g. Según fotografía 33.

Fotografía 33. Pesaje inicial de la muestra a ensayar.



Fuente. Autores del proyecto

Es importante tener presente que el ensayo se realiza en un cuarto a temperatura constante, que va desde $21 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Véase fotografía 34.

Fotografía 34. Temperatura del cuarto



Fuente. Autores del proyecto

Verificada la temperatura, se inicia el ensayo ajustando la posición de la bandeja o contenedor impermeable, con una profundidad mínima de 13,0 mm y de una longitud y ancho tales, que se pueda contar con una superficie de agua no inferior a 2000 cm², luego la bandeja se ubica de tal manera que la superficie inferior o fondo se encuentre nivelado, para lo cual se utiliza un nivel de burbuja. Ver fotografía 35.

Fotografía 35. Nivelación de la bandeja



Fuente. Autores del proyecto

Inmediatamente, se colocan dos barras de metal inoxidable, cuya longitud este entre 125 mm y 150 mm, de sección transversal rectangular, con un espesor (altura) de 6 mm, como se muestra en la fotografía 36.

Fotografía 36. Ubicación de barras de metal inoxidable.



Fuente. Autores del proyecto

Ubicadas las barras de acero, se procede a llenar la bandeja con agua (ver fotografía 37), para lo cual se deben proporcionar medios adecuados para mantener constante el nivel del agua después de que se coloque la pieza de ensayo, 3,0 mm por encima del lado superior del soporte o barra metálica, con una precisión de $\pm 0,25$ mm. Dicha altura se determina con un medidor de profundidad (ver fotografía 38). Para el ensayo de cada uno de los especímenes la altura del agua debe ser la misma descrita inicialmente.

Fotografía 37. Llenado de la bandeja



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 38. Medición de la profundidad del agua.



Fuente. Autores del proyecto

El espécimen de ensayo se coloca sobre las barras metálicas para determinar su capacidad de succión, se mide sobre la cara de la pieza que normalmente debe estar en contacto con

el mortero al ser puesto en obra, desde ese preciso momento se inicia el conteo de 60 ± 1 seg mediante el uso de un cronometro. El nivel del agua se debe mantener entre los límites prescritos, agregando más agua cuando sea necesario según fotografía 39.

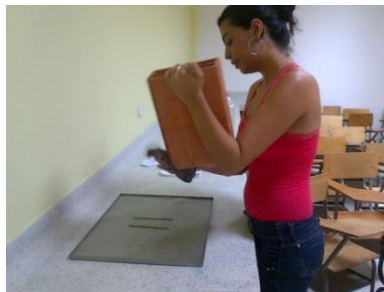
Fotografía 39. Absorción del espécimen sobre las barras de metal inoxidable.



Fuente. Autores del proyecto

Al finalizar los 60 ± 1 seg se retira el espécimen, y se seca el exceso en la superficie con un paño húmedo (según fotografía 40), luego se procede a determinar su masa en la balanza digital con precisión de 0,5 gr (según fotografía 41). Esta limpieza no puede tener un tiempo superior a 10 seg y el pesaje se debe completar dentro de los primeros 120 seg después de retirado.

Fotografía 40. Secado del espécimen con un paño húmedo.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 41. Pesaje final de la muestra.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez finalizado este procedimiento se realizan las operaciones necesarias para determinar la tasa inicial de absorción máxima, para ello se muestran a continuación los cálculos realizados.

Cálculos

Tasa Inicial de Absorción:

$$T.I.A = G/A/\text{min}$$

T.I.A = Tasa inicial de absorción, en $\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$

G = Diferencia en gramos de los pesajes inicial y final por cada minuto, en g/min

A = Área neta en contacto con el agua, en cm^2

Los resultados obtenidos del ensayo de tasa inicial de absorción (succión) en las unidades de perforación horizontal H-10 para cada fabricante se dan a conocer a continuación en el cuadro 7.

Cuadro 7. Tasa inicial de absorción (succión) en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

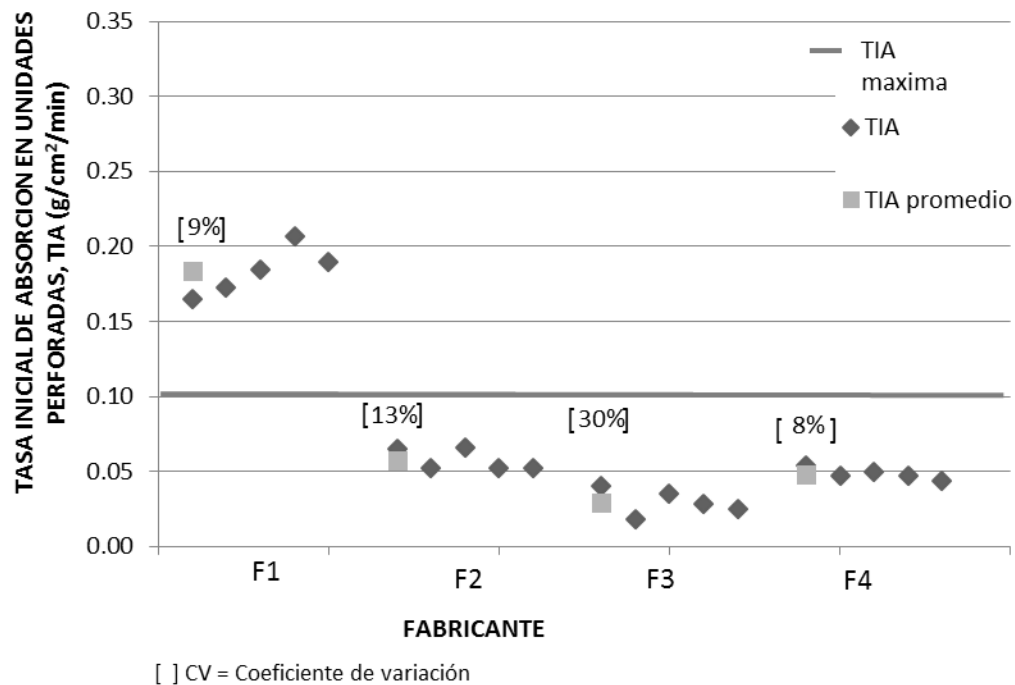
Tasa inicial de absorción (succión) para unidades de perforación horizontal							
Fabricante	Espécimen	Diferencia de pesajes (g/min)	Área neta agua(cm^2)	T.I.A. ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)	Prom T.I.A. ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$)	Desv. estándar (σ)	Coef. Variación (CV)
F1	6	47	285	0,16	0,18	0,02	9%
	7	48	279	0,17			
	8	54	293	0,18			
	9	57	275	0,21			
	10	53	280	0,19			
F2	6	20	309	0,06	0,06	0,01	13%
	7	16	305	0,05			
	8	20	305	0,07			
	9	16	309	0,05			
	10	16	307	0,05			
F3	6	12	299	0,04	0,03	0,01	30%
	7	5	279	0,02			
	8	10	287	0,03			
	9	8	285	0,03			
	10	7	280	0,02			
F4	6	16	297	0,05	0,05	0,00	8%
	7	14	295	0,05			
	8	15	300	0,05			
	9	14	299	0,05			
	10	13	300	0,04			
			PROMEDIO TOTAL		0,08	0,01	15%

Fuente. Autores del proyecto

En la cuadro 7 se muestran los resultados para el ensayo de tasa inicial de absorción (succión) de las piezas de mampostería H-10 cuyo valor máximo fue para el fabricante 1 que corresponde a la ladrillera Ocaña con una T.I.A promedio de 0,18 g/cm²/min y cuyo valor mínimo fue para el fabricante 3 correspondiente a la ladrillera Arcillas de Colombia con un T.I.A promedio de 0,03 g/cm²/min, de la misma forma, se evidencia que el T.I.A promedio para los bloques utilizados en la ciudad de Ocaña es de 0,08 g/cm²/min.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de tasa inicial de absorción de los bloques H-10 se indica en la gráfica 4.

Grafica 4. Determinación de la tasa inicial de absorción en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

Durante el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo se observó que los datos presentan una gran cercanía entre ellos, pues la desviación estándar y el coeficiente de variación encontrado es 0,01 y 15% respectivamente para los bloques utilizados en la ciudad de Ocaña, tal información se evidencia en la gráfica 4.

La NTC 4205⁷¹ establece como requisitos mínimos una tasa de absorción capilar de 0,1 g/cm²/min, medida para un tiempo de prehumedecimiento menor a 5min. Según tabla 7. Tabla 7. Tasa inicial de absorción.

Tasa inicial de absorción g/cm ² /min	Tiempo recomendado de prehumedecimiento
< 0.10	5 min
< 0.15	1 h
< 0.25	24 h

Fuente. ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos, p. 6.

De acuerdo a la anterior tabla el fabricante 1, correspondiente a ladrillera Ocaña no cumple con el rango requerido por la norma, por lo cual se podría asumir que dicha situación se presenta debido a una falta de cocción en los bloques, o a una ausencia de un porcentaje adecuado de arcillas y limos lo que genera que haya mucho material granular que ocasione perforaciones al interior y por eso es que absorbe más agua de lo permitido.

4.4 EVALUAR LA TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA A TRAVÉS DE LA PRUEBA DE FLUIDEZ DEL MORTERO

Para la determinación de la fluidez del mortero de cemento hidráulico se siguieron los parámetros estipulados en la NTC 5784⁷². El equipo utilizado en la realización del ensayo de fluidez del mortero es el que se menciona a continuación.

Equipo

Mesa de flujo Pinzuar Ltda. Modelo PC-41 serie 112
 Calibrador digital BAKER Reading 0,01 mm/0,0005”
 Palaustre
 Recipiente

Por otro lado, es indispensable contar con los siguientes materiales.

Materiales

Cemento portland tipo 1 marca Boyacá
 Arena
 Agua

⁷¹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Ingeniería Civil y Arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos.

⁷² ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2000. Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico.

Procedimiento

El molde de forma cónica se coloca en el centro de la plataforma de la mesa de flujo, teniendo previo cuidado de que ésta se encuentre limpia y seca, como se ilustra en la fotografía 42.

Fotografía 42. Mesa de flujo limpia y seca.



Fuente. Autores del proyecto

En el molde se vierte una primera capa del mortero que se va a ensayar, de unos 25 mm (1") de espesor (ver fotografía 43), la cual posteriormente se apisona 20 veces con un compactador distribuyendo uniformemente los golpes.

Fotografía 43. Vertido de la primera capa de mortero al molde.



Fuente. Autores del proyecto

Con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa, la presión del compactador será la suficiente que asegure el llenado uniforme del molde, luego se retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie por medio de un palaustre, como se muestra en la fotografía 44.

Fotografía 44. Llenado total del molde



Fuente. Autores del proyecto

Después de un minuto de finalizar la operación de llenado, el molde se levanta para retirarlo (ver fotografía 45) e inmediatamente se programa la mesa de flujo para que caiga desde una altura de 12,7 mm (1/2") 25 veces en 15 segundos, la fotografía 46 ilustra la muestra de mortero luego de terminado el proceso de caída.

Fotografía 45. Retiro del molde



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 46. Muestra al finalizar la prueba de la mesa de flujo



Fuente. Autores del proyecto

Luego se toman cuatro medidas equidistantes de la muestra en cada una de las ranuras que se hallan en la plataforma de la mesa de flujo (véase fotografía 47), para determinar con ello un diámetro promedio de la muestra.

Fotografía 47. Medición del diámetro de la muestra.



Fuente. Autores del proyecto

La fluidez es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, para determinar dicha fluidez se realizan los siguientes cálculos.

Cálculos

Porcentaje de Fluidez

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro Promedio} - \text{Diámetro de base inferior del molde}}{\text{Diámetro de base inferior del molde}} \times 100$$

Los resultados obtenidos en el ensayo de fluidez del mortero hidráulico utilizado para pega y pañete en la construcción de muretes se dan a conocer en el cuadro 8.

Cuadro 8. Determinación de la fluidez del mortero hidráulico para mortero de pega y de pañete en muros de mampostería de perforación horizontal H-10.

Ensayo de fluidez del mortero para muretes				
Fabricante	tipo de mortero	Diámetro de muestra (mm)	Diámetro base (mm)	% de fluidez
F1,F2,F3,F4	Pañete	203	100	99,125
		196		
		195		
		202,5		
F1,F2, F3,F4	Pega1	194	100	93,25
		192		
		192		
		195		

Fuente. Autores del proyecto

En el cuadro 8 se observa el porcentaje de fluidez del mortero hidráulico utilizado para pañete y pega en el ensayo de tracción diagonal, arrojando valores de 99,125% y 93,25% para una resistencia a la compresión del mortero de 13,17 Mpa y 13,83 Mpa respectivamente, datos que permiten deducir que el aumento de la resistencia a la compresión es inversamente proporcional a la fluidez del mismo.

Los resultados obtenidos en el ensayo de fluidez del mortero hidráulico utilizado para pega en la construcción de prismas se dan a conocer en el cuadro 9.

Cuadro 9. Determinación de la fluidez del mortero hidráulico para pega del ensayo a compresión de prismas en mampostería de perforación horizontal H-10.

Ensayo de fluidez del mortero para prismas				
Fabricante	Tipo de mortero	Diámetro de la muestra (mm)	Diámetro de la base (mm)	% de fluidez
F1,F2,F3,F4	Pega2	191	100	89,63
		192		
		185		
		190,5		
Fuente. Autores del proyecto				

En el cuadro 9 se observa el porcentaje de fluidez calculado para el ensayo a compresión en primas, del que se puede inferir que al aumentar la resistencia a la compresión del mortero disminuye la fluidez del mismo, para este caso en particular el valor de la resistencia del mortero fue de 18,45 Mpa con un porcentaje de fluidez del 89,63% mientras que la resistencia a la compresión de diseño adoptada para este trabajo fue de 12,5 Mpa, es decir un mortero tipo S con un ensayo de fluidez estimado del 110%, con lo que se corrobora lo antes dicho.

4.5 CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN EL MORTERO DE PEGA UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DE LOS PRISMAS, MUROS DE MAMPOSTERÍA REFORZADOS Y NO REFORZADOS EXTERIORMENTE

Se elaboró un diseño de mezcla de mortero con el fin de realizar los especímenes de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión en prismas (NTC 3495⁷³), para tal efecto se elaboraron controles de calidad del mortero de pega utilizando cubos de 50 mm de lado (NTC 220⁷⁴) y para la construcción de muretes de mínimo 1,20x1,20m con el fin de

⁷³ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2003. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

⁷⁴ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2004. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado.

realizar el ensayo de tracción diagonal (ASTM E -519- 07⁷⁵); a continuación indicaremos el procedimiento realizado para el diseño del mortero.

4.5.1 Diseño de mortero de pega. Para conocer datos característicos de las propiedades correspondientes a los materiales utilizados en la mezcla de mortero se realizaron una serie de ensayos de laboratorio según lo establece la NTC 3356⁷⁶. Para lo cual se requieren los siguientes ensayos: Ensayo de densidad aparente y absorción del agregado fino, ensayo densidad específica del cemento, ensayo de humedad del agregado fino, ensayo de análisis granulométrico y módulo de finura.

4.5.1.1 Ensayo de densidad aparente y absorción del agregado fino, NTC 237⁷⁷. En la realización de este ensayo se utiliza el siguiente equipo.

Equipo

Picnómetro 500 ml

Tara o platón

Paño absorbente

Balanza digital marca OHAUS, precisión de 0,01 gr

Horno digital de precisión PG 190 serie 151

Es necesario además, contar con los siguientes materiales.

Materiales

100 gr de arena

Agua

Procedimiento

Primero, se toma la cantidad de muestra (100 gr) y se sumerge en agua durante 24 horas.

Cumplido el tiempo se saca el agua con cuidado para evitar pérdida de la muestra.

Sobre un paño se coloca la arena y se comienza a secar hasta que esta no se adhiera a los dedos, teniendo cuidado de no desperdiciar la muestra.

Luego que la arena esté superficialmente seca se coloca en una tara y se pesa el valor siendo este (S).

El picnómetro de 500 ml se llena de agua y se pesa siendo este (B).

⁷⁵ STANDARD TEST METHOD FOR DIAGONAL TENSION (SHEAR) IN MASONRY ASSEMBLAGES. Determinación de la diagonal tracción o resistencia al corte. [en línea]. [citado el 25 de agosto de 2013]. Disponible en internet: <<http://amipp.rutgers.edu/assets/documents/ASTM/DiagShearCerE519.pdf>>

⁷⁶ ICONTEC. Norma técnica colombiana 2000. Concretos. Mortero premezclado para mampostería.

⁷⁷ ICONTEC. Norma técnica colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del Agregado Fino.

Después se procede a introducir poco a poco la muestra en el picnómetro de 500 ml; en este caso se observará que el agua se va derramando pero una vez se haya introducido el material en su totalidad se debe dejar el agua hasta el mismo punto inicial; este dato es (C). Por último, la muestra y el agua que se encuentran en el picnómetro se introducen en una tara y se coloca en el horno digital de precisión 24 horas, pasando este tiempo se pesa y ese valor es (A).

Para el cálculo de la densidad aparente y absorción del agregado fino, se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones.

Cálculos

A = masa muestra seca en el horno digital de precisión

B = masa del picnómetro de 500 ml + agua

S = muestra saturada y superficialmente seca

C = masa del picnómetro de 500 ml + muestra + agua

Densidad aparente (Da),

$$Da = \frac{A}{(B + S) - C} = \frac{86.30 \text{ g}}{(670.40 + 88.6) - 725} = 2.538 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción (Abs),

$$Abs = \left(\frac{S - A}{A} \right) * 100 = \left(\frac{88.6 - 86.3}{86.3} \right) * 100 = 2.665 \%$$

4.5.1.2 Ensayo densidad específica del cemento, NTC 221⁷⁸. El equipo requerido para determinar la densidad específica del cemento se menciona a continuación.

Equipo

Frasco de Le chatelier de 24 ml

Termómetro

Pipeta

Tara con agua a una temperatura de 20°C

Para llevar a cabo este ensayo se necesita disponer de los siguientes materiales.

⁷⁸ICONTEC. Norma técnica colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método de Ensayo para determinar la densidad del Cemento Hidráulico.

Materiales

Kerosene libre de agua
64,1 gr del cemento a utilizar

Procedimiento

El frasco se llena hasta un punto entre 0 y 1 ml con kerosene utilizando una pipeta para no mojar la parte superior del mismo, esta lectura es L_o (lectura inicial).

Luego se coloca el frasco dentro de la tara y se mide la temperatura del kerosene, cuyo dato es temperatura inicial.

Una vez tomada la temperatura se agrega el cemento poco a poco para evitar que este se quede en la parte angosta del frasco.

Posteriormente, se introduce nuevamente el frasco en la tara con agua, la cual debe estar a una temperatura de 25°C ; al estar seguros de esto se procede a tomar la temperatura del kerosene, siendo esta la temperatura final.

El valor de la lectura final se toma mediante la lectura del frasco hasta donde subió el líquido.

El cemento utilizado fue cemento Portland tipo I, de marca BOYACÁ. La cantidad utilizada de cemento fue de 64.1 gr. La temperatura a la cual se realizó el ensayo fue de 25°C . La diferencia entre las lecturas final e inicial representará el volumen de líquido desplazado por la masa del cemento usado en la práctica.

Después de realizado el ensayo anterior se procede a desarrollar los cálculos pertinentes para conocer la densidad específica del cemento a utilizar en la mezcla de mortero.

Cálculos

Densidad específica del cemento, (P.E)

$$P.E \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{peso de la muestra}}{\text{Vol. desplazado}} = \frac{W}{L_f - L_o}$$

Los datos obtenidos se muestran en el cuadro 10, los cuales serán reemplazados en la ecuación anterior.

Cuadro 10. Datos del ensayo densidad específica del cemento.

Ensayo N°	Tipo de cemento	Peso de la muestra (gr)	Vol. Inicial L_o (ml)	Temp. Inicial ($^{\circ}\text{C}$)	Vol. Final L_f (ml)	Temp. Final ($^{\circ}\text{C}$)
1	Boyacá	64.1	0.5	25	23.1	25
2	Boyacá	64.1	0.8	26	22.1	26

Fuente. Autores del proyecto

$$P.E_1 = \frac{W}{L_f - L_o} = \frac{64.1}{(23.1 - 0.5)} = 2.836 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$P.E_2 = \frac{W}{L_f - L_o} = \frac{64.1}{(22.1 - 0.8)} = 3.009 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

$$P.E_{prom} = 2,923 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

4.5.1.3 Ensayo de humedad del agregado fino, NTC 1776⁷⁹. Para realizar el ensayo de humedad del agregado fino se necesita el equipo que a continuación se menciona.

Equipo

Tara

Balanza digital

Horno mufla

Los materiales requeridos en este ensayo son los siguientes.

Materiales

500 gr de arena

Procedimiento

Primero, se toman 500 gr de muestra natural y se pesa, este valor corresponde a (H).

Luego de pesar la muestra, ésta se coloca en el horno mufla por 24 horas y una vez cumplido dicho tiempo se vuelve a pesar, con lo que se obtiene el valor de (S).

Para determinar el contenido de humedad del agregado es necesario realizar una serie de operaciones que a continuación se relacionan.

Cálculos

Humedad del agregado fino, (W)

$$W = \frac{(H - S)}{S} * 100$$

Los datos obtenidos del ensayo de contenido de humedad se muestran en el cuadro 11, los cuales serán reemplazados en la ecuación anterior.

⁷⁹ ICONTEC. Norma técnica colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los Agregados.

Cuadro 11. Datos ensayo de contenido humedad.

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Peso recipiente + muestra húmeda(gr)	Peso recipiente + muestra seca (gr)
1	84.7	584.7	574.8
Fuente. Autores del proyecto			

El contenido de Humedad (W) se calcula así:

H = masa muestra natural (500gr)

S = muestra seca (490.1gr)

$$W = \frac{(H - S)}{S} * 100 \rightarrow W = \frac{(500 - 490.1)}{490.1} * 100 \rightarrow W = 2.02\%$$

4.5.1.4 Ensayo análisis granulométrico y módulo de finura, NTC 174⁸⁰. Para la realización del ensayo de granulometría y módulo de finura es importante contar con el siguiente equipo.

Equipo

Tamices

Tara

Balanza digital

Los materiales empleados en el análisis granulométrico y módulo de finura son los que aquí se mencionan.

Materiales

500 gr de arena

Procedimiento

Inicialmente, se toma una muestra del material de 500 gr.

Luego la muestra se pasa por una serie de tamices y se pesa la cantidad de material que queda retenido en cada uno de ellos.

⁸⁰ ICONTEC. Norma técnica colombiana. Ingeniería Civil y Arquitectura. Concretos. Especificaciones de los Agregados para concreto.

Una vez se obtenga el peso retenido en cada uno de los tamices se realizan una serie de operaciones con el fin de determinar la granulometría y el módulo de finura, como se muestra a continuación.

Cálculos

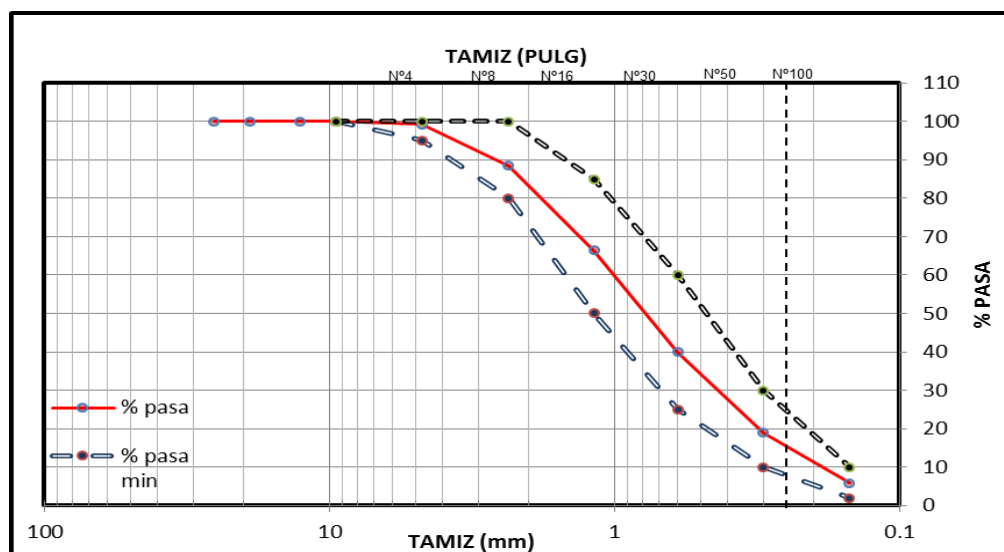
Para el cálculo del análisis granulométrico de agregado fino, se consignaron los valores en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados ensayo granulometría.

Peso Total de la muestra (gr)			480			Rangos de Diseño (NTC-174)	
Tamiz		Peso retenido gr.	% Retenido	% Retenido acumulado	% pasa	inferior	Superior
mm	pulg					% pasa min	% pasa max
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00		
19	¾"	0,00	0,00	0,00	100,00		
12,7	½"	0,00	0,00	0,00	100,00		
9,5	¾"	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
4,75	# 4	3,70	0,78	0,78	99,22	95,00	100,00
2,36	# 8	50,80	10,72	11,50	88,50	80,00	100,00
1,18	# 16	105,00	22,15	33,65	66,35	50,00	85,00
0,6	# 30	125,30	26,43	60,08	39,92	25,00	60,00
0,3	# 50	99,20	20,93	81,01	18,99	10,00	30,00
0,15	# 100	62,50	13,19	94,20	5,80	2,00	10,00
	#200	16,00	3,38	97,57	2,43		
0	Fondo	11,50	2,43	100,00	0,00	0,00	0,00
	Total	474,00	100,00				

Fuente. Autores del proyecto.

Gráfica 5. Análisis granulométrico de los agregados



Fuente. Autores del proyecto.

De igual manera, para el cálculo del módulo finura se utilizó la siguiente ecuación:

$$M.F. = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado desde el tamíz N}^\circ 3 / 8'' \text{ al } \# 100}{100}$$

$$M.F. = \frac{0 + 0.78 + 11.50 + 33.65 + 60.08 + 81.01 + 94.20}{100} = 2.81$$

En resumen, los resultados obtenidos de los ensayos correspondientes al diseño de mortero fueron los siguientes.

Módulo de Finura: 2.81

Densidad aparente seca: 2.538 (gr/cm³)

Peso específico del cemento: 2.923 (gr/cm³)

Contenido de humedad (W): 2.20 %

Conociendo los anteriores datos se continúa a determinar el diseño de mezcla, llevando a cabo el siguiente procedimiento.

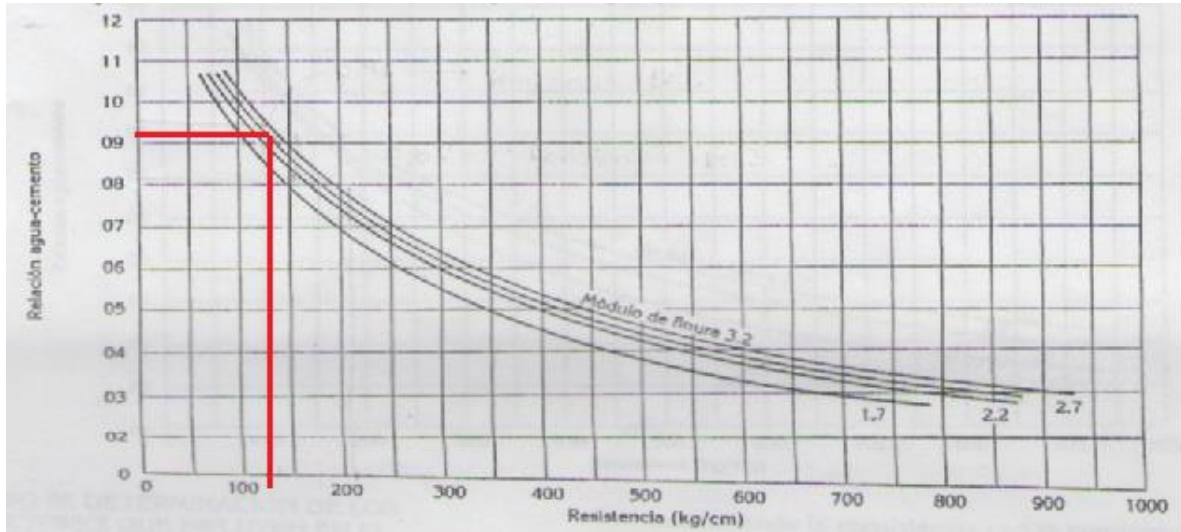
Procedimiento para calcular la dosificación de la mezcla de mortero.

Según la tabla 3 se escoge el tipo de mortero que se desea diseñar, en este caso un mortero tipo S, cuya resistencia a la compresión a los 28 días es de 12,5 MPa.

Tomando como referencia la tabla 5 se escogió trabajar con una consistencia media y un porcentaje de fluidez del 110%, pues se encuentra en el intervalo recomendado para pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.

Con el valor del módulo de finura y la resistencia a la compresión en Kg/cm², se halla la relación agua-cemento en la gráfica 6; arrojando un valor de 0,92.

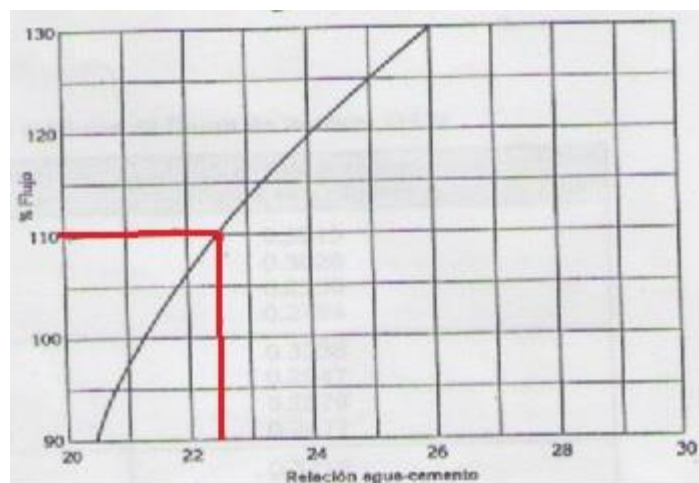
Gráfica 6. Correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos para cemento portland tipo I y arena de forma redonda y textura lisa.



Fuente. Tecnología del concreto y mortero

Teniendo en cuenta el porcentaje de flujo y la gráfica 7 se haya un valor de relación agua-cemento, cuyo valor se denomina K (valor de la relación agua-cemento para la consistencia requerida en términos de fluidez de la pasta de cemento) y corresponde a 0,225.

Gráfica 7. Relación entre porcentaje de fluidez y relación agua-cemento.



Fuente. Tecnología del concreto y mortero

De tabla 8 se determina un valor de b (factor que relaciona la consistencia requerida, módulo de finura, forma y textura de la arena) teniendo como referencia la consistencia, el

módulo de finura, la forma y textura de las partículas; en este caso las partículas son arena de granos redondos y lisos por lo que b es igual a 0,2634.

Tabla 8. Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena.

Consistencia	Módulo de finura	Arena de granos redondos y lisos	Arena de granos angulares y rugosos
Seca (90%)	1.7	0.3293	0.3215
	2.2	0.3110	0.3028
	2.7	0.2772	0.2930
	3.2	0.2394	0.2494
Plástica (110%)	1.7	0.3242	0.3238
	2.2	0.3033	0.2947
	2.7	0.2734	0.2879
	3.2	0.2368	0.2477
Fluida (130%)	1.7	0.3172	0.3216
	2.2	0.2927	0.3003
	2.7	0.2587	0.2949
	3.2	0.2340	0.2629

Fuente. Tecnología del concreto

Luego de conocer los valores de A/C, K Y b se remplazan en la siguiente ecuación para obtener n; y de esta forma determinar la proporción 1:n.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{A}{C}\right) - \ln(k)}{b}$$

$$n = \frac{\ln(0,92) - \ln(0,225)}{0,2634} = 5,35$$

7. Una vez conocido el valor de n se continúa con el cálculo del contenido de cemento; para lo cual se utiliza la ecuación.

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{Gc} + \frac{n}{Ga} + Ke^{bn}}$$

Dónde:

$$Ke^{bn} = A/C$$

Gc = Densidad específica del cemento

Ga = Densidad aparente seca

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{2,923} + \frac{5,35}{2,538} + 0,92} = 297 \text{ kg/cm}^3$$

El contenido de agua se determina a través de la ecuación:

$$A = \left(\frac{A}{C}\right) * C$$

$$A = 0,92 * 297 = 273/m^3$$

Conocido el valor de n y el valor del contenido de cemento; el contenido de arena se calcula de la siguiente manera:

$$a = n * C$$

$$a = 5,35 * 297 = 1589 \text{ kg/m}^3$$

Al tabular los anteriores datos se tienen los valores del cuadro 13.

Cuadro 13. Contenido de materiales por metro cúbico de mortero en proporción 1:5,35

material	peso seco (kg)	peso específico (g/cc)	volumen (l)
Cemento	297	2,923	102
Arena	1589	2,538	626
Agua	273	1	273
TOTAL	2159		1000
Fuente. Autores del proyecto			

Al realizar un ensayo para comprobar la resistencia a la compresión del mortero se observó que la resistencia obtenida fue de 4,84 Mpa, dato que se encuentra muy por debajo de la requerida para un mortero tipo S, la cual es de 12,5 Mpa, por lo tanto se optó por mejorar la dosificación a 1:4 que tomando como referencia la tabla 2, corresponde a la pega para ladrillos en muros y baldosines, Pañete finos.

Obtenidos los resultados del diseño de mortero y después de preparada la mezcla para su posterior utilización, es necesario verificar su resistencia a los 28 días usando cubos de mortero hidráulico de 50 mm ó 50,8 mm de lado; dicho ensayo se encuentra reglamentado en la NTC 220⁸¹, para tal efecto es necesario el equipo que se relaciona.

⁸¹ ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2004. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado.

Equipo

Máquina universal PU-300 M, serie 109
Molde para probetas cúbicas, marca pinzuar
Llave de expansión
Palaustre
Barra de punzando
Paño
Chipote
Balanza digital Pinzuar Ltda 2000 series
Calibrador digital BAKER Reading 0,01mm/0,0005”

Para la realización del ensayo de compresión en cubos de mortero se requiere de los materiales mencionados.

Materiales

Aceite de engrasado
Cemento portland tipo I
Arena
Agua

Procedimiento

Primero, se toma el molde para probetas cúbicas y se aseguran los tornillos (según fotografía 48), posteriormente se engrasan las caras interiores del molde hasta lograr una capa delgada y uniforme, como se observa en la fotografía 49.

Fotografía 48. Asegurado de los tornillos del molde.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 49. Engrase de las caras interiores del molde.



Fuente. Autores del proyecto

El mortero a utilizar en el ensayo fue el preparado para realizar el laboratorio de tracción diagonal en muros y el laboratorio de prismas elaborados en bloque H-10, con una dosificación de mezcla de 1:4 para pega de mortero y 1:3 para pañete. Según fotografía 50.

Fotografía 50. Mezcla de mortero a utilizar.



Fuente. Autores del proyecto

En cada compartimiento de la formaleta se coloca una capa de 25 mm de mortero, aproximadamente a la mitad de la profundidad del molde (véase fotografía 51), luego se apisona con 32 golpes del compactador en 10 seg en 4 etapas de 8 golpes adyacentes, como se ilustra en la figura 5, la presión del compactador debe ser de forma que asegure un llenado uniforme de los compartimientos, completando las cuatro etapas de compactación (32 golpes) en cada compartimiento antes de seguir con el siguiente (véase fotografía 52).

Fotografía 51. Primera fase de llenado de la formaleta.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 52. Apisonamiento de la capa de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

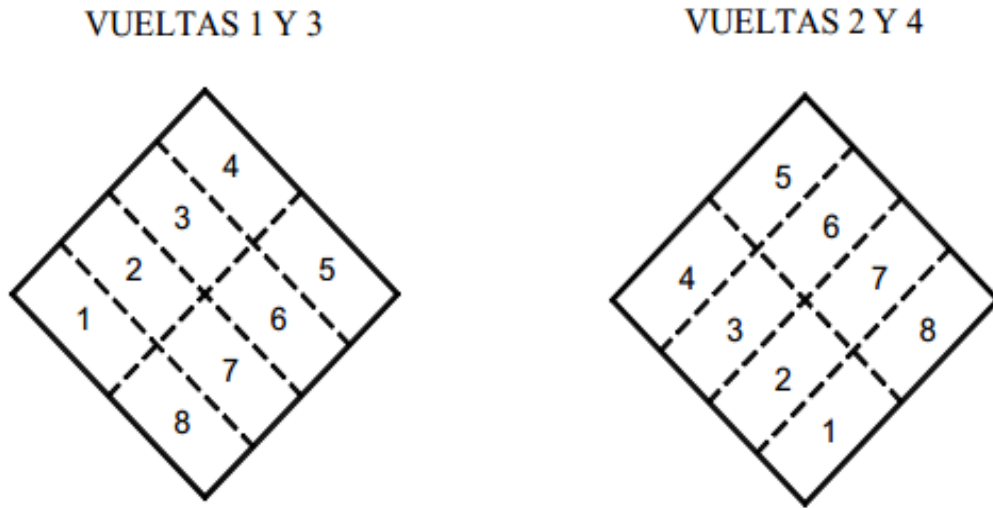
Finalizada las etapas de compactación en cada uno de los compartimientos se procede a golpear 15 veces la formaleta con un chipote, estos golpes deben ser distribuidos uniformemente, como se observa en la fotografía 53.

Fotografía 53. Golpes a la formaleta.



Fuente. Autores del proyecto

Figura 5. Orden de compactación del moldeo de los cubos.



Fuente. ICONTEC, Catalogo Normas Técnicas Colombianas 2004. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado.

Una vez terminada la operación anterior, cada uno de los compartimientos se llenan nuevamente con una segunda capa de mortero y se repite exactamente el mismo procedimiento, que hace referencia a la compactación en cada compartimiento (ver fotografía 54) y al golpeado de la formaleta (ver fotografía 55). Al finalizar la compactación, la cara superior de los cubos debe quedar un poco más altas que los bordes superiores del molde y el mortero que se ha depositado en los bordes debe verterse en los compartimientos con ayuda del palustre y el exceso debe retirarse, como se muestra en la fotografía 56.

Fotografía 54. Apisonamiento de la segunda capa de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 55. Golpeado de la segunda capa de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 56. Llenado total de los moldes



Fuente. Autores del proyecto

Terminada la operación de llenado, la formaletas se deben colocar en una superficie totalmente plana fraguando durante 24 horas. Según fotografía 57.

Fotografía 57. Fraguado de los cubos de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

Después de cumplidas las 24 horas de fraguado, los cubos se retiran de los moldes (según fotografía 58) para sumergirse en agua dentro de un tanque de almacenamiento a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 28 días, como se muestra en la fotografía 59. Fotografía 58. Retiro de los cubos de mortero del molde.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 59. Sumergido de los mortero en agua.



Fuente. Autores del proyecto

Cumplidos los 28 días se sacan del tanque de almacenamiento, al sacarlos se debe quitar el exceso de humedad con un paño hasta el momento de iniciar el ensayo y los granos de arena sueltos o las incrustaciones sobre las caras que van a estar en contacto con las placas de apoyo de la máquina deben retirarse. Ver fotografía 60.

Fotografía 60. Especímenes después de ser sumergidos en agua.



Fuente. Autores del proyecto

Luego, se toman tres medidas de cada lado de la cara donde se aplicará la carga, para calcular así un área promedio, de igual forma se mide tres veces la altura para obtener un dato promedio de la misma, como se observa en las fotografías 61 y 62 respectivamente.

Fotografía 61. Medición del área de la muestra.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 62. Medición de la altura de la muestra.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez se hallan tomado las medidas, se determina el peso correspondiente a cada muestra en la balanza digital. Según fotografía 63.

Fotografía 63. Pesaje de los cubos de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

Las muestras son llevadas inmediatamente a la maquina Universal de ensayo, se coloca con cuidado cada cubo de mortero, teniendo en cuenta que las superficies sobre las que se va a ejercer presion sean las que estuvieron en contacto con las paredes del molde (ver fotografia 64), la aplicaci3n de carga debe hacerse de manera constante hasta que el cubo presente falla (ver fotografia 65), cuando el cubo est3 cediendo antes de la rotura, no debe hacerse ning3n ajuste a los controles de la m3quina.

Fotograf3a 64. Especimen listo para ser ensayado en la m3quina.



Fuente. Autores del proyecto

Fotograf3a 65. Falla del cubo de mortero.



Fuente. Autores del proyecto

Terminado el anterior procedimiento se realizan los c3lculos necesarios para determinar la resistencia a la compresi3n en cubos de mortero hidr3ulico.

C3lculos

Se registra la carga m3xima indicada por la m3quina de ensayo en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresi3n mediante la siguiente expresi3n:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

En donde,

f_m = Resistencia a la compresión en MPa

P = máxima carga total en N

A = área de la superficie cargada, mm²

Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero utilizados para pega y pañete de muretes, y prismas se presentan en los cuadros 14, 15 y 16 respectivamente.

Cuadro 14. Determinación de la resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para muretes.

Determinación de resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para muretes								
Fabricante	Espécimen	Área (mm ²)	Área prom. (mm ²)	Carga max. (Kn)	resist. Compres (Mpa)	Promedio resist. Compresión (Mpa)	Desv. Estándar (σ)	Coef. De variación (cv)
F1	1	2516	2523	36,02	14,33	15,98	1,43	9%
	2	2507		41,96	16,73			
	3	2547		43,01	16,89			
F2	1	2505	2508	31,07	12,46	12,13	0,29	2%
	2	2527		30,20	11,93			
	3	2492		29,72	11,99			
F3	1	2490	2496	26,25	10,57	10,39	0,15	1%
	2	2504		25,74	10,28			
	3	2493		25,67	10,34			
F4	1	2552	2533	42,07	16,48	16,81	1,75	10%
	2	2522		38,47	15,25			
	3	2525		47,22	18,70			
				Promedio Total		13,83	0,91	6%

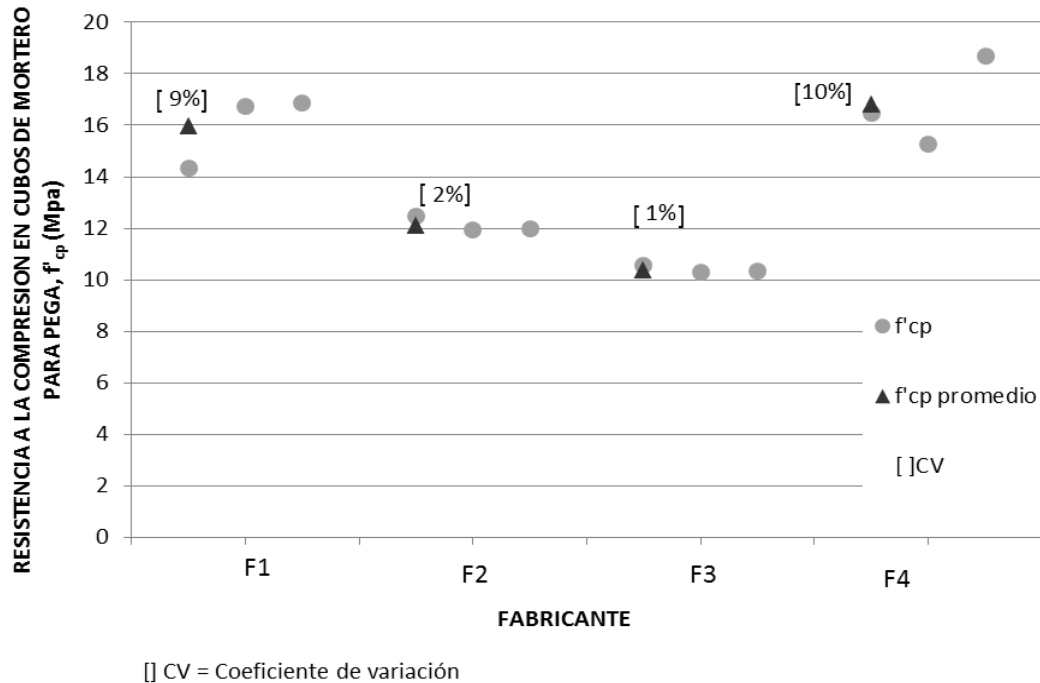
Fuente. Autores del proyecto

En el cuadro 14 se muestran los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega cuyo valor máximo fue para el mortero utilizado en el fabricante 4 que corresponde a la ladrillera Zuligres con un f_{cp} promedio de 16,81 Mpa y cuyo valor mínimo fue para el mortero utilizado en el fabricante 3 correspondiente a la ladrillera Arcillas de Colombia con un f_{cp} promedio de 10,39 Mpa.

La resistencia a la compresión encontrada en los cubos de mortero para los cuatro fabricantes fue de 13,83 Mpa con una desviación estándar de 0,91, un coeficiente de variación del 6% y un porcentaje de fluidez de 93,25%.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega en muretes se muestra en la gráfica 8.

Gráfica 8. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para muretes.



Fuente. Autores del proyecto

De la gráfica 8, se puede inferir que los datos obtenidos para los cuatro fabricantes se encuentran muy cercanos, lo que expresa homogeneidad en los resultados, es decir no se presentan variaciones importantes en ellos.

Al realizar el diseño de mortero se decidió trabajar con un mortero tipo S cuya resistencia a la compresión es de 12,5 Mpa; con lo que se observa, según los resultados obtenidos que el mortero utilizado en los fabricantes 1 y 4 correspondientes a las ladrilleras Ocaña y Zuligres cumplen con la resistencia mínima requerida; de igual manera, el mortero que se utilizó en los fabricantes 2 y 3 que corresponden a las ladrilleras Arbetcol y Arcillas de Colombia se encuentran muy cerca del valor mínimo establecido, por tanto se puede decir que estos dos valores de resistencia a la compresión son aceptables.

De igual manera, en el cuadro 15 se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero hidráulico utilizado en el pañete de los muros.

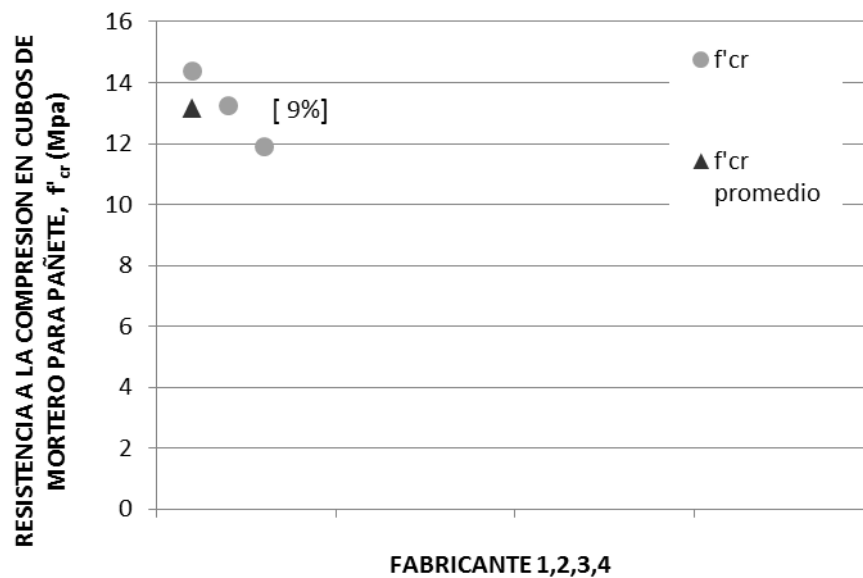
Cuadro 15. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero para pañete de muretes.

Determinación de resistencia a la compresión en cubos de mortero de pañete para muretes								
Fabricante	Espécimen	Área (mm ²)	Área Prom (mm ²)	Carga Max. (Kn)	Resist. Compresión (Mpa)	Promedio Resist. Compresión (Mpa)	Desv. Estándar (σ)	Coef. De variación (CV)
F1,F2,F3,F4	1	2514	2489,09	36,15	14,38	13,17	1,25	9%
	2	2519		33,37	13,25			
	3	2435		28,96	11,89			

El cuadro 15 muestra los resultados en el ensayo de resistencia a la compresión del mortero utilizado para el revoque de todos los muros de los 4 fabricantes, en donde se presenta un f'_{cp} promedio de 13,17 Mpa, con una desviación estándar de 1,25 y un coeficiente de variación del 9%, recordando que su porcentaje de fluidez es de 99,13%.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero para pañete en muretes se muestra en la gráfica 9.

Gráfica 9. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pañete.



[CV = Coeficiente de variación

Fuente. Autores del proyecto

De la gráfica 9 se deduce que los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del mortero utilizado para pañete corresponden a una distribución normal, pues la dispersión presentada en los datos es pequeña. A continuación, en el cuadro 16 se

muestran los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero para pega empleado en la elaboración de los prismas.

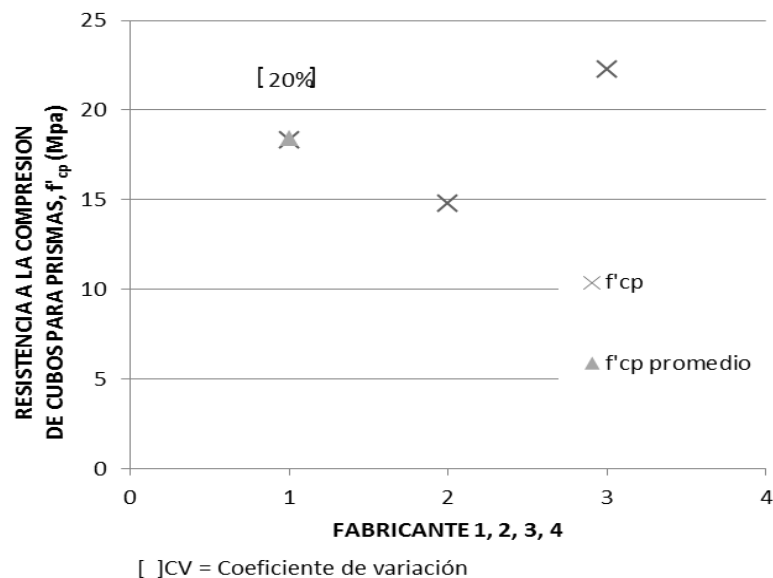
Cuadro 16. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para prismas

Determinación de resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega en prismas								
Fabricante	Espécimen	Área (mm ²)	Área prom. (mm ²)	Carga max (Kn)	Resist. Compresión (Mpa)	Promedio resist. Compresión (Mpa)	Desv. Estándar (σ)	Coef. De variación (cv)
F1,F2,F3,F4	1	2643	2634	48,37	18,30	18,45	3,75	20%
	2	2621		38,73	14,78			
	3	2638		58,73	22,26			

Fuente: Autores del proyecto

En el cuadro 16 se encuentra que el mortero utilizado en la construcción de los primas para todos los fabricantes presenta un f'_{cp} promedio de 18,45 Mpa, lo que se considera una alta resistencia a la compresión, pues es superior a la mínima establecida en el diseño de mortero (12,5 Mpa); de igual manera, presenta una desviación estándar de 3,75 y un porcentaje de fluidez del 89,63%. De forma gráfica se pueden observar los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión del mortero para prismas en la gráfica 10.

Gráfica 10. Determinación de la Resistencia a la compresión en cubos de mortero de pega para prismas.



Fuente. Autores del proyecto

La gráfica 10 muestra el coeficiente de variación presentado en el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero utilizado en la elaboración de los prismas, el cual corresponde a un porcentaje del 20%, valor que indica homogeneidad en los datos.

4.6 CALCULAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PRISMAS EN MAMPOSTERÍA EN BLOQUES H-10 COMO FACTOR DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS

Según lo establecido en la NTC 3495⁸², para la realización del ensayo de resistencia a la compresión de prismas en mampostería se emplearon tres (3) unidades por fabricante, cuyos bloques son apilados uno sobre otro en la misma posición en que van a estar puestos en obra, para este ensayo se requiere del siguiente equipo.

Equipo.

Máquina universal Pinzuar Ltda. modelo PU- 300 M, serie 109

Gato hidráulico capacidad 20 Ton

Multiplexor Pinzuar Ltda. Serie A100

Computador portátil HP

LVDT 50-16 y 50-17

Soportes

Calibrador digital marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005"

Lámina de acero de 320 x 23 x 20 mm

Nivel de mano

Flexómetro Lufkin 16"/ 5 m

Plomo

Palaustre

Baldes

Equipo para refrentado (reglas de madera, soportes de acero, nivel, llana, tara y espátula)

Los materiales utilizados para la determinación de la resistencia a la compresión en prismas elaborados en bloques de arcilla H-10 son los siguientes.

Materiales

24 bloques de perforación horizontal H-10

Arena

Cemento portland tipo 1

Yeso súper escayola producido por yesos y caolines del caribe

Agua

⁸² ICONTEC. Norma técnica colombiana 2003. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

Procedimiento. Los prismas se deben construir sobre una superficie plana y nivelada, compuestos por dos bloques de perforación horizontal H-10 unidos con mortero de pega el cual debe ser representativo del que se utiliza en la construcción (véase fotografía 66); a su vez, éstos deben estar debidamente aplomados por una de sus caras (véase fotografía 67).

Fotografía 66. Construcción de prismas.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 67. Aplomado de los prismas.



Fuente. Autores del proyecto

Según la NSR-10 en su capítulo D.3.7 los prismas deben tener un mínimo de 300 mm de altura y una relación altura-ancho mayor o igual a 1,5 y menor ó igual a 5 (véase fotografía 68).

Fotografía 68. Medición del prisma.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez completado el proceso de construcción y durante las primeras 48 horas, los prismas deben conservarse a temperatura de $24^{\circ}\text{C} \pm 8^{\circ}\text{C}$, en la primera semana de fraguado se deben regar con agua dos veces al día. Su fraguado debe ser a temperatura ambiente durante aproximadamente 28 días. Estos deben ubicarse en un lugar tal que puedan permanecer sin ser perturbados hasta que sean transportados para su ensayo (véase fotografía 69).

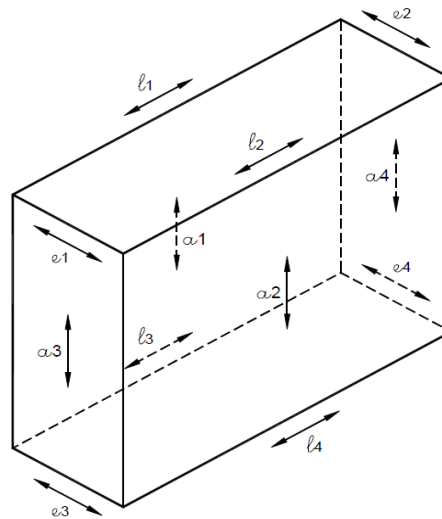
Fotografía 69. Fraguado de los prismas.



Fuente. Autores del proyecto

Antes de culminar con el periodo de fraguado, los prismas se mide tal como se muestra en la figura 6, se debe medir la longitud y el ancho, sobre ambas aristas correspondientes, de las caras superior e inferior, de la misma forma se miden las alturas en las cuatro caras del espécimen, con una aproximación de 1 mm. Se debe determinar la longitud y el ancho, promediando las cuatro medidas tomadas para cada dimensión.

Figura 6. Medición del murete.



Fuente. ICONTEC. Norma técnica colombiana 2003. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

Finalizada la medición se pesan los prismas para determinar su masa, como se muestra en la fotografía 70.

Fotografía 70. Pesaje de los prismas.



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente, se inicia el proceso de refrentado con yeso en las dos caras opuestas de carga de cada espécimen; para esto se instala un par de reglas guías soportadas con unos ganchos de acero, las cuales deberán ser niveladas (según fotografía 71).

Fotografía 71. Instalación y nivelado de las reglas en cada prisma.



Fuente. Autores del proyecto

Luego, se prepara la mezcla para refrentado compuesta por yeso y agua, como se muestra en la fotografías 72; la fotografía 73 ilustra los materiales utilizados en dicha mezcla.

Fotografía 72. Preparación de la mezcla para el refrentado.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 73. Materiales para el refrentado.



Fuente. Autores del proyecto

La mezcla ya preparada se vierte encima del bloque (ver fotografía 74) y se esparce homogéneamente con ayuda de una llana metálica (ver fotografía 75).

Fotografía 74. Vertido de la mezcla en el espécimen.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 75. Repartición homogénea de la mezcla.



Fuente. Autores del proyecto

Luego se retiran las reglas cuidadosamente como se muestra en la fotografía 76, culminando así el proceso de refrentado de una de las caras del prisma, posteriormente se realiza el mismo procedimiento en su cara opuesta; se debe observar que los espesores de los refrentados sean aproximadamente los mismos, sin exceder 3,0 mm (vease fotografía 77).

Fotografía 76. Retiro de las reglas guía



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 77. Cara del bloque perfectamente refrentado.



Fuente. Autores del proyecto

Los refrentados deben tener al menos 2 h antes de ensayar los especímenes, al momento de ensayar los prismas se le instala a cada espécimen un par de soportes (ver fotografía 78), los cuales deben estar debidamente nivelados, como se observa en la fotografía 79.

Fotografía 78. Instalacion de los soportes en el prismas.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 79. Nivelación de los soportes.



Fuente. Autores del proyecto

Dichos soportes tienen como objeto sostener los dispositivos (Linear Voltage Differential Transducer, LVDT) utilizados para medir la longitud de acortamiento en el ensayo, se coloca un medidor en cada cara del espécimen con el fin de obtener una lectura promedio y evitar la distorsión en la carga, ver fotografía 80.

Fotografía 80. Instalación de LVDT.



Fuente. Autores del proyecto

Al momento de aplicar carga, los prismas deben ubicarse en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección en que van a estar puestos en servicio, los especímenes se centran bajo una lámina en acero de espesor 20 mm, sobre la cual va ubicado un gato hidráulico de capacidad 20 Ton previamente calibrado, que a su vez va conectado a un multiplexor y éste se conecta a un computador quien traduce la información en datos numéricos en archivo xls, como hace referencia la fotografía 81.

Fotografía 81. Equipo utilizado en el ensayo.



Fuente. Autores del proyecto

Para la aplicación de carga el gato hidráulico debe tener una precisión de $\pm 1,0 \%$ de la carga aplicada y además al ensayar el espécimen debe tener una velocidad de carga tal que el ensayo a compresión se encuentre entre 60 seg. y 120 seg.; hasta que el espécimen falle, como se ilustra en la fotografía 82.

Fotografía 82. Falla a compresión de los prismas de mampostería.



Fuente. Autores del proyecto

Realizado este procedimiento se desarrollaran las operaciones necesarias para determinar la compresión máxima del prisma, para ello a continuación se muestran los cálculos realizados.

Cálculos. Se debe calcular la resistencia de cada prisma de mampostería, dividiendo la carga máxima a la compresión, soportada por el prisma, por el área transversal neta correspondiente, y se deben expresar los resultados con una exactitud de 0,1 MPa.

Se calcula la relación a_m/e_m para cada prisma, usando la altura y la dimensión transversal menor (espesor) del prisma. Se debe determinar el factor de corrección según la Tabla 9. Si la relación entre la altura y el espesor de la mampostería, no se encuentra entre los valores de a_m/e_m de la Tabla 9, se debe determinar el factor de corrección correspondiente, mediante la interpolación lineal entre los valores dados.

La resistencia del prisma de mampostería se multiplica por el factor de corrección para el prisma respectivo.

Se determina la resistencia a la compresión de la mampostería, f'_m , para cada conjunto de prismas, promediando los valores obtenidos.

Tabla 9. Factor de corrección altura contra espesor, para la resistencia a la compresión de muretes de mampostería

a_m/e_m^A	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

a_m/e_m - Relación entre la altura y la dimensión transversal menor (espesor) del murete.

Fuente. ICONTEC. Norma técnica colombiana 2003. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería.

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión en prismas de bloques de perforación horizontal H-10 para cada fabricante se muestran a continuación en el cuadro 17.

Cuadro 17. Resistencia a la compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Fabricante	Espécimen	F'_m laboratorio (Mpa)	F'_m prom laboratorio (Mpa)	Desv estándar (σ)	Coef. De variación (CV)
F1	1P	6,33	6,36	0,04	1%
	2P	6,41			
	3P	6,34			
F2	1P	5,47	5,48	0,14	3%
	2P	5,63			
	3P	5,34			
F3	1P	6,69	5,92	0,79	13%
	2P	5,97			
	3P	5,11			
F4	1P	6,53	7,29	0,68	9%
	2P	7,86			
	3P	7,49			
PROMEDIO		6,26	6,26	0,42	6,5%

Fuente. Autores del proyecto

En el cuadro 17 se evidencia la resistencia a la compresión promedio para los prismas elaborados en bloques de perforación horizontal ensayados en el laboratorio de resistencia de materiales y sísmica, determinando además un f'_m promedio mínimo de 5,48 Mpa y un f'_m promedio máximo de 7,29 Mpa arrojados por los fabricantes 2 y 4 correspondientes a las ladrilleras Arbetcol, y Zuligres. Obteniendo un promedio para los bloques utilizados en Ocaña de 6,26 Mpa.

De igual manera, después de realizar el ensayo, los resultados de la resistencia a la compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 se deben determinar teniendo en cuenta los parámetros de la NSR-10 en su capítulo D.3.7 donde el valor de f'_m se establece de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos:

Por medio de registros históricos

Por determinación experimental sobre muretes de prueba

Por medio de ensayos sobre materiales individuales (Calidad de los materiales)

Para el uso del criterio experimental de la NSR-10 la resistencia específica a la compresión f'_m se determinó mediante el número de prismas por muestra, cuando el número de prismas ensayados sea inferior a 10 pero no menor a 3, f'_m se puede tomar como el 75 % del valor promedio de los ensayos.

Así también se usó el criterio basado en la calidad de los materiales donde f'_m se determina mediante la siguiente expresión:

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) f'_{cu} + \left(\frac{50k_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0,8f'_{cu}$$

$$f'_m = 0,75R_m$$

Donde,

R_m = Parámetro definido por medio de la ecuación D.3.7-1

h = Altura de la unidad de mampostería, en mm

K_p = Factor de corrección por absorción de las unidades, adimensional. $K_p = 0,8$ para unidades de arcilla o silico-calcareas

f'_{cu} = Resistencia específica a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre área neta, Mpa

f'_{cp} = Resistencia específica a la compresión del mortero de pega, Mpa

En el cuadro 18 se muestran los valores de resistencia a la compresión en prismas para cada fabricante según los requerimientos de la NSR-10, con el fin de facilitar una comparación entre los resultados.

Cuadro 18. Comparación compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

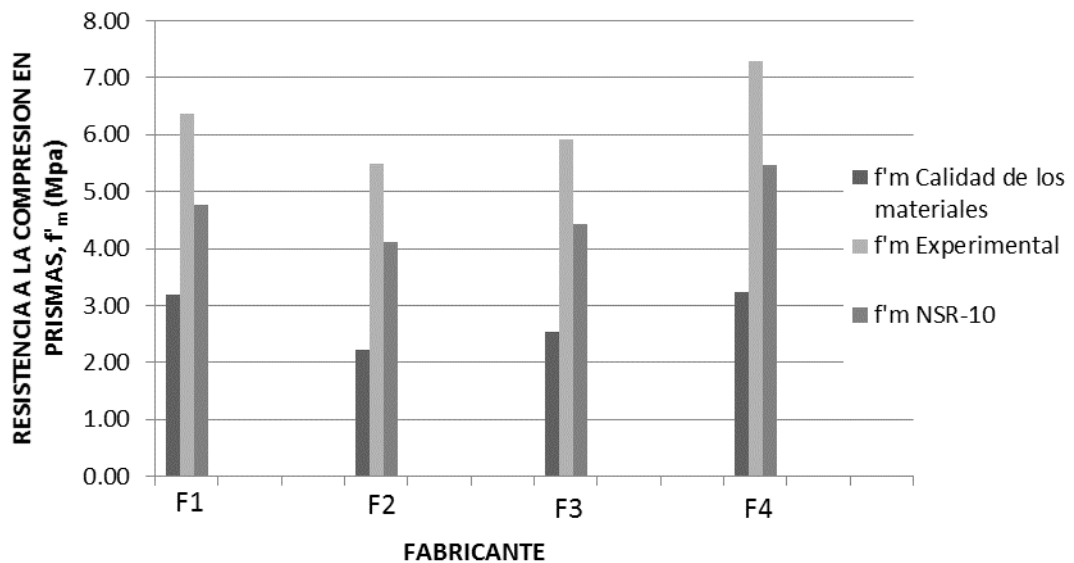
Fabricante	F' _m experimental (Mpa)	F' _m nsr-10 (Mpa)	F' _m calidad de los materiales (Mpa)
F1	6,36	4,77	3,19
F2	5,48	4,11	2,22
F3	5,92	4,44	2,53
F4	7,29	5,47	3,24
Promedio	6,26	4,70	2,80

Fuente. Autores del proyecto

La resistencia a la compresión obtenida experimentalmente es superior a la determinada para las unidades, con un porcentaje de aumento del 55,27% corroborado por los datos obtenidos en el cuadro 18.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de compresión de prismas en bloques H-10 se indica en la gráfica 11.

Gráfica 11. Determinación de la resistencia a la compresión en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

En la gráfica 11 se demuestra la variación de la resistencia a la compresión de los prismas hallados en laboratorio, el determinado mediante la NSR-10 y el encontrado para la calidad de los materiales, siendo los datos experimentales los más representativo para todos los fabricantes.

Por otro lado en los cuadros 19 y 20 se presenta la comparación de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en prismas determinado en el laboratorio y el establecido para la calidad de los materiales según la NSR-10⁸³, respectivamente.

Cuadro 19. Comparación de resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión en prismas mediante el método experimental.

f_m EXPERIMENTAL		
Fabricante	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, f_m (Mpa)	Universidad Javeriana, f_m(Mpa)
F1	6,36	
F2	5,48	
F3	5,92	
F4	7,29	
PROMEDIO	6,26	4,24
Fuente. Autores del proyecto		

Cuadro 20. Comparación de resultados obtenidos de resistencia a la compresión en prismas utilizando el criterio de calidad de los materiales.

F_m Calidad de los materiales		
Fabricante	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, f_m (Mpa)	Universidad Javeriana, f_m(Mpa)
F1	3,19	
F2	2,22	
F3	2,53	
F4	3,24	
PROMEDIO	2,80	3,47
Fuente. Autores del proyecto		

Según⁸⁴, la resistencia a la compresión promedio para las unidades de prismas mediante el método experimental y calidad de los materiales es de 4,24 Mpa y 3,47 Mpa en comparación con los datos obtenidos para Ocaña cuyo promedio fue 6,26 y 2,8Mpa, se observa una variación entre los datos del 47,64% y 23,93% respectivamente; donde para Ocaña el porcentaje de variación experimental es mayor que el hallado para la Universidad

⁸³ NSR-10. Determinación de la resistencia de la mampostería a la compresión f_m.Capitulo D.3.7

⁸⁴FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

Javeriana, un caso contrario ocurre con el porcentaje de variación en la calidad de los materiales.

4.7 DETERMINAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD EN MAMPOSTERÍA DE BLOQUES H-10 UTILIZANDO PRISMAS

Según lo establecido en la NSR-10, en el capítulo D.5.2 el valor para el módulo de elasticidad se debe establecer por medio de ensayos de laboratorio de prismas fabricados y ensayados como especifica el capítulo D.3.7.2, calculando en la curva de esfuerzo-deformación obtenida en el ensayo de resistencia a la compresión a prismas de mampostería H-10 expuestos el en objetivo anterior; hallados mediante la pendiente de la secante desde $0,05 f'_m$ hasta $0,33 f'_m$. En ausencia de los valores experimentales, pueden empelarse los siguientes:

Para mampostería en arcilla,

$$E_m = 750f'_m \leq 20.000 \text{ Mpa}$$

E_m = Modulo de elasticidad de la mampostería, Mpa

A continuación, en el cuadro 21, se evidencian los resultados del módulo de elasticidad para prismas determinados mediante la pendiente de la secante.

Cuadro 21. Módulo de elasticidad de prismas construidos en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Fabricante	Espécimen	Módulo de elasticidad (Mpa)	Módulo prom (Mpa)
F1	1P	410,74	2.439,39
	2P	415,93	
	3P	6.491,50	
F2	1P	264,87	1.914,46
	2P	1.753,85	
	3P	3.724,67	
F3	1P	8.306,68	3.773,59
	2P	2.526,22	
	3P	487,87	
F4	1P	2.566,79	4.190,52
	2P	5.078,30	
	3P	4.926,48	
PROMEDIO		3.079,49	3.079,49
Fuente. Autores del proyecto			

En el cuadro 21, se observan los resultados promedios del módulo de elasticidad (E_m), en donde el valor promedio máximo es presentado por el fabricante 4 con un E_m de 4.190,52 Mpa y el mínimo promedio lo presenta el fabricante 2 con un E_m de 1.914,46 Mpa.

En el cuadro 22 se muestran los valores de módulo de elasticidad en prismas para cada fabricante según los requerimientos de la NSR-10⁸⁵, con el fin de facilitar una comparación entre los resultados.

Cuadro 22. Comparación del módulo de elasticidad en prismas de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

FABRICANTE	E_m EXPERIMENTAL (Mpa)	E_m NSR-10 (Mpa)
F1	4.769,59	3.577,20
F2	4.110,13	3.082,60
F3	4.441,22	3.330,91
F4	5.469,95	4.102,46
PROMEDIO	4.697,72	3.523,29
Fuente. Autores del proyecto		

El módulo de elasticidad determinado para prismas de forma experimental debe ser mayor que el calculado mediante los parámetros establecidos en la NSR-10⁸⁶, situación que se comprueba en el cuadro 1 con valores de 4.697,72 Mpa y 3.523,29 Mpa respectivamente, presentando una aumento del 33,33%.

El cuadro 23 presenta la comparación del módulo de elasticidad obtenido experimentalmente en el ensayo de resistencia a la compresión en prismas.

Cuadro 23. Comparación de resultados obtenidos del módulo de elasticidad en prismas mediante el método experimental.

MODULO DE ELASTICIDAD EN PRISMAS		
Fabricante	Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, E_m (Mpa)	Universidad Javeriana, E_m (Mpa)
F1	4.769,69	
F2	4.110,13	
F3	4.441,22	
F4	5.469,95	
PROMEDIO	4.697,75	
Fuente. Autores del proyecto		

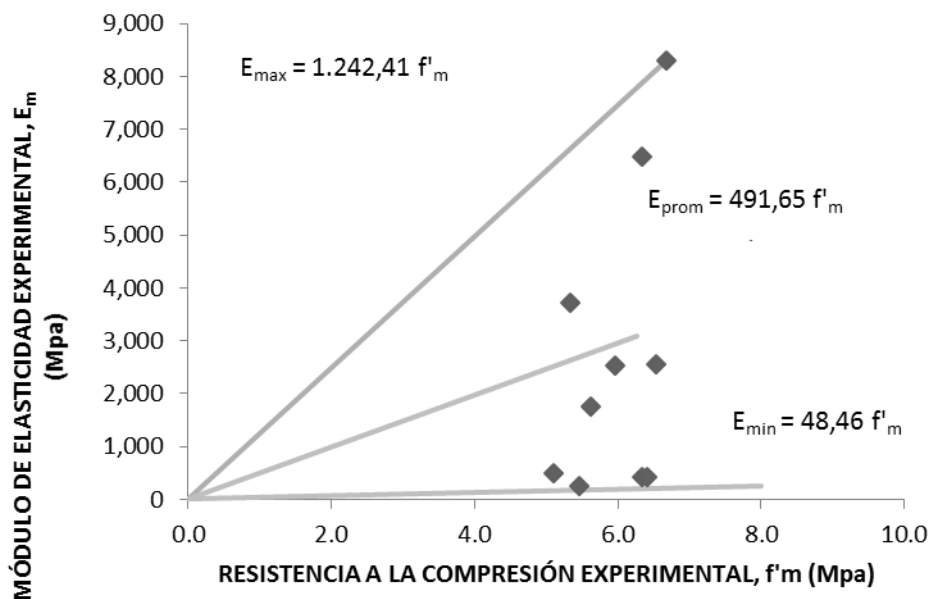
⁸⁵ NSR-10. Módulo de elasticidad y de cortante. Capítulo D.5.2

⁸⁶ *Ibíd.*, p. D-34

Según⁸⁷, el módulo de elasticidad experimental promedio para las unidades de prismas es de 2.120 Mpa, comparando este resultado con el obtenido para Ocaña cuyo promedio fue 4.697,75 Mpa, se determina un aumento significativo para este último.

Una representación gráfica de los resultados obtenidos experimentalmente para la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad en el ensayo de prismas se relaciona en la gráfica 12.

Gráfica 12. Módulo de elasticidad - resistencia a la compresión de los prismas elaborados con unidades de perforación horizontal H-10.



Fuente. Autores del proyecto

En la gráfica 12, se encuentra la relación existente entre la resistencia a compresión de la mampostería con el módulo de elasticidad, la función promedio que se obtuvo entre E_m y f'_m es $E_m = 491,65 f'_m$, que en comparación con lo establecido en la NSR-10 cuya función es $E_m = 750 f'_m$, se puede decir que esta diferencia se presenta debido a que la cantidad de muestras analizadas en este trabajo de investigación fue pequeña, además se presentan las

⁸⁷FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

expresiones matemáticas que definen el módulo de elasticidad máximo y mínimo en función de la resistencia a la compresión en prismas de mampostería.

4.8. DETERMINAR EL MÓDULO DE CORTE DE LOS MUROS REFORZADOS EXTERNAMENTE CON MALLA ELECTRO SOLDADA DE 150 X 150 X 3,5 X 3,5 MM

Según lo establecido en la ASTM E 519 - 07⁸⁸ para la determinación de la resistencia al corte en muros de mampostería se emplearon cuatro (4) muestras, dos con refuerzo externo y dos sin refuerzo, con dimensiones no menores a 1,2 x 1,2 metros por cada fabricante, además en el reforzamiento externo se tuvo en cuenta los requerimientos encontrados en el título D-12 de la NSR-10; para lo cual se requiere del equipo que a continuación se menciona.

Equipo

Maquina Universal PU-300 M, serie 109

Multiplexor Pinzuar Ltda. Serie A 100

Computador portátil HP

Equipo de ensayo para tracción diagonal

Gato hidráulico de capacidad 20 Ton

LVDT (100, 25, 50-16 y 50-17)

Flexómetro Lufkin 16³/₅ m

Pala

Palaustre

Baldes

Carreta

Nivel de mano

Plomo

Codales

Martillo

Alicate

Cortafríos

Rodillo

Pulidora

Escuadra de 300 mm de longitud

Pistola de silicona

Escalera de madera

⁸⁸STANDARD TEST METHOD FOR DIAGONAL TENSION (SHEAR) IN MASONRY ASSEMBLAGES. Determinación de la tracción diagonal o resistencia al corte. [en line]. [citado el 25 de agosto de 2013]. Disponible en internet: (<http://amipp.rutgers.edu/assets/documents/ASTM/DiagShearCerE519.pdf>)

Los materiales utilizados para la determinación del módulo a corte en muretes de mampostería de arcilla de perforación horizontal H-10 reforzados externamente y sin refuerzo son los siguientes.

Materiales

400 bloques H-10

Cemento

Arena

Agua

Ladrillos de arcilla macizos

Puntillas

Malla electro soldada de 150 x 150 x 3,5 x 3,5 mm

Disco de corte

Barras de silicona

Cal

Alambre galvanizado #18

Alambre galvanizado #16

Anclaje plástico Toggler Bolt, anclaje de vuelco

Anclaje químico HIT-MM PLUS, sistema de anclaje adhesivo

Para el análisis la influencia del refuerzo en los muros de mampostería tipo bloque H-10, se utilizó la siguiente nomenclatura.

Tabla 10. Nomenclatura para muros con y sin refuerzo por fabricante.

F1-1	Ladrillera Ocaña, muro no reforzado
F1-2	Ladrillera Ocaña, muro no reforzado
F1-3	Ladrillera Ocaña, muro reforzado
F2-1	Ladrillera Arbetcol, muro reforzado
F2-2	Ladrillera Arbetcol, muro no reforzado
F2-3	Ladrillera Arbetcol, muro no reforzado
F2-4	Ladrillera Arbetcol, muro reforzado
F3-1	Ladrillera Arcillas de Colombia muro reforzado
F3-3	Ladrillera Arcillas de Colombia muro no reforzado
F3-4	Ladrillera Arcillas de Colombia muro reforzado
F4-1	Ladrillera Zuligres, muro reforzado
F4-2	Ladrillera Zuligres, muro reforzado
F4-3	Ladrillera Zuligres, muro no reforzado
F4-4	Ladrillera Zuligres, muro no reforzado
Fuente. Autores del proyecto	

Procedimiento

La construcción de los muretes se inicia nivelando la superficie donde se va a construir el murete para lo cual se usa arena, luego se distribuyen dos hiladas de ladrillos (ver fotografía

83) que cumplen la función de levantar el murete para facilitar la colocación del equipo de tracción diagonal.

Fotografía 83. Nivelación de la superficie para construir los muretes.



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente, se comienza con la elaboración del murete, para lo cual se colocan las unidades de perforación horizontal H-10 sobre la base de ladrillos, procurando una adecuada nivelación de la hilada (véase fotografía 84), de igual manera se debe garantizar las medidas previamente establecidas para lograr un murete cuadrado (véase fotografía 85).

Fotografía 84. Colocación de la primera hilada de bloque.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 85. Medición del muro para garantizar sus dimensiones.



Fuente. Autores del proyecto

Luego, se elabora la mezcla para mortero de pega (según fotografía 86), cuya dosificación corresponde a 1:4 según lo arrojado en el diseño de mortero, la cual será utilizada para las juntas y brechas en la construcción de los muretes.

Fotografía 86. Elaboración de la mezcla.



Fuente. Autores del proyecto

Cada hilada de bloques H-10 se nivela y se aploma adecuadamente, hasta cumplir con la altura establecida, como se observa en la fotografía 87.

Fotografía 87. Nivelación y aplomada de cada hilada.



Fuente. Autores del proyecto

Después de preparada la mezcla utilizada como pega, es necesario verificar su resistencia a los 28 días establecida en el diseño de la mezcla, usando cubos de mortero hidráulico de 50 mm ó 50,8 mm de lado, como se referencia en la fotografía 88.

Fotografía 88. Cubos de mortero de pega.



Fuente. Autores del proyecto

De igual manera, es necesario determinar la fluidez de la mezcla utilizada, para lo cual se realiza el ensayo de fluidez, ver fotografía 89.

Fotografía 89. Ensayo de mesa de flujo.



Fuente. Autores del proyecto

Las dimensiones del murete deben garantizar que la brecha en cada hilada de bloques se encuentre entre 1 y 1,5 cm de espesor, como se muestra en la fotografía 90.

Fotografía 90. Verificación de brecha.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez construidos los muretes se apuntalan (ver fotografía 91) y se comienza con el proceso de curado para lo cual se debe cumplir con un tiempo no inferior a 15 días, como se observa en la fotografía 92.

Fotografía 91. Muro terminado y apuntalado.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 92. Curado de los muretes.



Fuente. Autores del proyecto

Su tiempo de fraguado será no menor de 28 días a temperatura entre 24 ± 8 °C, con humedad relativa entre 25 y 75 %, según fotografía 93.

Fotografía 93. Fraguado de muretes.



Fuente. Autores del proyecto

La malla electro soldada a utilizar se selecciona teniendo en cuenta que cumpla con el espaciamiento adecuado, lo cual se verifica en los cálculos ver cuadro 24, en este caso luego de conocer el espaciamiento máximo requerido para cada tipo de muro empleando un diámetro horizontal y vertical de 3,5 mm, se optó por trabajar con una malla de 150 x 150 x 3,5 x 3,5 mm que es la más comercial, posteriormente la malla se corta con una cizalla (ver fotografía 94) de acuerdo a las medidas correspondientes de cada muro en los cuales será colocada, pero teniendo presente que ésta debe estar espaciada 20 mm de cada uno de los lados del muro, según fotografía 95.

Fotografía 94. Corte de malla electro soldada.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 95. Verificación de las Medidas de la malla.



Fuente. Autores del proyecto

En cada muro es necesario trazar las diagonales para tener una referencia del área de acción de carga, evitando colocar anclajes en dicha área, como se ilustra en la fotografía 96.

Fotografía 96. Trazado de las diagonales en el muro.



Fuente. Autores del proyecto

Después de replanteada la malla se procede a su fijado con ayuda de puntillas y alambre galvanizado # 16, teniendo en cuenta que se refuerzan sólo dos de los muros construidos por cada fabricante y que la malla debe estar separada de la cara del muro 10 mm para garantizar que detrás de la malla haya mortero, ver fotografía 97.

Fotografía 97. Colocación de la malla electrosoldada en el muro.



Fuente. Autores del proyecto

La forma de fijación de la malla al muro se hizo mediante anclajes plásticos como el Perno de vuelco Toggler Bolt que consiste en un canal roscado que acepta un tornillo, patas plásticas únicas y un capuchón de tranca para fijar en materiales huecos (ver fotografía 98), los cuales se usaron en la mitad de los muros a reforzar y anclajes químicos como el sistema de anclaje Hilti HIT-HY 70 para el cual es necesario elementos tales como: tamiz compuesto, varilla roscada, boquilla de mezcla, cartucho HIT MM PLUS, dispensador MD-2500 (ver fotografía 99) que se utilizaron en los muros faltantes a reforzar; ésto con el objeto de verificar los sistemas de anclajes suministrados por la empresa Hilti como una colaboración al trabajo de grado realizado por los autores, en cuanto a la cantidad de unidades a utilizar por muro se determinó que sólo se colocarían 2 anclajes por m^2 y en las esquinas opuestas al eje de aplicación de la carga, según figura 7.

Fotografía 98. Anclaje perno de vuelco toggler bolt.



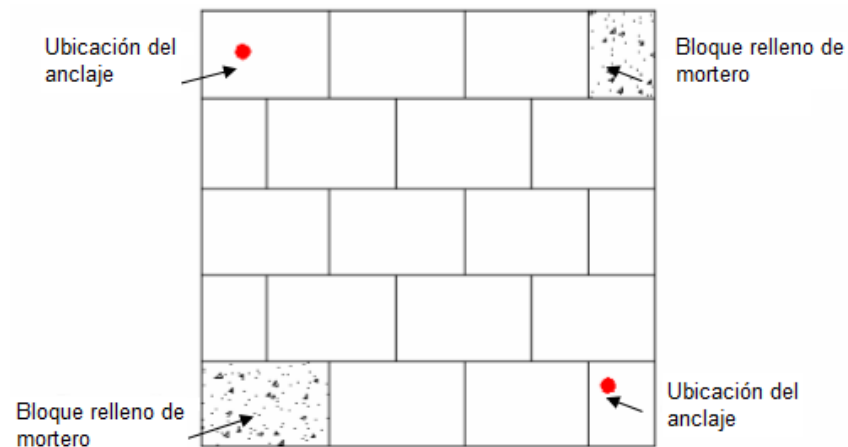
Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 99. Anclaje Hilti HIT-HY 70.



Fuente. Autores del proyecto

Figura 7. Ubicación de los anclajes en el murete.



Fuente. FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

Para la colocación del anclaje toggler bolt se taladra un agujero del diámetro correcto en la cavidad de la pared; es decir, para un tamaño de perno de $3/8''$ el agujero debe ser de $3/4''$, como se muestra en la fotografía 100.

Fotografía 100. Perforación para anclajes.



Fuente. Autores del proyecto

Para instalar el anclaje, primero se coloca el metal paralelo con las guías plásticas y se introduce el elemento metálico a través del agujero (ver fotografía 101) y se jala el elemento metálico contra la parte interna con la ayuda del anillo; luego, se desliza el capuchón a lo largo de las guías plásticas hasta que esté paralelo con la superficie del muro (ver fotografía 102), después se quiebran las guías al ras del capuchón doblándolas hacia fuera (ver fotografía 103) para finalmente, asegurar el elemento a fijar con el tornillo y el atornillador (ver fotografía 104) hasta que quede bien ajustado al muro (ver fotografía 105) y poder amarrar el tornillo a la malla con alambre galvanizado # 18.

Fotografía 101. Introducción del elemento metálico en el agujero.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 102. Deslizamiento del capuchón del anclaje.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 103. Quiebre de las guías a ras del capuchón.



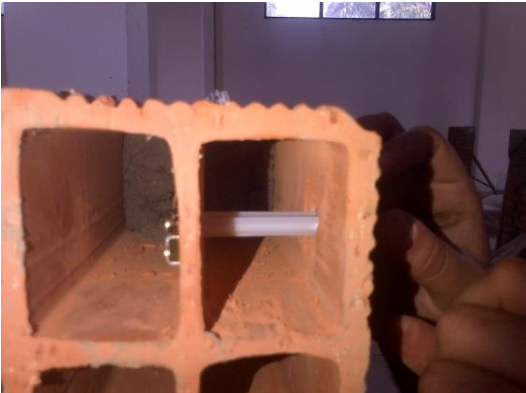
Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 104. Colocación del tornillo en el anclaje



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 105. Vista interna del bloque con el anclaje.



Fuente. Autores del proyecto

Para la colocación del anclaje Hilti HIT-HY 70 se realiza la perforación del bloque teniendo en cuenta el mismo procedimiento como se explicó anteriormente.

Para instalar el anclaje Hilti HIT-HY 70, primero se coloca el casquillo en el tamiz y se introduce este último a través del agujero (véase fotografía 106), luego al dispensador MD-2500 se le instala el cartucho HIT MM PLUS (véase fotografía 107) y la boquilla de mezcla (véase fotografía 108), después se utiliza este equipo para rellenar el tamiz con el producto químico HIT MM PLUS hasta que la resina se rebose (véase fotografía 109) e inmediatamente se inserta la varilla (véase fotografía 110) previamente cortada a la medida requerida (véase fotografía 111) y se amarra la varilla a la malla utilizando alambre galvanizado # 18.

Fotografía 106. Introducción del tamiz en el agujero.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 107. Instalación del cartucho HIT MM PLUS.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 108. Instalación de la boquilla de mezcla.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 109. Rellenado del tamiz con la resina hasta que rebose.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 110. Insertado de la varilla en el tamiz con resina.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 111. Cortado de la varilla.



Fuente. Autores del proyecto

Luego de fijar la malla debidamente con sus respectivos anclajes, las dos esquinas del muro donde se va a aplicar la carga se rellenan completamente de mortero, con el fin de evitar falla local por aplastamiento. Según fotografía 112.

Fotografía 112. Rellenado de mortero en las esquinas de carga.



Fuente. Autores del proyecto

A cada muro con malla electro soldada se le inicia el proceso de pañetado o revoque en la cara reforzada, comenzando con una capa de salpicado con un espesor de 10 mm cuya dosificación es de 1:2 y compuesta por arena gruesa, con el objeto de mejorar la adherencia entre el murete y el pañete exterior, como se muestra en la fotografía 113.

Fotografía 113. Murete con la capa de salpicado.



Fuente. Autores del proyecto

Luego del salpicado, se hace una capa de revoque de 20 mm de espesor con una especificación 1:3, la cual viene siendo el pañete exterior, éste fue debidamente aplomado, nivelado y afinado (ver fotografía 114), además se debe cumplir un tiempo de curado para el pañete no inferior a 15 días.

Fotografía 114. Muro pañetado completamente.



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente, a la mezcla de mortero utilizada para el pañete de los muros se le realiza el ensayo de resistencia a la compresión en cubos de mortero hidráulico (ver fotografía 88) y el ensayo de fluidez del mortero (ver fotografía 89).

En las esquinas donde se aplica la carga es necesario elaborar unas cuñas de nivelación en mortero (ver fotografía 115), debido a que el sistema de aplicación de la carga es muy rígido y el material presenta alabeo, con el fin de distribuir la carga uniformemente y evitar que se presente falla local.

Fotografía 115. Murete con cuña de nivelación.



Fuente. Autores del proyecto

La cara pañetada de los muros reforzados se pintaron con cal (ver fotografía 116), para posteriormente marcarle una cuadrícula con el fin de visualizar las fisuras (ver fotografía 117) y determinar el tipo de falla presentada en cada muro.

Fotografía 116. Pintado de los muretes con cal.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 117. Marcado de la cuadrícula en el murete.



Fuente. Autores del proyecto

Teniendo en cuenta la ASTM E519-07 se miden las dimensiones de los muros como lo es el largo, ancho, espesor y diagonales, tanto para muros reforzados como para muros no reforzados, ver fotografías 118 y 119 respectivamente.

Fotografía 118. Medición de las dimensiones del murete reforzado.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 119. Medición de las dimensiones del murete no reforzado



Fuente. Autores del proyecto

Cumplidos los 28 días de fraguado de los muretes sin refuerzo se procede con la colocación del equipo para realizar el ensayo de tracción diagonal que consiste en un par de mordazas unidas a unos tornillos y sobre la mordaza superior va ubicado un gato hidráulico de 20 Ton previamente calibrado, el cual a su vez va conectado a un multiplexor que se conecta a un computador quien traduce la información en datos numéricos en archivo XLS, como se muestra en la fotografía 120.

Fotografía 120. Instalación del equipo para el ensayo de tracción diagonal en muros no reforzados.



Fuente. Autores del proyecto

Luego, en las 4 diagonales ya marcadas se colocan los LVDT junto con sus soportes verificando que queden debidamente centrados (ver fotografía 121), después de tener la Instrumentación se mide el acortamiento de las diagonales verticales y el alargamiento de las diagonales horizontales.

Fotografía 121. Colocación de los LVDT en muros no reforzados.



Fuente. Autores del proyecto

Posteriormente, se comienza con la aplicación de carga de manera constante en un tiempo no inferior a 60 seg. y no mayor a 120 seg. (Véase fotografía 122), hasta q el murete falle por tracción diagonal, según fotografía 123.

Fotografía 122. Aplicación de carga al murete sin refuerzo.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 123. Falla por tracción diagonal del murete sin refuerzo



Fuente. Autores del proyecto

Una vez cumplidos los 28 días de fraguado del mortero de pega y pañete de los muros reforzados se comienza con el ensayo de tracción diagonal, para lo cual se repite el mismo procedimiento del pasos 25 (ver fotografía 124), paso 26 (ver fotografía 125) y paso 27 (ver

fotografías 126 y 127) correspondientes al ensayo de tracción diagonal en muros no reforzados.

Fotografía 124. Instalación del equipo de tracción diagonal en muros reforzados



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 125. Colocación de los LVDT en muros reforzados.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 126. Aplicación de la carga en muretes reforzados.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 127. Falla por tracción diagonal del murete reforzado.



Fuente. Autores del proyecto

Luego de realizar el ensayo de tracción diagonal y de obtener todos los datos arrojados en este laboratorio se procede a calcular el esfuerzo a corte y el módulo de rigidez, para tal situación es necesario emplear una serie de operaciones, las cuales se presentan a continuación; de igual manera se muestran los cálculos realizados para verificar el espaciamiento de la malla electro soldada que se seleccionó en el reforzamiento externo de los muros.

CÁLCULO

SHEAR STRESS: Tensión de corte para las muestras sobre la base de la superficie neta (tensión de cizalla del espécimen).

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

Dónde,

S_s = esfuerzo cortante en la superficie neta, MPa (psi),

P = carga aplicada, N (lbf), y

A_n = Área neta de la muestra, mm^2 (pulg^2)

ÁREA NETA DE LA MUESTRA

$$A_n = \left(\frac{w + h}{2} \right) tn$$

Dónde,

w = ancho del espécimen, mm (pulgadas),

h = altura del espécimen, mm (pulgadas),

t = espesor total de la muestra, mm (pulgadas), y

n = por ciento de la superficie total de la unidad de lo que es sólido, expresado como un decimal

La determinación de n es aplicable a unidades sólidas y enlechadas unidades huecas. Cuando se enlechadas muestras de ensayo, adicional análisis o ensayos es necesario para determinar el área de la sección transversal neta del plano de fallo de las muestras y las tensiones de cizallamiento resultantes.

El valor de n se tomó como el porcentaje del área neta en base al área bruta, expresado como decimal; para lo cual fueron indispensables los resultados de porcentaje de vacíos de las unidades de perforación horizontal; para el caso de los bloques H-10 utilizados en Ocaña se calculó un n de 0,41.

DEFORMACIÓN DE CORTE

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

Dónde,

g = deformación por cizallamiento o mm / mm (pulg. / pulg.)

ΔV = acortamiento vertical, mm (pulgadas),

ΔH = extensión horizontal, mm (pulgadas), y

g = vertical de longitud calibrada, mm (pulgadas).

ΔH debe basarse en la misma longitud de banda como para ΔV .

MÓDULO DE RIGIDEZ

El valor para el módulo de rigidez se debe establecer por medio de ensayos de laboratorio de muretes fabricados y ensayados, calculando en la curva de esfuerzo-deformación obtenida en el ensayo de resistencia a la tracción diagonal en muretes de mampostería H-10 como se especifica en el artículo Diagonal-shear-Behaviour-of-unreinforced-Masonry-wallettes-strengthened-using-twisted-steel-bars⁸⁹; hallados mediante la pendiente de la secante desde 0,05 hasta 0,75 del esfuerzo cortante máximo.

Para el cálculo del espaciamiento horizontal y vertical de la malla electro soldada utilizando un diámetro de 3,5 mm en base a la cuantía mínima establecida por la NSR-10⁹⁰ que corresponde 0,00035 se utilizaron las siguientes ecuaciones.

ÁREA SUMINISTRADA DE ACERO

$$A_s = \rho * b * d$$

⁸⁹ ISMAIL N et al. Diagonal shear behaviour of unreinforced masonry wallettes strengthened using twisted steel bars. Constr Build Mater. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.

⁹⁰ NSR-10. Mampostería reforzada externamente. Título D.12.

Donde,

A_s = Área suministrada de acero, mm^2

b = Ancho del muro, mm

d = Espesor del muro con revoque, mm

ρ = Cuantía mínima = 0,00035

ÁREA DE LA VARILLA

$$A = \frac{\pi}{4} * \phi^2$$

Dónde,

ϕ = Diámetro de la malla, mm

A = Área de la varilla, mm^2

NÚMERO DE VARILLAS

$$N \text{ varillas} = \frac{\text{Área suministrada}}{\text{Área de varilla}}$$

ESPACIAMINETO

$$\text{Espaciamento} = \frac{1}{N_{\text{Varillas}}}$$

En el cuadro 24 se observa los resultados de los cálculos realizados para determinar el espaciamento requerido de la malla electro soldada.

Cuadro 24. Determinación del espaciamento mínimo del refuerzo horizontal y vertical de la malla electro soldada.

VERIFICACIÓN DEL REFUERZO HORIZONTAL Y VERTICAL DE LA MALLA ELECTRO SOLDADA								
Dimensiones Muro	b (mm)	d (mm)	P	ϕ (mm)	A sumin (mm²)	A varilla (mm²)	N varillas	Espaciamento (mm)
1.200 x 1.200 mm	1.200	130	0,00035	3,5	54,6	9,62	6	176,21
1.250 x 1.250 mm	1.250	130	0,00035	3,5	56,9	9,62	6	169,16
1.270 x 1.270 mm	1.270	130	0,00035	3,5	57,8	9,62	6	166,50
ESPACIAMIENTO REQUERIDO								166,50
Fuente. Autores del proyecto								

En el cuadro 24, se observa que la malla electro soldada a utilizar en el reforzamiento externo de los muros debe cumplir con un espaciamiento vertical y horizontal de 166,50 mm.

Una vez realizados los ensayos de tracción diagonal en muretes reforzados y no reforzados, se dibujaron cada una de las gráficas correspondientes a los muros, en donde se observó que dichas gráficas no presentaban la curva típica de esfuerzo-deformación; por tanto, se optó por calcular el módulo de rigidez mediante la pendiente de la curva, teniendo en cuenta la igualdad de áreas de lado y lado de la pendiente.

Los resultados de esfuerzo cortante y módulo de rigidez obtenidos en el ensayo de tracción diagonal en muretes construidos en bloques de perforación horizontal H-10 no reforzados y reforzados externamente para cada fabricante se muestran en los cuadros 25 y 26 respectivamente.

Cuadro 25. Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muretes de mampostería de perforación horizontal H-10 no reforzados.

TRACCION DIAGONAL EN MUROS NO REFORZADOS										
Fabricante	Espécimen	Medidas (mm)	Carga max. (Kn)	Esfuerz max cortante (Kpa)	Esfuerz cortante max prom (Kpa)	Deform. Unitaria. (mm/mm)	Módulo de rigidez (Kpa)	Módulo de rigidez prom (Kpa)	Desv. Estándar (Kpa)	Coef. Variació (CV)
F1	1	1.200 X 1.200	56,00	515,27	660,14	5,57	414,06	361,49	74,34	21%
	2	1.200 X 1.200	68,40	805,01		5,74	308,92			
F2	2	1.280 X 1.280	57,30	748,08	669,12	2,36	361,79	530,51	238,61	45%
	3	1.275 X 1.285	48,25	590,15		0,83	699,24			
F3	3	1.260 X 1.260	49,97	539,23	539,23	1,93	549,13	549,13		
F4	3	1.245 X 1.265	64,34	860,21	846,62	1,45	639,43	479,30	226,46	47%
	4	1.265 X 1.255	61,51	833,02		3,16	319,16			
		PROMEDIO		698,710	678,775	3,008	470,246	480,107	179,805	38%

Fuente: Autores del proyecto

En el cuadro 25 se observa el esfuerzo cortante promedio para los muretes no reforzados ensayados a tracción diagonal, presentando un valor máximo de esfuerzo cortante la ladrillera Zuligres con 846,62 Kpa y un valor mínimo la ladrillera Arcillas de Colombia con 539,23 Kpa; de igual manera, se evidencia el módulo de rigidez promedio para cada fabricante, cuyo valor máximo lo obtuvo la ladrillera Arcillas de Colombia y el valor mínimo la ladrillera Ocaña, con resultados de 549,13 Kpa y 361,49 Kpa, respectivamente.

Cuadro 26. Esfuerzo cortante y módulo de rigidez en muretes de mampostería de perforación horizontal H-10 reforzados.

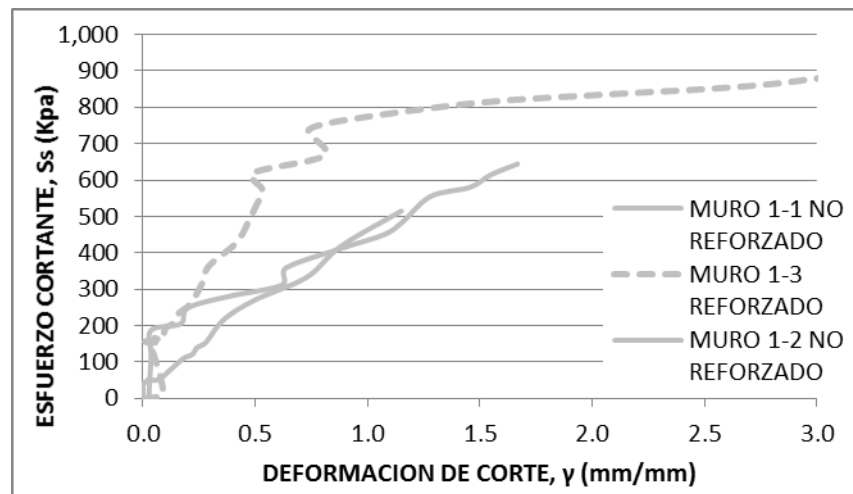
TRACCIÓN DIAGONAL EN MUROS REFORZADOS										
Fabricante	Espécimen	Dimensiones (mm)	Carga máx. Tracción diagonal (Kn)	Esfuerzo máx. cortante (Kpa)	Esfuerzo máx. cortante prom (Kpa)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rigidez (Kpa)	Módulo de rigidez prom (Kpa)	Desv. Estandar (Kpa)	Coef. De variación (CV)
F1	3	1.200 X 1.200	151,45	936,89	936,89	1,15	437,46	437,46		
F2	1	1.275 X 1.275	105,24	1.375,50	1.457,02	1,70	1.068,30	788,10	396,26	50%
	4	1.250 X 1.255	116,40	1.538,54		2,87	507,90			
F3	1	1.275 X 1.255	123,34	1.726,57	1.715,70	2,36	1.064,69	1.030,29	48,66	5%
	4	1.250 X 1.255	143,45	1.704,83		1,53	995,88			
F4	1	1.275 X 1.295	144,96	1.826,23	1.646,33	2,99	1.114,93	813,70	426,00	52%
	2	1265 X 1290	111,63	1.466,44		3,10	512,47			
		PROMEDIO		1.510,71	1.438,99	2,24	814,52	767,39	290,31	36%

Fuente: Autores del proyecto

En el cuadro 26 se evidencia el esfuerzo cortante promedio para los muretes reforzados ensayados a tracción diagonal, presentando un valor máximo de esfuerzo cortante y módulo de rigidez promedio la ladrillera Arcillas de Colombia con 1715,7 Kpa y 1030,29 Kpa, respectivamente; y un valor mínimo de esfuerzo cortante y módulo de rigidez la ladrillera Ocaña con 936,89 Kpa y 437,46 Kpa, respectivamente.

A continuación se muestra la interpretación gráfica de la curva esfuerzo cortante vs deformación de corte elaboradas para los muros de los fabricantes 1,2,3,4 en las gráficas 13,14,15 y 16 respectivamente.

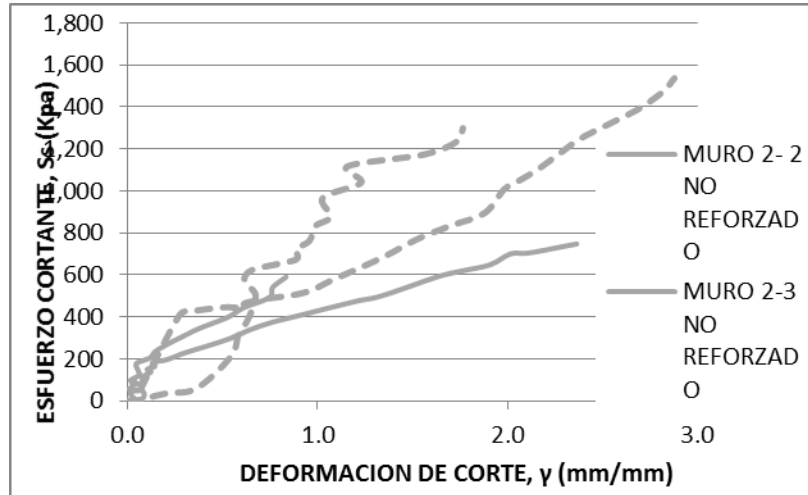
Gráfica 13. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 1.



Fuente. Autores del proyecto

Como se observa en la curva anterior es mayor el esfuerzo cortante en los muros reforzados debido a que estos aportan mayor resistencia, aumentando su capacidad estructural en un 42% con respecto a los no reforzados.

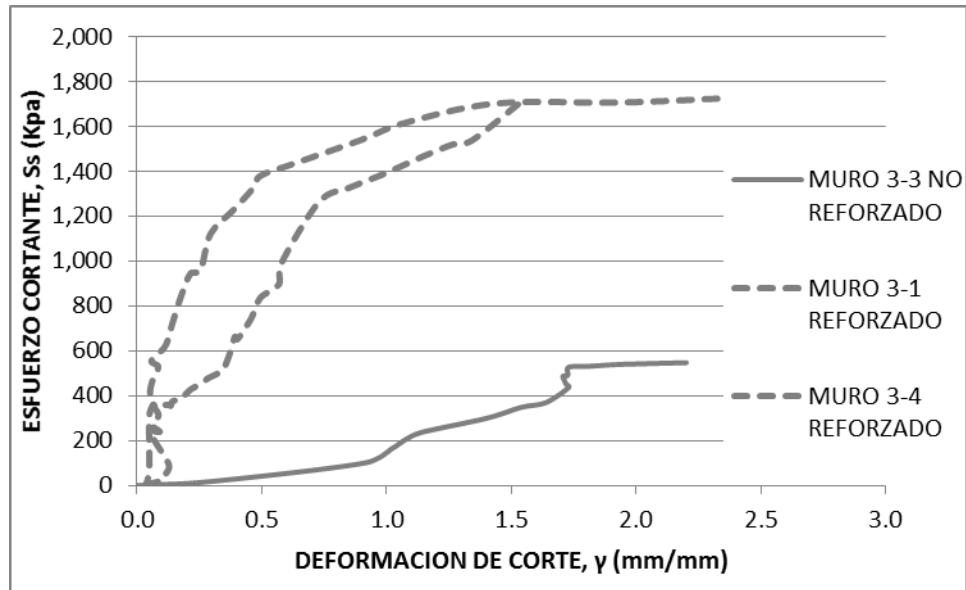
Grafica 14. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 2.



Fuente. Autores del proyecto

En el grafico anterior se evidencia aumento en el esfuerzo cortante para los muros reforzados debido a que aportan mayor resistencia, aumentando su capacidad estructural en un 118% con respecto a los no reforzados.

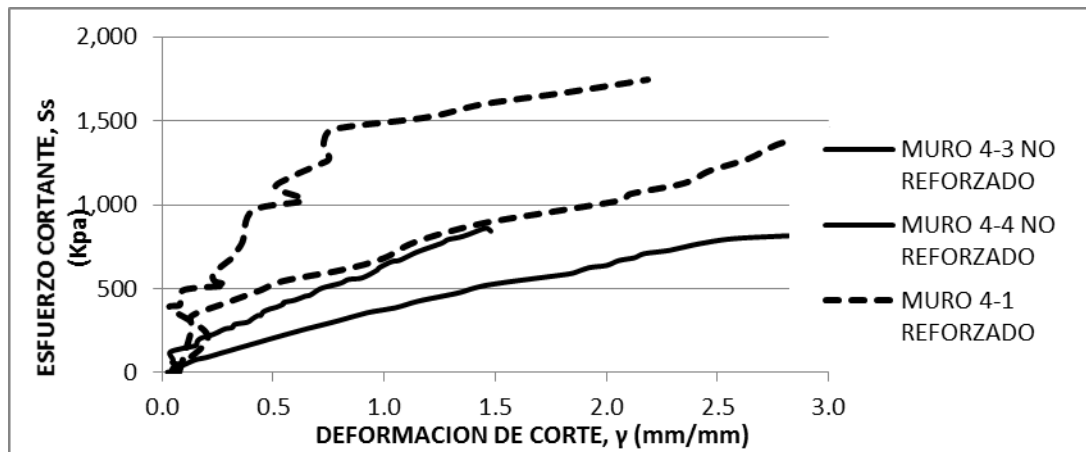
Grafica 15. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 3.



Fuente. Autores del proyecto

Como se observa en la curva anterior es mayor el esfuerzo cortante en los muros reforzados debido a que estos aportan mayor resistencia, aumentando su capacidad estructural en un 218% con respecto a los no reforzados.

Grafica 16. Curva esfuerzo - deformación para el fabricante 4.

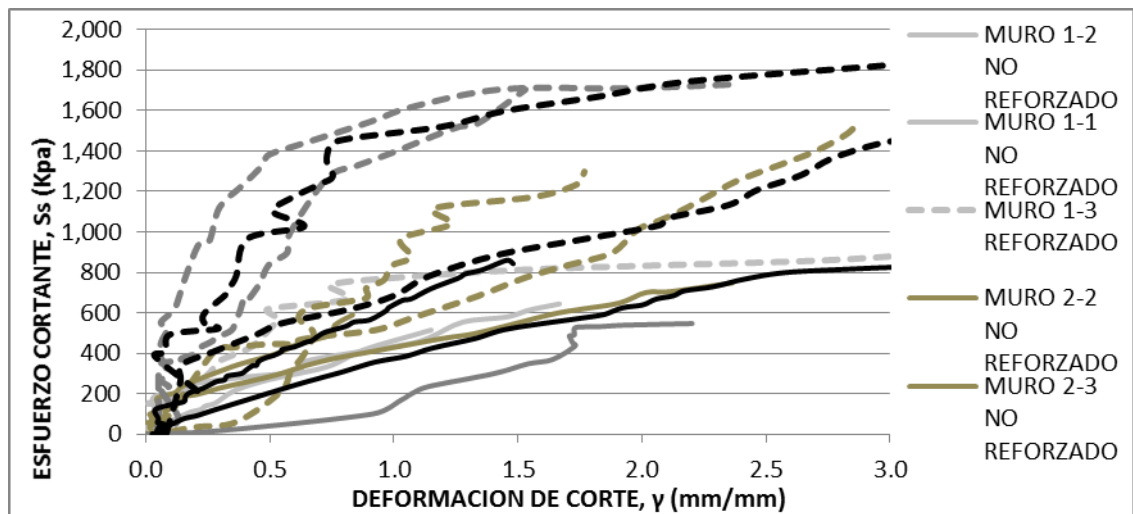


Fuente. Autores del proyecto

En el grafico anterior se evidencia aumento en el esfuerzo cortante para los muros reforzados debido a que aportan mayor resistencia, aumentando su capacidad estructural en un 94% con respecto a los no reforzados.

A continuación en el grafico 17 se muestran los valores del esfuerzo a corte obtenidos para todos los muros con y sin refuerzo para cada fabricante.

Grafica 17. Curva esfuerzo – deformación.



Fuente. Autores del proyecto

En el grafico se evidencia el esfuerzo cortante para todos los muros, siendo el fabricante 3 el de mayor resistencia, con un porcentaje de aumento del 218% con respecto a los muros sin refuerzo.

A continuación en el cuadro 27 se realiza una comparación de los valores del esfuerzo a corte obtenidos en muros no reforzados y reforzados por cada fabricante, según los requerimientos de la ASTM E 519 - 07⁹¹.

Cuadro 27. Comparación del esfuerzo a corte de los muros elaborados en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Fabricante	Esfuerzo cortante max no ref (kpa)	Esfuerzo cortante max ref (kpa)	% aumento esfuerzo cortante
F1	660,14	936,89	42%
F2	669,12	1.457,02	118%
F3	539,23	1.715,70	218%
F4	846,62	1.646,33	94%
Promedio Ocaña	678,77	1.438,99	118%
Fuente. Autores del proyecto			

Del cuadro 27 se puede concluir que al reforzar externamente los muros con malla electro soldada se obtuvo un aumento bastante significativo en el esfuerzo cortante, determinado para Ocaña un porcentaje de incremento del 118%.

De igual manera, en el cuadro 28 se presenta una comparación ente los módulos de rigidez obtenidos en muros no reforzados y reforzados por cada fabricante.

Cuadro 28. Comparación del módulo de rigidez de los muros elaborados en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Fabricante	Modulo rigidez prom. no Reforzado (kpa)	Modulo rigidez prom. Reforzado (kpa)	% aumento en la rigidez
F1	361,49	437,46	21%
F2	530,51	788,10	49%
F3	549,13	1030,29	88%
F4	479,30	813,70	70%
Promedio Ocaña	480,11	767,39	57%
Fuente. Autores del proyecto			

⁹¹STANDARD TEST METHOD FOR DIAGONAL TENSION (SHEAR) IN MASONRY ASSEMBLAGES. Determinación de la diagonal tracción o resistencia al corte. [on line]. [citado el 25 de agosto de 2013]. Disponible en internet: <<http://amipp.rutgers.edu/assets/documents/ASTM/DiagShearCerE519.pdf>>

En el cuadro 28 se puede encontrar que al reforzar externamente los muros con malla electro soldada se obtuvo un aumento en el módulo de rigidez del 57% con respecto a la mampostería no reforzada en la ciudad de Ocaña, analizando la situación por fabricante se observa que el fabricante 1 correspondiente a la ladrillera Ocaña presenta el menor porcentaje en cuanto al incremento, mientras que el mayor incremento se presenta en los muros fabricados con las unidades provenientes del fabricante 3 que corresponde a la ladrillera Arcillas de Colombia.

4.9 HALLAR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD AL CORTE EN MUROS DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA TIPO BLOQUE H-10

El valor para el módulo de elasticidad para en mampostería H-10 no reforzados y reforzados se debe determinar por medio de la expresión matemática:

Módulo de elasticidad,

$$E = 2 * G * (\mu + 1)$$

Dónde,

G= Módulo de rigidez, Kpa

μ = Coeficiente de poisson

El módulo de rigidez empleado para calcular el módulo de elasticidad es el hallado para cada muro mediante la pendiente en el objetivo anterior y el coeficiente de poisson se toma como 0,16, valor promedio entre los valores propuestos por la universidad javeriana⁹².

Los resultados del módulo de elasticidad calculados para los muretes no reforzados y reforzados por fabricantes, se referencian en el cuadro 29.

Cuadro 29. Módulo de elasticidad determinado para muretes no reforzados y reforzados elaborados en mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Fabricante	Modulo elasticidad prom no reforzado (Kpa)	Modulo elasticidad prom reforzado (Kpa)	% aumento en la elasticidad
F1	838,65	1.014,90	21%
F2	1.230,79	1.828,39	49%
F3	1.273,98	2.390,27	88%
F4	1.111,97	1.887,78	70%
Promedio Ocaña	1.113,85	1.780,34	57%
Fuente. Autores del proyecto			

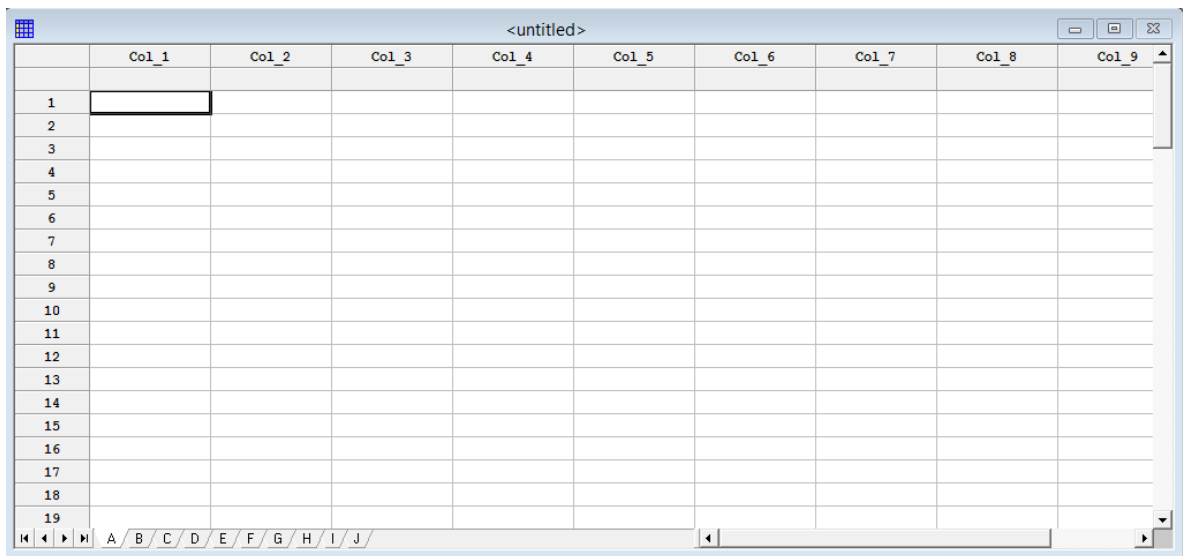
⁹² FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

Del cuadro 29 se puede inferir que el módulo de elasticidad se encuentra directamente afectado por el módulo de rigidez; por tanto, este primero aumenta o disminuye en la misma proporción que lo hace el módulo de rigidez; además, se observa a nivel general que para Ocaña los muros no reforzados presentan un módulo de elasticidad igual a 1.113,8 5 Kpa y los muros reforzados tienen un valor de módulo de elasticidad de 1.780,34 Kpa, con lo cual se determina un porcentaje de incremento entre ellos del 57%, valor bastante representativo.

4.10 ESTIMAR PARÁMETROS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO QUE PERMITAN CARACTERIZAR PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MUROS REALIZADOS EN BLOQUE H-10

Se realizó un el análisis estadístico y descriptivo de una o varias variables, utilizando gráficos que expliquen su distribución y/o calculando sus medidas características.

Figura 8. Pantalla de entrada.



Fuente. Programa estadístico

En la pantalla principal, podemos distinguir los siguientes elementos:

- Barra de menú
- Barra de herramientas
- Barra de tareas

Analicemos ahora cada uno de los elementos que podemos encontrar en la ventana principal.

Barra de menú. La barra de menú siempre estará disponible al utilizar el programa, de forma que sea posible seleccionar el análisis deseado.

Barra de herramientas. La barra de herramientas tiene como función asociar iconos (botones rápidos) con algunas de las opciones más frecuentemente utilizadas de la barra de menú. Si se señala con el ratón cualquier botón de la barra, aparecerá una breve descripción de la función asociada.

Barra de tareas. Incluye iconos asociados que contendrán los datos que se analizan, comentarios personales sobre el análisis, resultados del análisis efectuado y comentarios e interpretaciones del programa de los resultados obtenidos.

A continuación se muestra el análisis estadístico de esfuerzo cortante, módulo de rigidez y módulo de elasticidad realizado en el programa para los muros no reforzados y reforzados externamente con malla electro soldada.

En las tablas 2 y 3, y en la gráfica 3 se presenta el análisis estadístico arrojado para el esfuerzo cortante en los muros no reforzados.

Tabla 11. ESFUERZO CORTANTE (Kpa) NO REFORZADO.

Count	7
Average	698,71
Standard deviation	146,474
Coeff. of variation	20,9635%
Minimum	515,27
Maximum	860,21
Range	344,94
Std. skewness	-0,284849
Std. kurtosis	-1,2423

Fuente. Programa estadístico

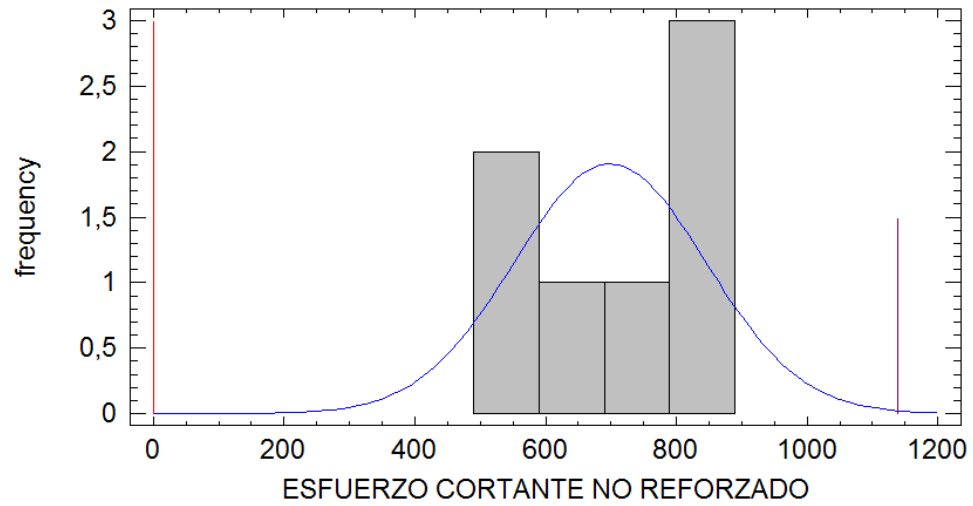
Tabla 12. ESFUERZO CORTANTE (Kpa) NO REFORZADO.

	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			<i>Relative</i>	<i>Cumulative</i>	<i>Cum. Rel.</i>
<i>Class</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>	<i>Midpoint</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>
	at or below	490,0		0	0,0000	0	0,0000
1	490,0	590,0	540,0	2	0,2857	2	0,2857
2	590,0	690,0	640,0	1	0,1429	3	0,4286
3	690,0	790,0	740,0	1	0,1429	4	0,5714
4	790,0	890,0	840,0	3	0,4286	7	1,0000
	above	890,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 698.71 Standard deviation = 146.474

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 18. ESFUERZO CORTANTE (Kpa) NO REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico

Las tablas 2 y 3, y la gráfica 3 presentan el análisis estadístico arrojado por el programa para el esfuerzo cortante en los muros reforzados.

Tabla 13. ESFUERZO CORTANTE (Kpa) REFORZADO.

Count	7
Average	1510,71
Standard deviation	298,361
Coeff. of variation	19,7497%
Minimum	936,89
Maximum	1826,23
Range	889,34
Std. skewness	-1,3541
Std. kurtosis	0,972057

Fuente. Programa estadístico

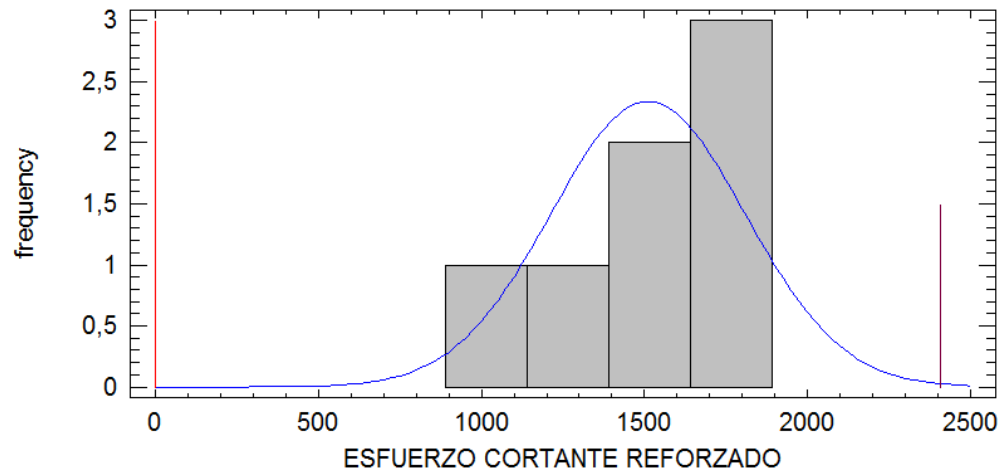
Tabla 14 ESFUERZO CORTANTE (Kpa) REFORZADO.

	Lower	Upper			Relative	Cumulative	Cum. Rel.
Class	Limit	Limit	Midpoint	Frequency	Frequency	Frequency	Frequency
	at or below	890,0		0	0,0000	0	0,0000
1	890,0	1140,0	1015,0	1	0,1429	1	0,1429
2	1140,0	1390,0	1265,0	1	0,1429	2	0,2857
3	1390,0	1640,0	1515,0	2	0,2857	4	0,5714
4	1640,0	1890,0	1765,0	3	0,4286	7	1,0000
	above	1890,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 1510,71 Standard deviation = 298,361

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 19. ESFUERZO CORTANTE (Kpa) REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico

Las tablas 12 y 14, y la gráfica 3 presentan el análisis estadístico arrojado por el programa para el módulo de rigidez en los muros no reforzados.

Tabla 15. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) NO REFORZADO.

Count	7
Average	470,247
Standard deviation	158,67
Coeff. of variation	33,7418%
Minimum	308,92
Maximum	699,24
Range	390,32
Std. skewness	0,519892
Std. kurtosis	-0,946308

Fuente. Programa estadístico

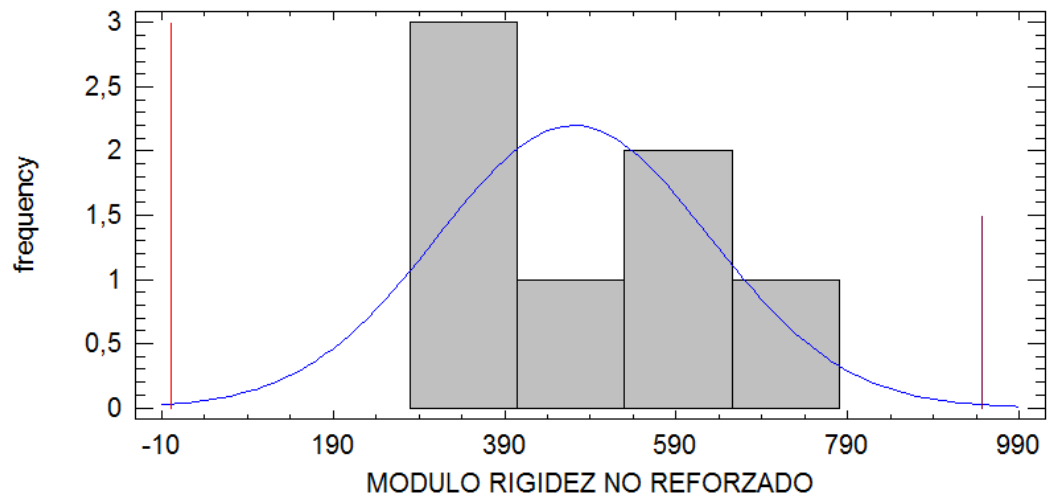
Tabla 16. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) NO REFORZADO.

	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			<i>Relative</i>	<i>Cumulative</i>	<i>Cum. Rel.</i>
<i>Class</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>	<i>Midpoint</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>
	at or below	280,0		0	0,0000	0	0,0000
1	280,0	405,0	342,5	3	0,4286	3	0,4286
2	405,0	530,0	467,5	1	0,1429	4	0,5714
3	530,0	655,0	592,5	2	0,2857	6	0,8571
4	655,0	780,0	717,5	1	0,1429	7	1,0000
	above	780,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 470,247 Standard deviation = 158,67

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 20. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) NO REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico

En las tablas 15 y 16, y la gráfica 20 se presenta el análisis estadístico arrojado por el programa para el módulo de rigidez en los muros reforzados.

Tabla 17. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) REFORZADO.

Count	7
Average	814,519
Standard deviation	310,256
Coeff. of variation	38,0907%
Minimum	437,46
Maximum	1114,93
Range	677,47
Std. skewness	-0,379019
Std. kurtosis	-1,42938

Fuente. Programa estadístico

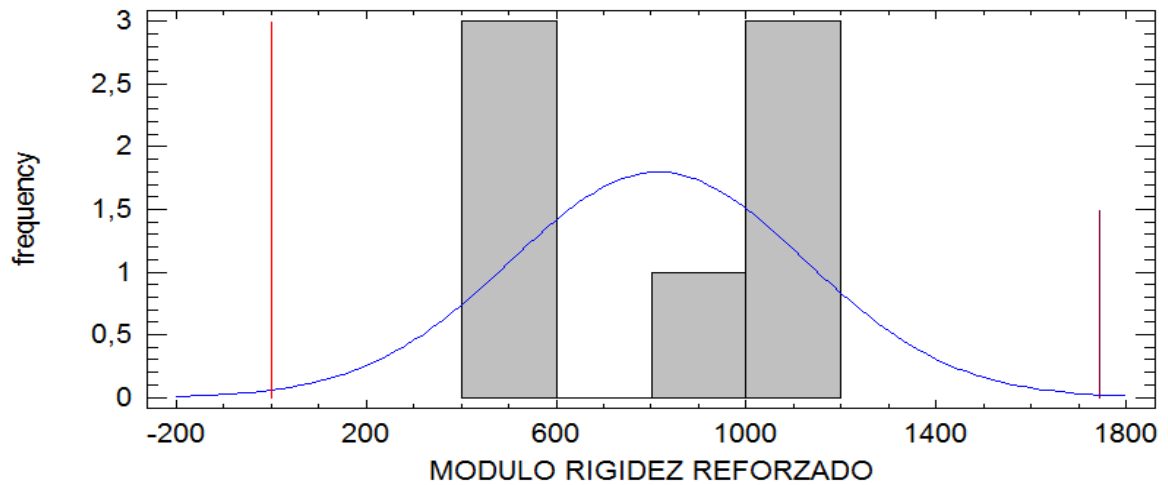
Tabla 18. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) REFORZADO.

	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			<i>Relative</i>	<i>Cumulative</i>	<i>Cum. Rel.</i>
<i>Class</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>	<i>Midpoint</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>
	at or below	400,0		0	0,0000	0	0,0000
1	400,0	600,0	500,0	3	0,4286	3	0,4286
2	600,0	800,0	700,0	0	0,0000	3	0,4286
3	800,0	1000,0	900,0	1	0,1429	4	0,5714
4	1000,0	1200,0	1100,0	3	0,4286	7	1,0000
	above	1200,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 814,519 Standard deviation = 310,256

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 21. MÓDULO DE RIGIDEZ (Kpa) REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico

En las tablas 2 y 3, y la gráfica 3 se muestra el análisis estadístico arrojado por statgraphic centurión para el módulo de rigidez en los muros reforzados.

Tabla 19. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) NO REFORZADO.

Count	7
Average	1090,97
Standard deviation	368,111
Coeff. of variation	33,7416%
Minimum	716,69
Maximum	1622,23
Range	905,54
Std. skewness	0,5199
Std. kurtosis	-0,946313

Fuente. Programa estadístico

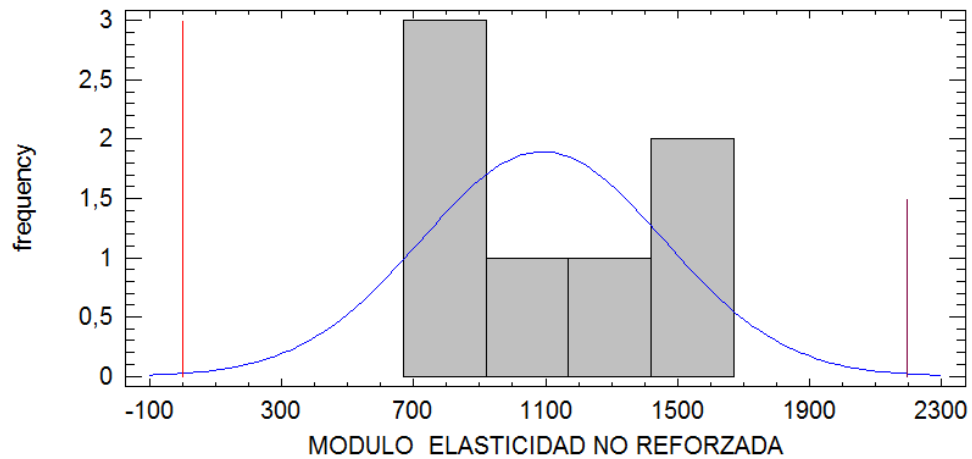
Tabla 20. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) NO REFORZADO.

	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			<i>Relative</i>	<i>Cumulative</i>	<i>Cum. Rel.</i>
<i>Class</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>	<i>Midpoint</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>
	at or below	670,0		0	0,0000	0	0,0000
1	670,0	920,0	795,0	3	0,4286	3	0,4286
2	920,0	1170,0	1045,0	1	0,1429	4	0,5714
3	1170,0	1420,0	1295,0	1	0,1429	5	0,7143
4	1420,0	1670,0	1545,0	2	0,2857	7	1,0000
	above	1670,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 1090,97 Standard deviation = 368,111

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 22. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) NO REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico

En las tablas 2 y 3, y la gráfica 3 se muestra el análisis estadístico arrojado por statgraphic centurión para el módulo de rigidez en los muros no reforzados.

Tabla 21. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) REFORZADO.

Count	7
Average	1889,69
Standard deviation	719,794
Coeff. of variation	38,0907%
Minimum	1014,9
Maximum	2586,64
Range	1571,74
Std. skewness	-0,379025
Std. kurtosis	-1,42938

Fuente. Programa estadístico

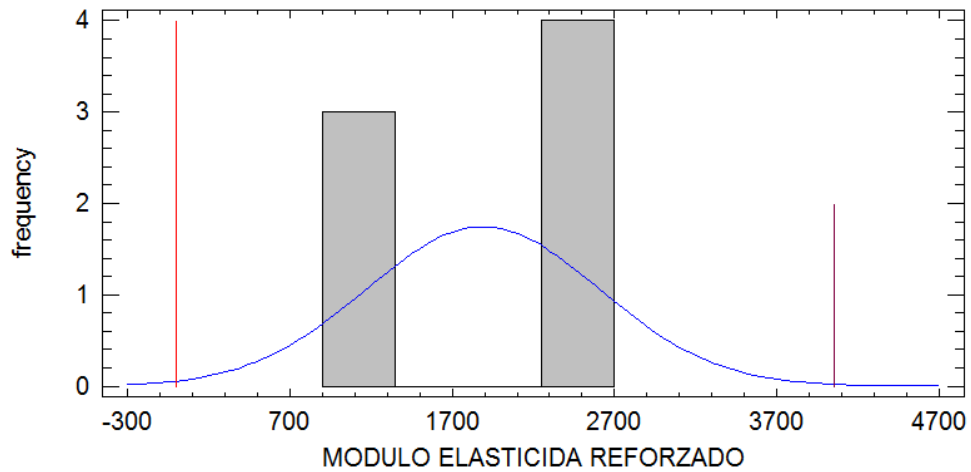
Tabla 22. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) REFORZADO.

	<i>Lower</i>	<i>Upper</i>			<i>Relative</i>	<i>Cumulative</i>	<i>Cum. Rel.</i>
<i>Class</i>	<i>Limit</i>	<i>Limit</i>	<i>Midpoint</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>	<i>Frequency</i>
	at or below	900,0		0	0,0000	0	0,0000
1	900,0	1350,0	1125,0	3	0,4286	3	0,4286
2	1350,0	1800,0	1575,0	0	0,0000	3	0,4286
3	1800,0	2250,0	2025,0	0	0,0000	3	0,4286
4	2250,0	2700,0	2475,0	4	0,5714	7	1,0000
	above	2700,0		0	0,0000	7	1,0000

Mean = 1889,69 Standard deviation = 719,794

Fuente. Programa estadístico

Gráfica 23. MÓDULO DE ELASTICIDAD (Kpa) REFORZADO.



Fuente. Programa estadístico⁹³

Una vez realizado el procedimiento, determinación de las propiedades y análisis estadístico de los muretes, se procede a calcular el costo directo de un muro reforzado y un muro sin refuerzo para analizar la viabilidad del sistema de refuerzo estudiado, para tal efecto se muestra a continuación las hojas de cálculos correspondientes.

⁹³ WIKIPEDIA la enciclopedia libre. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_el%C3%A1stico>

Figura 9. Costo de un muro de mampostería no estructural reforzado.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS BLOQUES H-10	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS A.P.U
--	--

ESTRUCTUR

A

ENSAYO LABORATORIO N°: 01

CONSTRUCCIÓN DE UN MURO REFORZADO DE 1,20 X

1,20 m

I. EQUIPO

Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
HERRAMIENTA MENOR	UND			964,84	
Sub-Total					964,844

II. MATERIALES EN OBRA

Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
CEMENTO	Kg	500	24,07	12.035,00	
BLOQUE H-10	UND	800	24	19.200,00	
ARENA	M3	45.000	0,06	2.754,00	
AGUA	LTS	10	6,71	67,07	
ANCLAJE PLÁSTICO	UND	4.000	2	8.000,00	
MALLA ELECTRO SOLDADA 3,5 mm de diámetro	M2	2.839,51	1,4	3.975,31	
ALAMBRE GALVANIZADO # 16	KG	3000	0,025	75	
ALAMBRE GALVANIZADO # 18	KG	3000	0,02	60	
Sub-Total					46.166,31

IV. MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
OFICIAL (1)	19.500	36.075	55.575	5,76	9.648,44	
Sub-Total					9.648,44	

Total Costo Directo

56.779,6

Fuente. Autores del proyecto

Figura 10. Costo de un muro de mampostería no estructural sin refuerzo.

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LOS BLOQUES H-10		ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS A.P.U			
ESTRUCTURA		ENSAYO LABORATORIO N°: 01			
CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE 1,20 X 1,20 m					
I. EQUIPO					
Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
HERRAMIENTA MENOR	UND			926,25	
Sub-Total					926,25
II. MATERIALES EN OBRA					
Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
CEMENTO	Kg	500	4,46	2.227,68	
BLOQUE H-10	UND	800	24	19.200,00	
ARENA	M3	45.000	0,015	660,96	
AGUA	LTS	10	2,20	22,03	
Sub-Total					22.110,67
IV. MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.
OFICIAL (1)	19.500	36.075	55.575	6	9.262,5
Sub-Total					9.262,5
Total Costo Directo					32.299,42

Fuente. Autores del proyecto

Comparando los costos obtenidos al realizar los cálculos respectivos para un muro con refuerzo y uno sin refuerzo se observa que la diferencia entre ambos es de 24480,18 pesos; con lo que se puede decir, que este valor es bajo con respecto a otros sistemas de refuerzo, por lo tanto el sistema de reforzamiento externo con malla electro soldada es factible.

Como objetivos adicionales al trabajo de investigación se realizaron los ensayos de medición de alabeo y relación de vacíos, desarrollados a continuación.

4.11 DETERMINAR LA VARIACIÓN DIMENSIONAL RESPECTO AL ALBEO PRESENTADO EN LOS ELEMENTOS DE ARCILLA (CÓNCAVO Y CONVEXO)

Cumpliendo lo estipulado en la NTC 4017⁹⁴ para la medición de alabeo en unidades de perforación horizontal fueron necesarias diez (10) muestras por cada uno de los fabricantes, para la realización del ensayo en cuestión se requiere del siguiente equipo.

Equipo

Regla de acero

Cuña de medición, graduada en divisiones de 1 mm (13x60x13 mm)

Superficie plana, de acero o vidrio

Cepillo

Los materiales utilizados para la medición del alabeo en unidades de bloque H-10 se nombran a continuación.

Materiales

40 bloques de perforación horizontal H-10

Procedimiento

Al recibir los especímenes, es importante cepillarlos para quitarles la suciedad, la fotografía 128 muestra el equipo requerido en este ensayo.

⁹⁴ ICONTEC. Norma técnica colombiana 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

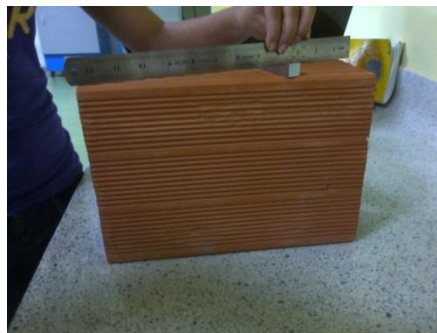
Fotografía 128. Equipo y materiales.



Fuentes. Autores del proyecto

El ensayo se inicia midiendo la superficie cóncava y convexa respectivamente en cada bloque H-10, si la superficie es cóncava, se coloca la regla a lo largo o diagonalmente de la muestra, y se selecciona el lugar en donde se presenta la mayor desviación de la planitud, considerada como la mayor distancia entre la superficie de la unidad y la regla, luego con la regla de acero o cuña, se mide esta distancia con precisión de 1,0 mm, y esto es lo que se registra como alabeo cóncavo de la superficie. Véase fotografía 129.

Fotografía 129. Medición de la superficie cóncava.



Fuentes. Autores del proyecto

Si el alabeo de la superficie que se va a medir es convexo, se coloca la unidad con la superficie convexa en contacto con una superficie plana, con las esquinas aproximadamente equidistantes de la superficie, para medir con una regla de acero o cuña la distancia entre las esquinas del bloque y la superficie plana, con precisión de 1,0 mm. El alabeo convexo de la unidad se registra como el promedio de las cuatro mediciones. Según fotografía 130.

Fotografía 130. Medición de la superficie convexa



Fuentes. Autores del proyecto

Al realizar el procedimiento del ensayo mencionado anteriormente, los datos obtenidos de la medición del alabeo cóncavo y convexo se registran en una tabla, considerando que dicha medición se realiza en las superficies que son usadas al ser puestos en obra.

Los resultados obtenidos en la medición de alabeo se dan a conocer a continuación en el cuadro 30.

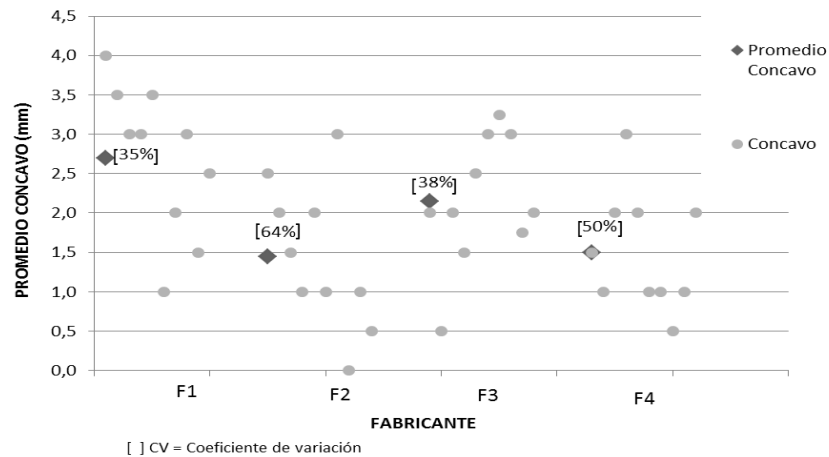
Cuadro 30. Medición de alabeo en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Medición de alabeo para unidades de perforación horizontal h-10							
Fabricante	Espécimen	Prom. Cóncavo (mm)	Prom. Convexo (mm)	Desv. Estándar cóncavo (σ)	Desv. Estándar convexo (σ)	Coef.de variación cóncavo (CV)	Coef. De variación convexo (CV)
F1	1 AL 10	2,70	4,42	0,95	0,81	35%	18%
F2	1 AL 10	1,45	2,09	0,93	0,56	64%	27%
F3	1 AL 10	2,15	5,15	0,83	1,48	38%	29%
F4	1 AL 10	1,50	1,96	0,75	0,52	50%	26%
PROMEDIO TOTAL		1,95	3,40	0,86	0,84	47%	25%

En el cuadro 30 se muestran los resultados para el ensayo de medición de alabeo de las piezas de mampostería H-10 cuyo valor máximo en alabeo convexo fue para el fabricante 3 que corresponde a la ladrillera Arcillas de Colombia con un alabeo promedio de 5,15 mm y cuyo valor mínimo fue para el fabricante 4 correspondiente a la ladrillera Zuligres con un alabeo promedio de 1,96 mm; con respecto al alabeo cóncavo quien presentó el máximo valor fue el fabricante 1 correspondiente a la ladrillera Ocaña con un alabeo promedio de 2,15 mm y el alabeo promedio mínimo fue de 1,45 mm presentado en el fabricante 2 quien representa a la ladrillera Arbetcol.

Los resultados obtenidos del ensayo de medición de alabeo cóncavo de los bloques H-10 se interpretan gráficamente en la figura 3.

Gráfica 24. Determinación de alabeo cóncavo en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.

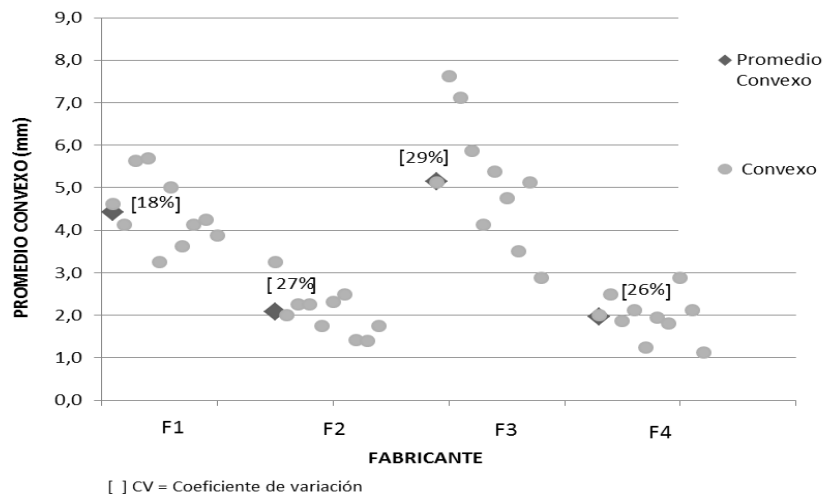


Fuente. Autores del proyecto

En la gráfica 24 se puede observar que el coeficiente de variación para cada fabricante es elevado, pues los datos obtenidos del ensayo presentan dispersiones mayores al 30%, además al analizar de manera general, se encuentra que el CV promedio para los bloques H-10 utilizados en Ocaña es de 46,75%, por tanto se dice que no existe homogeneidad en los resultados.

Una interpretación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de medición de alabeo convexo se muestra en la figura 13.

Gráfica 25. Determinación de alabeo convexo en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto

4.12 DETERMINAR EL VOLUMEN DE VACÍOS EN LAS UNIDADES PERFORADAS HORIZONTALMENTE.

Cumpliendo lo estipulado en la NTC 4017⁹⁵ para la determinación del área de vacíos en unidades de perforación horizontal fueron necesarias cinco (10) muestras por cada uno de los fabricantes, para realizar este ensayo se requiere del equipo mencionado.

EQUIPO

Papel cartulina
Cepillo
Pipeta de 1000 ml
Calibrador digital Baker
Superficie plana, suave, limpia y seca
Cucharon
Embudo
Tara
Estufa

Los materiales necesarios para llevar a cabo el ensayo de relación de vacíos son los siguientes.

MATERIAL

40 bloques de perforación horizontal H-10
Arena

PROCEDIMIENTO

El primer paso de este procedimiento es el mismo que el presentado en el paso 1 de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, absorción por 24 horas y tasa inicial de absorción, por tanto le daremos continuidad al paso 2.

Con las dimensiones obtenidas para cada bloque H-10 se calcula el volumen correspondiente a la unidad de perforación horizontal en cm^3 .

Para la determinación del área de vacíos es necesario el uso de 500 ml de arena limpia, la cual debe pasar por el tamiz N°40 (ver fotografía 131), luego es colocada en una estufa para su posterior secado (según fotografía 132).

⁹⁵ ICONTEC. Norma técnica colombiana 2005. Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla.

Fotografía 131. Tamizado de la arena.



Fuente. Autores del proyecto

Fotografía 132. Secado de la arena.



Fuente. Autores del proyecto

Una vez la arena esté lista para usarse, el espécimen se ubica con los ejes de perforación en sentido vertical sobre la hoja de papel colocada en la superficie plana, los núcleos del bloque se llenan con arena, dejándola caer en forma natural al interior de la unidad, se nivela y se retira el exceso del material, como se muestra en la fotografía 133.

Fotografía 133. Llenado de los núcleos del bloque.



Fuente. Autores del proyecto

Luego de completar el llenado del bloque con arena, éste se levanta dejando que la arena caiga sobre la hoja de papel, como se referencia en la fotografía 134.

Fotografía 134. Caída de la arena sobre el papel.



Fuente. Autores del proyecto

La arena que se encuentra sobre la cartulina se transfiere a una pipeta graduada de 100 ml dejándola caer en forma natural y se nivela en dicho cilindro (véase fotografía 135), luego se realiza la lectura correspondiente y se registra en el informe.

Fotografía 135. Transferencia de arena a la pipeta



Fuente. Autores del proyecto

El procedimiento mencionado se realiza para cada una de las unidades de perforación horizontal y finalizado el ensayo se llevan a cabo las operaciones pertinentes para el cálculo del porcentaje de volumen de vacíos.

CALCULOS

Porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ Volumen de vacíos} = \frac{V_s}{V_u} * 100$$

V_s = cantidad de arena registrada, en cm^3

V_u = longitud*ancho*alto, en cm^3

Los resultados obtenidos en la medición del porcentaje de vacíos en unidades de perforación horizontal H-10 para cada fabricante se dan a conocer en el cuadro 31.

Cuadro 32. Medición del área de vacíos en unidades de mampostería de perforación horizontal H-10 por fabricante.

Medición de área de vacío para unidades perforación horizontal							
Fabricante	Espécimen	Volumen bloque (cm ³)	Volumen de arena (cm ³)	% de vacíos	Prom % vacíos x fabricante	Desv estándar (σ)	Coef variación (cv)
F1	1	5.542,71	2.620	47,27	50,22	1,86	4%
	2	5.480,33	2.700	49,27			
	3	5.370,64	2.690	50,09			
	4	5.456,45	2.700	49,48			
	5	5.452,99	2.850	52,26			
	6	5.488,34	2.650	48,28			
	7	5.359,93	2.880	53,73			
	8	5.708,27	2.860	50,10			
	9	5.258,64	2.670	50,77			
	10	5.319,66	2.710	50,94			
F2	1	6.374,62	4.050	63,53	62,64	1,13	2%
	2	6.278,33	3.960	63,07			
	3	6.248,60	3.980	63,69			
	4	6.341,04	4.040	63,71			
	5	6.471,19	3.970	61,35			
	6	6.355,66	3.960	62,31			
	7	6.302,21	3.990	63,31			
	8	6.263,44	3.800	60,67			
	9	6.359,37	4.030	63,37			
	10	6.321,55	3.880	61,38			
F3	1	5.784,56	3.670	63,44	63,92	0,35	1%
	2	5.804,09	3.690	63,58			
	3	5.784,81	3.710	64,13			
	4	5.479,13	3.510	64,06			
	5	5.523,42	3.550	64,27			
	6	5.930,17	3.800	64,08			
	7	5.402,52	3.460	64,04			
	8	5.633,54	3.630	64,44			
	9	5.541,86	3.520	63,52			
	10	5.419,65	3.450	63,66			
F4	1	6.145,60	3.820	62,16	60,47	1,50	2%
	2	6.085,81	3.670	60,30			
	3	6.191,38	3.850	62,18			
	4	6.073,51	3.670	60,43			
	5	6.085,46	3.730	61,29			
	6	6.045,51	3.680	60,87			
	7	5.974,55	3.670	61,43			
	8	6.113,66	3.670	60,03			
	9	6.083,62	3.500	57,53			
	10	6.100,41	3.570	58,52			
PROMEDIO TOTAL					59,31	1,21	2%

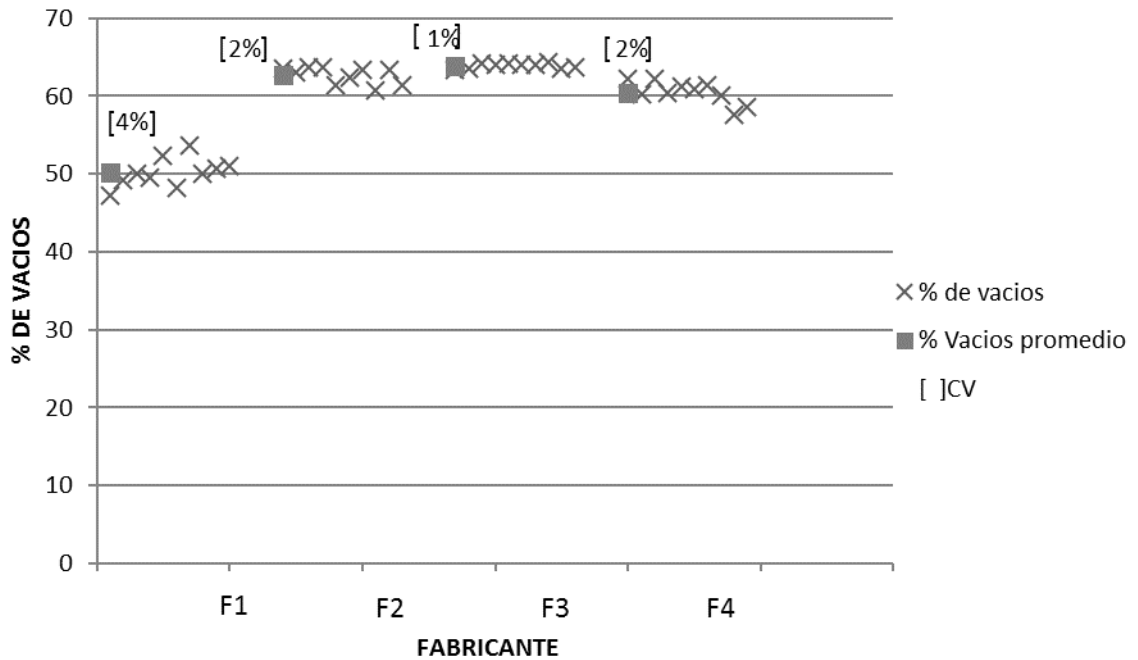
Fuente. Autores del proyecto

En el cuadro 4 se muestran los resultados promedios de la medición del volumen de vacíos de las piezas de mampostería H-10 cuyo valor máximo fue para el fabricante 3 que

corresponde a la ladrillera Arcillas de Colombia con 63,92% y un valor mínimo para el fabricante 1 que corresponde a la ladrillera Ocaña con 50,22 %.

La presentación gráfica de los resultados obtenidos en el ensayo se muestra en la figura 1.

Gráfica 26. Determinación del área de vacíos en unidades de perforación horizontal H-10 por fabricante.



Fuente. Autores del proyecto.

En la gráfica 26 se observa que los coeficientes de variación para cada fabricante son muy pequeños debido a que los datos son homogéneos, lo que hace pensar que pertenecen a una distribución normal de los resultados, por otra parte se encuentra que el CV promedio para los bloques H-10 utilizados en Ocaña es de 2,25%, valor supremamente bajo.

5. CONCLUSIONES

En el análisis de los ensayos a compresión en el laboratorio de las unidades de perforación horizontal H-10 se pudo determinar que todos los fabricantes presentan valores de resistencia comprendidos entre 41,03 Kg-f/cm² a 68,41 Kg-f/cm², cumpliendo así con la resistencia establecida en la NTC 4205 que corresponde a 30 Kg-f/cm² para un promedio de 5 unidades y 20 Kg-f/cm² por unidad; de igual manera, en el ensayo de flexión realizado a las unidades de mampostería utilizadas en Ocaña se observó que se encuentran en el rango recomendado en el documento por la referencia bibliográfica Takeuchi, el cual especifica que la resistencia a la flexión debe estar entre el 10% y 30 % de la resistencia a la compresión de las unidades de mampostería.

En el ensayo de absorción-inmersión durante 24 horas se obtuvieron valores que oscilan entre 6,59% hasta 12,24%, arrojando un promedio para Ocaña de 9,79%; datos que se encuentran por encima del porcentaje mínimo requerido en la NTC 4205, el cual corresponde a un 5%. Y por debajo del máximo que oscila entre el 17% para 5 unidades y el 20% por unidad.

Los fabricantes 2, 3 y 4 correspondientes a las ladrilleras de la ciudad de Cúcuta presentaron resultados de tasa inicial de absorción (T.I.A) de 0,06 g/cm²/min, 0,03 g/cm²/min, y 0,05 g/cm²/min respectivamente, cumpliendo con lo estipulado en la NTC 4205, cuyo valor de T.I.A máximo permitido es 0,1 g/cm²/min; caso contrario ocurrió con la ladrillera Ocaña en donde se determinó un T.I.A de 0,18 g/cm²/min, encontrándose por encima del valor reglamentario; de lo cual se puede asumir, que dicha situación se presenta se presenta debido a una falta de cocción en los bloques, o a una ausencia de porcentaje adecuado de arcillas y limos lo que genera que haya mucho material granular que ocasione perforaciones al interior y por eso es que absorbe más agua de lo permitido.

Mediante el ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cubos de motero de pega y revoque utilizados en la construcción de los prismas y muretes, se verificó que su resistencia a los 28 días cumplía con la correspondiente a un mortero tipo S de (12,5 Mpa), que fue el seleccionado para diseñar la mezcla; además, comparando los datos obtenidos en este ensayo con los obtenidos en el de fluidez del mortero, se puede inferir que la resistencia y la fluidez del mortero son inversamente proporcionales.

La resistencia a la compresión en prismas determinada experimentalmente es mayor que la establecida por la norma y la determinada para la calidad de los materiales, corroborándose con los resultados de 7,29 Mpa, 5,47 Mpa y 3,24 Mpa, respectivamente; datos que fueron obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en prismas para la ciudad de Ocaña.

La relación existente entre la resistencia a compresión de la mampostería y el módulo de elasticidad encontrada para las unidades de perforación horizontal H-10, ésta definida por una función promedio, que corresponde a la expresión matemática $E_m = 491,65 f'_m$, que en comparación con lo establecido en la NSR-10 donde $E_m = 750 f'_m$; esta diferencia entre la función hallada y la establecida en la norma se presenta debido a que la cantidad de muestras analizadas para el ensayo de prismas es pequeña, y a medida que se tenga más

muestras la ecuación matemática hallada entre el módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión en mampostería se acercará mucho más a la establecida en el capítulo D de la NSR-10.

Realizando una comparación entre los muros sin refuerzo y los muros reforzados externamente con malla electro soldada de 150 x 150 x 3,5 x 3,5 mm, se obtuvo un aumento significativo de la resistencia al esfuerzo cortante, módulo de rigidez y módulo de elasticidad para los últimos; presentando un aumento en las propiedades del 118%, 57% y 57%, respectivamente.

En cuanto al tipo de falla encontrada y esfuerzo máximo de rotura se observó que en los muros sin refuerzo se presentó un comportamiento frágil y explosivo en las piezas, obteniendo un esfuerzo cortante promedio de 0,6987 Mpa; con la implementación del reforzamiento externo de los muros se logra mantener la integridad de la estructura al momento de presentarse la falla por rotura; por lo que ésta no va a colapsar evitando así que se pierdan vidas humanas y materiales, ya que se presentan grietas solamente en la cara no reforzada, mientras que la cara reforzada del muro no presenta daño; por otro lado, el esfuerzo cortante promedio para estos muros fue de 1,4389 Mpa; además la falla más común presentada en ambos tipos de muro fue escalonada que es la que se da en el área del mortero, sin embargo en ocasiones la falla fue mixta, es decir atravesó el bloque y el mortero.

Las unidades de perforación horizontal H-10 por ser piezas de mampostería fabricadas mecánicamente presentan valores muy insignificantes de medición de alabeo cóncavo y convexo; por tanto estas variaciones no serán influyentes en el comportamiento mecánico de la mampostería.

El Área de vacíos encontrado en los bloques H-10 utilizados en la ciudad de Ocaña es mayor que el Área neta de los mismos, pues se determinó que el porcentaje de vacíos promedio en comparación al área bruta es del 59,31%.

Al analizar los resultados obtenidos en todos los ensayos realizados para determinar las propiedades físico-mecánicas de los bloques H-10 producidos y comercializados en la ciudad de Ocaña mediante conceptos estadísticos, se puede concluir que los datos son confiables, pues no presentan dispersiones importantes entre ellos, lo que genera homogeneidad en los resultados, pues los coeficientes de variación hallados en los ensayos son pequeños.

La diferencia en cuanto a los costos obtenidos para un muro con refuerzo y uno sin refuerzo es de 24480,18 pesos; con lo que se puede decir, que este valor es bajo con respecto a otros sistemas de refuerzo, por lo tanto el sistema de reforzamiento externo con malla electro soldada es factible.

6. RECOMENDACIONES

Se debe realizar el diseño de mezcla para mortero teniendo como premisa los materiales que se vayan a utilizar y verificar su resistencia a la compresión al igual que la fluidez de la mezcla, antes de llevar a cabo la construcción de los muretes y prismas.

En el caso del reforzamiento externo con malla electro soldada en muros construidos con unidades de mampostería perforadas horizontalmente se recomienda utilizar los anclajes mecánicos diseñados por la empresa HILTI, debido a sus características y beneficios.

Realizar un tratamiento especial a los bloques de las esquinas de los muros rellenándolos con mortero para mejorar el comportamiento del refuerzo, ya que al momento de aplicar carga al muro estos son los primeros que colapsan, presentando falla local.

Se recomienda realizar futuras investigaciones basadas en la determinación de una función matemática que relacione el módulo de elasticidad de la mampostería con su resistencia a la compresión, teniendo en cuenta resultados de resistencia a la compresión experimental hallada con una cantidad considerable de prismas.

BIBLIOGRAFIA

AFANADOR, Nelson. Propiedades físico-mecánicas en macizos cerámicos para mampostería. En: Revista ciencia e ingeniería neogranadina. 2011

BONILLA, Dante Eddo. Factores de corrección de la resistencia en compresión de prismas de albañilería por efectos de esbeltez. Tesis para Título de Ingeniero Civil. Lima – Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Área de investigación, estructuras. 2006.

FORERO LUNA, María Camila; VARON ROJAS, Alexandra. Refuerzo sísmico exterior para mampostería con malla electrosoldada. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad Ingenierías. Departamento de Ingeniería Civil, 2004. 167p.

FERNANDEZ Vaqueiro L; Marín Gómez F; Varela Rivera J; Vargas María. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto, Ciudad de Mérida. Julio 2009.

ISMAIL N et al. Diagonal shear behaviour of unreinforced masonry wallettes strengthened using twisted steel bars. Constr Build Mater. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.

NAVAS, Alejandro. Propiedades a compresión de la mampostería de bloques de concreto. San José de Costa rica: Universidad de Costa Rica. Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales (LANAMME), 2007.

NORMA SISMO RESISTENTE 2010. Capitulo D.3.6. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Unidades de mampostería. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

----- Título D. Mampostería estructural. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

----- Capitulo D.3.2. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Cemento y Cal. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

----- Capitulo D.3.4. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Mortero de pega. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

----- Capitulo D.3.5. Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Mortero de relleno. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

----- Capitulo C.3.5. Materiales. Acero de refuerzo. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA 3495. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2003.

----- 4017. Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcillas. Bogotá: ICONTEC, 2005.

----- 4205. Ingeniería civil y arquitectura. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos. Bogotá: ICONTEC, 2000.

----- 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado. Bogotá: ICONTEC, 2004.

----- 3495 Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de muretes de mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2003.

----- 2240 Concretos. Agregados usados en morteros de mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2003.

----- 121 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento portland, especificaciones físicas y mecánicas. Bogotá: ICONTEC, 2001.

----- 321 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento portland, especificaciones químicas. Bogotá: ICONTEC, 2001.

----- 4050 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cemento para Mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2001.

----- 4046 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cal (CaO) viva para propósitos estructurales. Bogotá: ICONTEC, 2001.

----- 4019 Ingeniería Civil y Arquitectura. Cal hidratada para mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2001.

----- 3329 Concretos. Especificaciones del mortero para unidades de mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2004.

----- 3356 Concretos. Mortero premezclado para mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2000.

----- 4048 Concretos. Mortero de inyección (grouts) para mampostería. Bogotá: ICONTEC, 2002.

----- 237 Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del Agregado Fino.

----- **221** Ingeniería Civil y Arquitectura. Cementos. Método de Ensayo para determinar la densidad del Cemento Hidráulico.

----- 1776 Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de Ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los Agregados.

----- 174 Ingeniería Civil y Arquitectura. Concretos. Especificaciones de los Agregados para concreto.

----- 3356 Concretos. Mortero premezclado para mampostería.

ROJAS E, Joaquín. Problemas patológicos presentados en fachadas de ladrillo a la vista tipo catalán, Trabajo Dirigido de Grado, Medellín: Universidad nacional de Colombia. Facultad de arquitectura. Escuela de construcción, 2005.

REFERENCIAS DOCUMENTOS ELECTRÓNICAS

ARQUBA, Cemento portland. Uso y aplicaciones. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.arquba.com/monografias-de-arquitectura/cemento-portland-usos-y-aplicaciones/>>

ASTM E -519- 07. STANDARD TEST METHOD FOR DIAGONAL TENSION (SHEAR) IN MASONRY ASSEMBLAGES. Determinación de la diagonal tracción o resistencia al corte. [en línea]. [citado el 25 de agosto de 2013]. Disponible en internet: <<http://amipp.rutgers.edu/assets/documents/ASTM/DiagShearCerE519.pdf>>

BIBLIOTECA DIGITAL, Capítulo 3. Mortero. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

BLOGSPOT. Notas de Concreto. Peso específico (densidad) y densidad relativa (densidad absoluta, gravedad específica) del concreto. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/peso-especifico-densidad-y-densidad.html>>

BLOGSPOT. Ingeniería Civil. Determinación de la densidad nominal y la densidad aparente para agregados. 2008. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <ngevil.blogspot.com/search?q=Ensayo+de+densidad+aparente>

CYCLOPAEDIA.NET. Módulo de cortante. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://es.cyclopaedia.net/wiki/Modulo-de-cortante>>

CODIACERO. Malla electrosoldada. . [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://codiacero.com/2008/content/blogcategory/38/110/>>

CLUB ENSAYOS. Porcentaje de absorción. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://clubensayos.com/Ciencia/PORCENTAJE-DE-ABSORCION/1310007.html>>

FERNANDEZ BAQUEIRO, L., MARIN GOMEZ, F., VARELA, J. y VARGAS MARIN, G. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Ingeniería, Revista Académica. 2001. 10p. [en línea]. [citado el 9 enero de 2014]. Disponible en internet en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/determinacion_resistencia_compresion.pdf>

HERNANDEZ BASILIO, Oscar. Modalidades de refuerzo de la mampostería en México. México: UNAM. Instituto de Ingeniería. [en línea]. [citado en 3 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.capac.org/web/portals/0/biblioteca_virtual/doc002/Cap%C3%ADtulo%205.pdf>

HORNO DE LADRILLOS. [en línea]. [citado el 25 de agosto del 2013]. Disponible en internet en: <<http://4.bp.blogspot.com/D08jLJS9ELo/URPtRnxCEmI/AAAAAAAAAHrQ/7TPMbZWfLk/s1600/horno+de+ladrillos.jpg>>

INSTRON. Resistencia a la compresión. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://www.instron.com.ar/wa/glossary/Compressive-Strength.aspx>>

INGENIERÍA 17 (2): 53-70, ISSN: 1409-2441; 2007. Propiedades a compresión de mampostería. San José, Costa Rica. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://www.latindex.ucr.ac.cr/ingenieria-17-2/03-navas_propiedades.pdf>

QUETETO. Mapa de Colombia con Norte de Santander. [En línea]. Actualizad en el 2010. [citado 25 de agosto del 2013]. Disponible en internet en: <<http://quoteko.com/hidrograf-colombiana-colombia.html>>

RIVERA, Gerardo. Concreto simple. Aditivos para mortero y concreto. Universidad del Cauca. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2011%20-%20Aditivos%20para%20morteros%20o%20concretos.pdf>>

SAN BARTOLOMÉ, Ángel y CASTRO, Arturo. Reparación de un muro de albañilería confinada. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad Ingenierías. Ingeniería Civil, 2007. 8 p. [en línea]. [citado en 16 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://blog.pucp.edu.pe/media/688/20070427-Reparaci%F3n-Muro%20Confinado%20.pdf>>

SLIDESHARE. Propiedades mecánicas. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://www.slideshare.net/Rukawua90/propiedades-mecanicas-3>>

SLIDESHARE. El agua. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://www.slideshare.net/LennHegg/exposicion-de-kfc>>

SCRIB. Humedad agregado fino y grueso. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/86031624/HUMEDAD-Agregado-Fino-y-Grueso>>

SCRIBD. Fluidez de los morteros de cemento. [en line]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <<http://es.scribd.com/doc/110544131/Fluidez-de-Los-Morteros-de-Cemento>>

TECNOLOGIA ESO, materiales cerámicos. propiedades, clasificación y obtención. [en línea]. [citado en 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://pelandintecno.blogspot.com/2013/02/materiales-ceramicos-propiedades.html#sthash.vCcw6sVC.dpuf>>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA Sede Palmira. Resistencia de Materiales. Esfuerzo cortante. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/1_4.htm>

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Modelación estructural. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/436/mi_931.pdf?sequence=1>

UNICAUCA, Capitulo 2. Agregados para mortero o concreto. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20concreto.pdf>>

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. Modulo elástico. [en línea]. [citado el 25 agosto de 2013]. Disponible en internet en: <http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_el%C3%A1stico>

WIKIPEDIA la enciclopedia libre. Ladrillo. [en línea]. [citado el 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo>>

WIKIPEDIA La enciclopedia libre. Mampostería. [en línea]. [citado el 16 enero de 2014]. Disponible en internet en: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Mamposter%C3%ADa>>