

**ANÁLISIS DEL ESFUERZO CORTANTE EN LA MAMPOSTERÍA POR  
MEDIO DEL ENSAYO DE CORTE DIAGONAL EN MURETES  
CONSTRUIDOS CON UNIDADES H – 10 Y H – 15**

**HUGUES LEONARDO BARROS MENDOZA  
RUBEN DORANCE RODRÍGUEZ SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

**ANÁLISIS DEL ESFUERZO CORTANTE EN LA MAMPOSTERÍA POR  
MEDIO DEL ENSAYO DE CORTE DIAGONAL EN MURETES  
CONSTRUIDOS CON UNIDADES H – 10 Y H – 15**

**HUGUES LEONARDO BARROS MENDOZA  
RUBEN DORANCE RODRÍGUEZ SÁNCHEZ**

**Tesis de grado como requisito para optar  
al título de Ingenieros Civiles**

**Director:  
CLAUDIA PATRICIA RETAMOSO LLAMAS  
M.I.C. Ingeniera Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL  
BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2010**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, Septiembre de 2010.

*A mi querida madre Blanca Adelia Sánchez de Rodríguez  
Tu cultivaste en mi la sabiduría y el conocimiento...  
... Que me motivo a ser lo que soy.*

*Rubén*

*A Dios, A mis padres, hermanos y amigos  
María Mendoza y Armando Barros,  
quienes son la alegría de mi vida y  
mi razón de ser*

*Hugues*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

MIC Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas, directora del proyecto, quien con su sabiduría y experiencia nos oriento en este proceso. Muchas gracias por su apoyo y dedicación

A la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga por darnos la oportunidad de realizar en sus laboratorios el presente proyecto de grado y a la directora de los laboratorios Ing. Luz Marina Torrado Gómez, así mismo a los auxiliares de laboratorio Don Helí y Don Vicente.

Agradecemos, a toda la comunidad universitaria, profesores, personal de Seguridad, secretarias, directivos, alumnos, empleados, etc; porque nos brindaron un aporte para formarnos como futuros profesionales.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1. OBJETIVOS.....	9
1.1. Objetivo General.....	9
1.2. Objetivos Específicos.....	9
2. METODOLOGIA .....	10
3. JUSTIFICACIÓN.....	12
4. ALCANCE .....	13
5. MARCO TEÓRICO. ....	14
5.1. Cerámica. ....	14
5.1.1. Comportamiento mecánico de las cerámicas. ....	14
5.2. Ladrillo. ....	14
5.2.1. Categorías. ....	14
5.2.1.1 Unidades de arcilla. ....	15
5.2.2. Propiedades de las Unidades de Mampostería. ....	16
5.2.2.1 Propiedades físicas.....	16
5.2.2.2 Propiedades mecánicas.....	17
5.3. Cemento. ....	18
5.3.1. Propiedades.....	18
5.3.1.1 Peso específico (densidad).....	18
5.3.1.2 Superficie específica (finura). ....	18
5.3.1.3 Consistencia normal. ....	19
5.3.1.4 Fraguado del cemento. ....	19
5.3.1.5 Falso fraguado. ....	19
5.3.1.6 Estabilidad de volumen.....	19
5.4. Mortero. ....	19
5.4.1. Clasificación.....	20
5.4.1.1 Según su composición.....	20
5.4.1.2 Según su tipo.....	21
5.4.1.3 Según sistema de producción.....	22
5.4.2. Propiedades del Mortero.....	23
5.4.2.1 Trabajabilidad o manejabilidad .....	23
5.4.2.2 Fluidez .....	23
5.4.2.3 Penetración.....	23
5.4.2.4 Consistencia. ....	24
5.5. Mampostería.....	24
5.5.1. Muros de Mampostería. ....	24
5.5.1.1 Clasificación.....	24
5.5.2. Propiedades de la mampostería. ....	25
5.5.2.1 Densidad.....	25
5.5.2.2 Resistencia a la compresión. ....	25
5.5.2.3 Módulo de elasticidad (E). ....	25
5.5.2.4 La conductividad térmica. ....	25
5.5.2.5 Transferencia de calor. ....	25
5.5.2.6 Eflorescencia .....	25
6. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	27
6.1. Unidades de Mampostería. ....	27

6.1.1.	Absorción de Agua.....	27
6.1.1.1	Procedimiento.....	27
6.1.1.2	Datos y cálculos.....	27
6.2.	Agregado Fino – Arena.....	28
6.2.1.	Análisis granulométrico.....	28
6.2.1.1	Procedimiento.....	29
6.2.1.2	Datos y cálculos.....	29
6.2.2.	Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de mortero o concretos .....	33
6.2.2.1	Procedimiento.....	33
6.2.2.2	Datos y cálculos.....	34
6.2.3.	Peso específico del agregado fino. ....	34
6.2.3.1	Procedimiento.....	34
6.2.3.2	Datos y cálculos.....	35
6.3.	Cemento .....	38
6.3.1.	Densidad del cemento hidráulico .....	38
6.3.1.1	Procedimiento.....	38
6.3.1.2	Datos y cálculos.....	39
6.4.	Fluidez .....	39
6.4.1.1	Procedimiento.....	39
6.4.1.2	Datos y cálculos.....	40
6.5.	Diseño de morteros.....	41
6.5.1.	Paso I.....	41
6.5.2.	Paso II.....	42
6.5.3.	Paso III.....	42
6.5.4.	Paso IV .....	43
6.5.5.	Paso V. ....	44
6.5.6.	Paso VI .....	44
6.5.7.	Paso VII. ....	45
6.5.8.	Paso VIII .....	45
6.5.8.1	Humedad del Agregado Fino. ....	45
6.5.8.2	Porcentaje de Agua que aporta el Agregado Fino. ....	46
6.5.8.3	Masa de Agua del Agregado Fino.....	46
6.5.8.4	Cantidad de Agua Ajuste del Agregado Fino. ....	46
6.5.8.5	Cantidad de Agua Mezcla. ....	46
6.5.8.6	Cálculos. ....	47
6.6.	Ensayo a la resistencia de compresión de morteros.....	48
6.6.1.	Procedimiento.....	49
6.6.2.	Datos y Cálculos.....	50
7.	CORTE DIAGONAL EN MURETES DE MAMPOSTERÍA H-10 Y H-15. ....	54
7.1.	Procedimiento.....	54
7.1.1.	Construcción de los muretes .....	54
7.1.2.	Ensayo de Corte Diagonal en Muretes. ....	58
7.1.3.	Resultados Obtenidos de los Muretes H – 10.....	61
7.1.4.	Resultados Obtenidos Muretes Mampostería H – 15. ....	64
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	66
8.1.	Análisis de Resultados Esfuerzos Cortantes. ....	66

8.1.1.	Esfuerzos Cortantes Muretes Unidades H – 10. ....	66
8.1.2.	Esfuerzos Cortantes Muretes Unidades H – 15. ....	67
8.2.	Fallas de Muretes en Tensión Diagonal (Corte). ....	68
8.2.1.	Fallas en el ensayo de tensión diagonal en muretes, por esfuerzos principales. ....	69
8.2.1.1	Falla de Corte por Deslizamiento:.....	69
8.2.1.2	Falla de Corte. ....	69
8.2.1.3	Falla de Flexión.....	69
8.2.1.4	Falla de Aplastamiento por Flexión Diagonal.....	69
8.2.2.	Fallas por comportamiento del conjunto unidad – mortero de pega.....	70
8.2.2.1	Falla por tensión diagonal en bloques. ....	70
8.2.2.2	Falla por tensión diagonal en juntas. ....	70
8.2.2.3	Falla por deslizamiento. ....	70
8.2.3.	Fallas presentadas en el Trabajo de Grado.....	71
9.	CONCLUSIONES .....	76
9.1.	Ensayos Preliminares. ....	76
9.2.	Conclusiones Esfuerzo Cortante en Muretes de Mampostería. ....	76
10.	RECOMENDACIONES.....	78
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXO 1.	DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO. ....	81
ANEXO 2.	DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA.....	85



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Resistencia de las Unidades de Mampostería.....	17
Tabla 2.	Tipos de Mortero.....	22
Tabla 3.	Porcentajes de Absorción en Unidades de Mampostería H - 10.....	28
Tabla 4.	Porcentajes de Absorción en Unidades de Mampostería H – 15.....	28
Tabla 5.	Granulometría Agregado Fino Muestra 1.....	30
Tabla 6.	Granulometría Agregado Fino Muestra No. 2.....	31
Tabla 7.	Granulometría Agregado Fino Muestra No. 3.....	32
Tabla 8.	Escala Colorimétrica para el Agregado Fino.....	34
Tabla 9.	Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 1.....	36
Tabla 10.	Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 2.....	37
Tabla 11.	Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 3.....	37
Tabla 12.	Resultados Ensayos de Fluidez.....	40
Tabla 13.	Resistencia a la Compresión Morteros de Pega.....	41
Tabla 14.	Tipo de Mortero .....	42
Tabla 15.	Consistencia del Mortero. ....	43
Tabla 16.	Cantidades de Materiales Sin Ajuste de Agua.....	45
Tabla 17.	Cantidades de Material Ajuste de Agua Unidad H – 10.....	48
Tabla 18.	Cantidades de Material Ajuste de Agua Unidad H – 15.....	48
Tabla 19.	Resistencia a la Compresión de Mortero.....	50
Tabla 20.	Dimensiones de ancho, alto y espesor Muretes H -10.....	61
Tabla 21.	Dimensiones promedio de los orificios verticales y horizontales y área de los orificios de muretes de unidades H -10.....	62
Tabla 22.	Esfuerzo Cortante Muretes de Mampostería H – 10.....	63
Tabla 23.	Dimensiones promedio de los orificios verticales y horizontales y área de los orificios de muretes de unidades H -15.....	64
Tabla 24.	Esfuerzo Cortante Muretes de Mampostería H – 15.....	65
Tabla 25.	Propiedades Estadísticas de Muretes H – 10.....	66
Tabla 26.	Propiedades Estadísticas de Muretes H – 15.....	67
Tabla 27.	Tipos de fallas presentadas Muretes H – 10 y H – 15. ....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Almacenamiento de los materiales .....	10
Figura 2.	Granulometría Agregado Fino Muestra No 1. ....	30
Figura 3.	Granulometría Agregado Fino Muestra No. 2. ....	31
Figura 4.	Granulometría Agregado Fino Muestra No. 3. ....	32
Figura 5.	Evaluación Colorimétrica del Agregado Fino. ....	33
Figura 6.	Frasco de Le Chatelier Densidad del Cemento. ....	38
Figura 7.	Mesa de Flujo. ....	40
Figura 8.	Determinación Resistencia a la Compresión .....	41
Figura 9.	Relación Agua – Cemento (A/C) Mortero. ....	43
Figura 10.	Preparación del Mortero de Pega de los Muretes.....	48
Figura 11.	Dimensiones de las muestras de resistencia a la compresión del mortero.....	49
Figura 12.	Resistencia a la compresión a los 7 días de fabricados. ....	51
Figura 13.	Resistencia a la Compresión a los 14 días de fabricados...	51
Figura 14.	Resistencia a la Compresión a los 21 días de fabricados...	52
Figura 15.	Resistencia a la Compresión a los 28 días de fabricados...	52
Figura 16.	Días de curado vs resistencia a la compresión en cubos de mortero. ....	53
Figura 17.	Especificación Dimensiones de los Muretes.....	55
Figura 18.	Almacenamiento de Materiales.....	55
Figura 19.	Mezcla de Mortero de Pega.....	56
Figura 20.	Corte Unidades de Mampostería. ....	56
Figura 21.	Primera Hilada de Unidades de Mampostería. ....	57
Figura 22.	Muretes Terminados.....	57
Figura 23.	Murete de Tensión Diagonal Ubicado en la Máquina Universal.....	58
Figura 24.	Línea de Falla Teórica del Murete de Mampostería a Cortante.....	59
Figura 25.	Calibración de la Máquina. ....	59
Figura 26.	Colocación, refrentado de neopreno y Platinas en la parte Superior e Inferior del Murete. ....	60
Figura 27.	Centrado de los especímenes .....	60
Figura 28.	Lectura de Carga Máxima Aplicada en la Máquina Universal.....	61
Figura 29.	Esfuerzos Cortantes Muretes H -10.....	67
Figura 30.	Esfuerzos Cortantes Muretes H – 15.....	68
Figura 31.	Tipos de Falla presentadas en los muretes de mampostería.....	70
Figura 32.	Tipos de Fallas por Trabajo en conjunto Pieza – Mortero...	71
Figura 33.	Falla semi-diagonal.....	72
Figura 34.	Falla Mixta. ....	72
Figura 35.	Falla por adherencia. ....	73
Figura 36.	Falla local.....	73
Figura 37.	Porcentaje de Fallas en Muretes contruidos con unidades de mampostería H - 10. ....	74
Figura 38.	Porcentaje de Fallas en Muretes contruidos con unidades de mampostería H - 10. ....	75

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TÍTULO:** ANÁLISIS DEL ESFUERZO CORTANTE EN LA MAMPOSTERÍA POR MEDIO DEL ENSAYO DE CORTE DIAGONAL EN MURETES CONSTRUIDOS CON UNIDADES H – 10 Y H – 15

**AUTOR(ES):** HUGUES LEONARDO BARROS MENDOZA  
RUBEN DORANCE RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Claudia Patricia Retamoso Llamas

### RESUMEN

El trabajo de grado se basa en la construcción de quince muretes de mampostería no estructural con ladrillos H-10 y quince muros con unidades H-15. En donde se analizó el comportamiento del esfuerzo cortante y los diferentes tipos de fallas.

Previo a la construcción de los muretes se realizaron una serie de ensayos al agregado fino, las unidades de mampostería, y el cemento. Con base en estos valores se hizo el diseño del mortero. Al cual también se le realizaron las pruebas correspondientes para comprobar si cumplía con las especificaciones técnicas de la normativa.

Una vez conocido los respectivos valores se procede a construir los especímenes, los cuales se ensayaron pasado el tiempo de fraguado, en la máquina universal de la Universidad Pontificia Bolivariana. Finalizando este ensayo se obtuvieron los esfuerzos cortantes y los diferentes tipos de fallas (Semi-diagonal, combinada, adherencia y local).

**PALABRAS CLAVES:** Unidades de mampostería, Cemento, Agregado fino, Mortero, Tensión diagonal, Esfuerzo cortante, Tipos de fallas.



## GENERAL ABSTRACT DEGREE WORK

**TITLE:** MASONRY'S ANALYSIS THROUGH CUTTING DIAGONAL TEST IN WALLS BUILT WITH UNIT H - 10 YH – 15

**AUTHOR(S):** HUGUES LEONARDO BARROS MENDOZA  
RUBEN DORANCE RODRÍGUEZ SÁNCHEZ

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Claudia Patricia Retamoso Llamas

### ABSTRACT

The THESIS is based on the construction of fifteen low walls of brick masonry structure with H-10 and fifteen walls with H-15 units. Where WE analyzed the behavior of cutting effort and fracture types.

Before the construction of the walls we made a series of tests to fine aggregate masonry units, and cement. Based on these values we made the design of the mortar. Which is also conducted tests to check if it satisfied with the technical specifications of the rules.

Then we know the limits, we proceed to construct the specimens, which it were tested last set time, the universal machine of the Pontificia Bolivariana University . To end this paper were obtained shear stresses and different faults types (Semi-diagonal, joint, adhesion and local).

**KEY WORDS:** masonry units, cement, fine aggregate, mortar, diagonal tension, shear force, faults types

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento que se ha presentado en el sector de la construcción tiene un auge que ha pasado de ser un requisito, a el arte de innovar, olvidando la gran importancia que desempeña el estudio de las estructuras. Sin importar las normas a seguir solo por el simple hecho de la innovación.

Se debe recordar el papel que desempeña cada pared o muro ya sea estructural, confinado, de carga, divisorios en la estructura de las viviendas.

Debido a que en Colombia y más que todo en Santander se está en zona de amenaza sísmica alta, se debe tener presente el diseño de la mampostería en la construcción de las viviendas.

La importancia del proyecto consistirá en la construcción de muretes de unidades de mampostería H-10 y H-15, los cuales estarán sometidos a ensayos de tensión diagonal, para analizar los esfuerzos de cortantes en estos especímenes y poder concluir respecto a las fallas presentadas en cuanto al trabajo en conjunto de la unidad con el mortero.

Antes de fallar los muretes, se deben conocer las propiedades del mortero de pega a utilizar, para lo cual se realizó un diseño de mezcla, y así obtener una resistencia específica que daría un tipo de mortero según las especificaciones establecidas por la Norma Técnica Colombiana.

Se hicieron estudios preliminares a la arena y el cemento utilizado en la mezcla de mortero, para poder establecer las características necesarias para poder realizar el diseño al que se refiere el párrafo anterior.

Realizar un análisis del esfuerzo, comparando con lo exigido por la Norma Técnica Colombiana NTC 3329 de diseño de mortero con el fin de conocer los parámetros que se presentaron al momento de fallar los muros.

Todo estudio se desarrolla con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la región y por ende del país, logrando un aporte al desarrollo científico tecnológico y económico del sector de la construcción, por lo cual se considera que con este estudio, se está realizando un aporte importante al análisis que se debe desarrollar de la mampostería, ya que cuando se presenta un evento sísmico, el comportamiento de los muros de mampostería es a cortante.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. Objetivo General.**

Analizar el comportamiento de esfuerzos cortantes en muretes de mampostería con ladrillos H-10 y H-15 en tensión diagonal, contruidos con unidades de una empresa ladrillera de Bucaramanga.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

Analizar los esfuerzos de compresión presentados en las mezclas de mortero utilizadas para realizar la pega en los muretes.

Dar recomendaciones sobre la construcción de los muretes a ensayar.

Observar el comportamiento de esfuerzos cortantes en los muretes de mampostería con unidades H – 10 y H – 15.

Realizar un análisis del esfuerzo, comparando con los que exige la normativa, de tal manera que se observe si se cumple o no este requisito.

Analizar las diferentes fallas presentadas en los muretes ensayados.

## 2. METODOLOGIA

En primera instancia, se empezaron a buscar las unidades de mampostería que se utilizarían en el trabajo de grado.

Para esto se envió una carta a una empresa ladrillera de la ciudad de Bucaramanga, solicitando se donarían las unidades de mampostería para construir los muretes y a cambio, los autores del trabajo de grado, enviarían los resultados de los diferentes ensayos realizados a las unidades.

Al no recibir la respuesta esperada se optó por comprar el material en otra empresa en particular con la cual la universidad ha venido desarrollando varios trabajos de grados, en los cuales siempre los estudiantes adquieren el material por cuenta propia. En la Figura 1, se observa el sitio de disposición de las unidades de mampostería utilizadas para la construcción de los muretes.



Fuente: Propia

**Figura 1. Almacenamiento de los materiales**

Luego de obtener el material se desarrollaron los siguientes ensayos

Se comienza con el ensayo absorción en las unidades de mampostería, con el propósito de conocer la cantidad de agua que es capaz de absorber el ladrillo cuando entra en contacto con el mortero de pega utilizado en la construcción del murete.

Al agregado fino se le realizan los siguientes ensayos; análisis granulométrico, contenido de materia orgánica, peso específico y absorción con el fin de conocer los valores respectivos para poder realizar el diseño de mezcla de mortero.

Al cemento se le desarrollo el ensayo de densidad, para conocer el dato de la masa que ocupa un volumen del material.

Al mortero de pega se le determinó la fluidez, propiedad importante para poder tener en cuenta en el diseño de mezcla al momento de establecer la cantidad de materiales a utilizar para desarrollar el mortero.

Adicionalmente, cuando se estaban construyendo los muretes, se realizaron cubos para obtener la resistencia a compresión del mortero a los 28 días, momento en el cual se fallaron los muretes contruidos.

Finalmente con estos valores se procede a la elaboración de los muretes para someterlos a compresión diagonal por medio de la máquina universal de la Universidad Pontificia Bolivariana, y así comparar y concluir con respecto a los datos que establece la norma ASTM E 519-81



### **3. JUSTIFICACIÓN**

Con este trabajo se busca realizar una pequeña contribución sobre el comportamiento de esfuerzos cortantes de mampostería no reforzada, cargándolos en compresión a lo largo de una diagonal, de tal manera que se llegue a comparar los resultados de las fallas en muretes H-10 y H-15 con la Norma Técnica Colombiana.

Es importante resaltar que el esfuerzo cortante en la mampostería es el que principalmente se presenta cuando existen en el edificio aplicadas fuerzas sísmicas. Ya que Bucaramanga es una ciudad que está ubicada en Zona de Amenaza Sísmica Alta, se debe mirar que sucede con esta característica en particular.

#### **4. ALCANCE**

El alcance del proyecto puede definirse como la elaboración de quince muretes H-10 y H-15, someterlos a ensayos de tensión diagonal, analizar los diferentes tipos de fallas obtenidas y comparar los resultados de esfuerzos cortantes con la normativa, para así demostrar si la mampostería construida cumplió con los requerimientos necesarios.

Es importante definir también que se observará el comportamiento de la mezcla del mortero de pega utilizado en la unión de la mampostería y se determinará el valor de la absorción de las unidades de mampostería que se utilizarán en la construcción de los muretes, de tal manera que se pueda establecer que cantidad de agua se debe adicionar a la mezcla de mortero.

## **5. MARCO TEÓRICO.**

Se realizará en esta parte del trabajo, una aproximación teórica a los materiales que se utilizarán en el trabajo de grado, estos son unidades de mampostería y mortero.

### **5.1. Cerámica.**

Los materiales cerámicos son materiales inorgánicos formados por elementos metálicos y no metálicos enlazados químicamente entre sí. Los materiales cerámicos pueden ser cristalinos, no cristalinos o mezclas de ambos. La mayoría de los materiales cerámicos tienen una gran dureza y resistencia a altas temperaturas, pero tienden a ser frágiles (con poca o nula deformación antes de la fractura). Destacan entre las ventajas de los materiales cerámicos para aplicaciones industriales su peso ligero, gran resistencia y dureza, buena resistencia al calor y al desgaste, poca fricción y propiedades aislantes.<sup>1</sup>

El término cerámica es más familiar como un adjetivo que describe artesanía. Para el ingeniero, sin embargo, las cerámicas comprenden una amplia variedad de sustancias, tales como vidrio, ladrillo, piedra, concreto, abrasivos, porcelanas esmaltadas, aislantes dieléctricos, materiales magnéticos no metálicos, refractarios de alta temperatura y muchos otros.<sup>2</sup>

#### **5.1.1. Comportamiento mecánico de las cerámicas.**

A excepción de algunos materiales como la arcilla plástica, las cerámicas están caracterizadas por sus elevadas resistencias al corte; por tanto, no son dúctiles.<sup>2</sup>

Las fases cerámicas son duras porque generalmente no resisten en la zona plástica.<sup>2</sup>

### **5.2. Ladrillo.**

“El ladrillo es un tipo de cerámica. Las cerámicas son materiales inorgánicos no metálicos, bastante estables químicamente, usualmente procesados a altas temperaturas, formados básicamente por silicatos y por óxidos metálicos.”<sup>3</sup>

#### **5.2.1. Categorías.**

---

<sup>1</sup> SMITH William F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Mc Graw Hill. Cuarta Edición. 2004.

<sup>2</sup> VAN VLACK Lawrence. Materiales para Ingeniería. Editorial Continental S.A. 1980.

<sup>3</sup> RAMIREZ Alfonso. Edificios de mampostería. Escuela Colombiana de Ingeniería

Debido a la composición de los materiales los ladrillos pueden dividirse en dos categorías

#### 5.2.1.1 Unidades de arcilla.

“Estas unidades de mampostería se queman o cuecen hasta lograr el endurecimiento del material. Este grupo Representa unas de las ramas principales de la industria cerámica que es la de los productores de arcilla cocida.”<sup>4</sup>

Los ladrillos cerámicos o de arcilla se pueden clasificar según su tipo y grado, entre estos están:

- Clasificación según su tipo.<sup>5</sup>

**TIPO I-Ladrillo cerámico hecho a máquina:** Es aquel ladrillo fabricado por procesos industriales que amasan, moldean y presan la pasta de arcilla. En su fabricación se distinguen las siguientes etapas:

Extracción y transporte: durante la cual se emplean equipos especiales que desmenuzan la tierra y la mezclan hasta obtener una pasta homogénea.

Preparación: consiste en agregar a la materia prima ciertos componentes debidamente dosificados para corregir su composición y moler continuamente hasta obtener partículas de 1.5 mm como máximo. Luego se agrega agua y se mezcla.

Moldeo: una vez eliminadas algunas partículas nocivas, se moldea al vacío para evitar estratificaciones y obtener una mezcla más homogénea. La mezcla sale por una boquilla con la sección de ladrillo marcada, luego se cortan los ladrillos con cables atirantados según dimensiones preestablecidas.

Cocción en horno: se elimina el agua de amasado en forma natural y luego en cámaras de aires caliente entre 100°C y 110 °C. Luego se cuecen en un horno con forma de túnel zigzag a temperaturas sobre 700°C para producir la eliminación del agua caolítica o agua de constitución y lograr una cocción uniforme.

**TIPO II-Ladrillo cerámico artesanal:** Es aquel fabricado por medios manuales, sin prensar la pasta. El lugar de fabricación se ubica cercano a yacimientos de arcilla, la cual se extrae y hornea para retirar los granos

---

<sup>4</sup> HORNBOSTEL Caleb. Materiales para la construcción: tipos, usos y aplicaciones. Editorial Limusa Wiley. 2005.

<sup>5</sup> DE SOLMINIHAC T. Hernán - THENEOUX Guillermo. Procesos y técnicas de construcción. Editorial alfaomega. Segunda edición. 2002.

más gruesos (sobre 1.19 mm – 2 mm) y las partículas extrañas mayores como raíces, palos, etc.

Modo de fabricación; se coloca el material en bateas circulares, se mezcla con agua y se amasa. Se vacía el material, previamente cortado con las dimensiones requeridas, en moldes de madera, se airea y se deja secar al sol por algunos días. Luego se disponen de canto, formando una pirámide truca conocida como choncon. Esta pirámide tiene en su base huecos por donde se puede introducir leña o carbón para producir el secado, posteriormente se cubre la estructura con barra para aprovechar mejor el calor, debido a las distribuciones de los ladrillos durante el proceso de secado se produce un cocimiento poco uniforme, por eso es que comúnmente es que se desechan los de la capa interior y los de la exterior están muy poco cocidos.

- Clasificación de los ladrillos según su grado.<sup>6</sup>

Se fabrican unidades de mampostería en tres grados según su durabilidad y se basa en los requisitos físicos (resistencia a la compresión mínima, absorción de agua y coeficiente de saturación máxima), relacionándose directamente con la durabilidad y la resistencia a la intemperie.

La elección de un grado (de ladrillos de arcilla) en la construcción debe estar basado en la ubicación de la obra.

**Grado SW:** Estos suelen ser usados en lugares sujetos a la intemperie moderada. En general; Los ladrillos SW están destinados a utilizarse en alta resistencia a acción deseada, como en lugares debajo del nivel del suelo y en lugares relativamente secos.

**Grado MW:** Para lugares cuando se espera la temperatura bajo cero con humedad regular y condiciones menores de congelación.

**Grado NW:** Es para uso de construcción de interiores, en los que no se congela.

## **5.2.2. Propiedades de las Unidades de Mampostería.**

### **5.2.2.1 Propiedades físicas**

#### **Color:**

Esta característica depende de la composición de la materia prima (o la presencia de óxidos metálicos) y el grado de ardor. El color estándar de las unidades de mampostería es terracota.

---

<sup>6</sup> SHAN Somayaji. Engineering materials. Prentice Hall, Segunda edición, 2001.

### **Textura:**

El aspecto de la superficie debe oscilar entre suave y plana, lados paralelos con bordes y ángulos afilados. La textura debe ser uniforme, y las unidades deberían emitir un sonido de timbre cuando se golpea de manera fuerte.

### **Densidad:**

El peso específico de una unidad de arcilla depende de la gravedad específica de la arcilla, el método de fabricación y el grado de ardor. Este oscila desde 2.6 hasta 2.8. La densidad del material quemado supera los 1600 kg/mg, con un promedio de 2000 kg/mg

#### 5.2.2.2 Propiedades mecánicas.

### **Resistencia a la compresión.**

Depende de la composición de la arcilla, el método de fabricación y el grado. La resistencia a la compresión según el grado es el siguiente:

**Tabla 1. Resistencia de las Unidades de Mampostería.**

<b>Grado</b>	<b>Resistencia (psi)</b>	<b>Resistencia (MPa)</b>
SW	3000	20.7
MW	2500	17.3
NW	1500	10.4

Fuente: SHAN Somayaji. Engineering materials. Prentice Hall, Segunda edición, 2001.

### **Módulo de rotura.**

Permite determinar la flexión transversal siendo un índice importante en los aspectos del diseño estructural de la mampostería. La mayoría de los ladrillos de arcilla tienen un módulo de rotura en cualquier parte entre 500 y 3800 psi.

### **Módulo de elasticidad.**

Esta propiedad es directamente proporcional a la temperatura de incineración o la de quema, al aumentar el modulo de elasticidad varia el coeficiente de conductividad térmica.

### **Absorción:**

Esta propiedad se define como el aumento del peso de la unidad debido al agua, afectando en gran medida la durabilidad de estos, debido a la resistencia a la acción de las heladas (en climas donde se presentan las estaciones). Los ladrillos blandos pueden absorber el agua hasta un tercio

de su peso, mientras que los ladrillos duros absorben menos del 10% de agua. Mientras es más pequeña la cantidad de absorción mayor es su durabilidad.

### **Conductividad térmica:**

La unidad de mampostería es una mala conductora, gracias a esta característica las casas construidas con estas, son más frescas en verano y más calientes en invierno a comparación de la temperatura exterior.

### **Resistencia al fuego:**

Es una propiedad importante de los ladrillos debido a que tiene un comportamiento bueno y aceptable de aislamiento (contra la transferencia de calor). Es la principal razón por la cual se utilizan en la construcción de chimeneas.

## **5.3. Cemento.**

Es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permite unir fragmentos minerales entre sí para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.<sup>7</sup>

### **5.3.1. Propiedades.**

Estas propiedades dependen del estado en el cual se encuentren y son medidas a través de ensayos que se pueden clasificar en ensayos sobre el cemento puro, sobre la pasta de cemento y sobre el mortero, los cuales determinan las características físicas y mecánicas antes de utilizado.

#### **5.3.1.1 Peso específico (densidad).**

La densidad o peso específico del cemento es la relación existente entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de una masa. Su valor varía muy poco y en un cemento portland cuando no hay adiciones distintas al yeso, suele estar comprendida entre 3.10 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>.

#### **5.3.1.2 Superficie específica (finura).**

La finura del cemento tiene una gran influencia especialmente sobre la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de resistencia con la edad. Esta propiedad se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo del material, lo cual denomina la superficie específica y se mide en cm<sup>2</sup>/gr.

---

<sup>7</sup> 10SANCHEZ DE GUZMAN Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Universidad Pontificia Javeriana.1987

#### 5.3.1.3 Consistencia normal.

La cantidad de agua que se le agrega al cemento, le comunica una determinada fluidez, la cual aumenta al incrementarse el contenido de agua. Existe una determinada fluidez, para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua. Esta fluidez es lo que se llama consistencia normal. Y se mide por medio del aparato vicat.

#### 5.3.1.4 Fraguado del cemento.

Es el cambio de un estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. Aunque durante el fraguado la pasta requiere alguna resistencia, para efectos plásticos es conveniente distinguir el fraguado endurecido, la cual se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

#### 5.3.1.5 Falso fraguado.

Se refiere a una rigidez prematura y anormal del cemento, que se presenta dentro de los primeros minutos después de haberlo mezclado con agua.

Este fenómeno se debe a que en algunas ocasiones cuando las temperaturas en los molinos de las fábricas de cemento son superiores a 100°C, se puede presentar deshidratación total o parcial del regulador del fraguado del cemento que es el yeso. Cuando esto sucede, se pueden presentar fenómenos de falso fraguado durante la operación de mezclado del concreto, ya que hay una rigidez parcial y pasajera en la mezcla como consecuencia del propio fraguado del yeso.

#### 5.3.1.6 Estabilidad de volumen

Para que un cemento sea estable es necesario que ninguno de sus componentes, una vez hidratados, sufra una expansión perjudicial o destructiva. Los cuatro componentes principales del cemento no pueden producir inestabilidad, ya que sus volúmenes después de hidratados son mayores que los componentes anhídricos, son inferiores a los volúmenes de estos más los volúmenes de agua necesaria para la hidratación; por lo tanto, en circunstancias normales, los morteros y los concretos se contraen al endurecer, fenómeno que recibe el nombre de retracción.

### 5.4. Mortero.

“Reciben el nombre de morteros, argamasas o mezclas las distintas combinaciones de diversos materiales y sustancias (agregado fino, agua



y aglutinantes) que al unirse forman una pasta muy maleable que posteriormente se endurece y solidifica para formar una piedra artificial, cuyas nuevas características y calidades (resistencia, forma y tamaño) varían según sea necesario. Esto se logra mediante un control de calidades de los componentes que intervienen en dicha mezcla.”<sup>8</sup>

#### **5.4.1. Clasificación.**

En esta sección se referencia al Ing. Diego Sánchez de Guzmán, quien clasifica de manera muy acertada todos los tipos de mortero que existen. Además este profesional, en Colombia, tiene una amplia trayectoria en este tema en particular.

##### **5.4.1.1 Según su composición<sup>9</sup>**

##### **Mortero de cemento portland.**

El mortero de cemento portland generalmente carece de plasticidad, tiene baja retención de agua, es más duro y menos trabajable que el mortero con cemento de mampostería o con cemento portland adicionado con cal.

Estos morteros tienen una amplia gama de propiedades. Por un lado, un mortero de cemento portland y arena únicamente tiene una alta resistencia a la compresión y una baja retención de agua. Un muro construido con dicho mortero tendrá una buena resistencia, pero será vulnerable al agrietamiento y a la penetración del agua, por otro lado un mortero con cal y arena tiene baja resistencia a la compresión y alta retención de agua, de tal forma que un muro realizado con el tendrá menor resistencia especialmente a edades tempranas pero tendrá mayor resistencia al agrietamiento e impermeabilidad. Entre estos dos extremos, las diversas combinaciones de cemento y cal, mezclan la excelente trabajabilidad del primero y retención de agua del segundo.

##### **Mortero de cemento portland de mampostería.**

Es un producto que generalmente contiene cemento portland y finos, tales como caliza y otros materiales en diferentes proporciones, mas aditivos tales como plastificantes y agentes incorporadores de aire y agentes repelentes de agua. El cemento que usualmente contiene es tipo 3. Los morteros elaborados con él, poseen en general una excelente trabajabilidad y durabilidad

---

<sup>8</sup> PLAZOLA CISNEROS Y PLAZOLA ANGUIANO "Normas y Costos de Construcción" V y III, Editorial Limusa, México 1995.

<sup>9</sup> SANCHEZ DE GUZMAN Diego. Concreto y mortero, tecnología, propiedades, ensayos de calidad. ASOCRETO. Segunda edición 1997.

#### 5.4.1.2 Según su tipo

La designación de las nuevas letras que representan los diferentes tipos de morteros son M, S, N, O y K, las cuales corresponden al deletreo de la palabra MASON WORK (trabajo de mampostería).

##### **Mortero tipo M.**

Es una mezcla de alta resistencia que ofrece mayor durabilidad que otros tipos de mortero. Se recomienda para mampostería reforzada o sin refuerzo que pueda estar sujeta a altas cargas de compresión, a acción severa de congelamiento, o presión lateral de la tierra, vientos huracanados o terremotos. Al ser de durabilidad superior, los morteros tipo M pueden ser usados en estructuras enterradas, que estén en contacto con suelos, tales como fundaciones, muros de contención y alcantarillas.

##### **Mortero tipo S.**

Proporciona la mayor resistencia a la adherencia. Se usa generalmente para estructuras sometidas a cargas normales de compresión, pero que requieren alta adherencia a esfuerzos de flexión. También es recomendable donde se utiliza como pega, por ejemplo en la colocación de enchapes.

##### **Mortero tipo N.**

Es el mortero multipropósito para uso en las estructuras de mampostería. Es apropiado para pañetes y paredes interiores de partición. Este mortero de resistencia media es el mejor que combina las propiedades de resistencia, trabajabilidad y economía.

##### **Mortero tipo O.**

Es de alto contenido de cal y baja resistencia para uso en pañetes y pega en paredes poco cargadas y de partición. No endurece en presencia de humedad. Es frecuentemente utilizado en trabajo de mampostería para casas de uno o dos pisos y es el preferido por los mamposteros por su excelente trabajabilidad y bajo costo.

**Tabla 2. Tipos de Mortero**

Mortero	Tipo	$\sigma$ (MPa) 28 días	Mín. Retención Agua (%)	Máx. Contenido de aire
Cemento - Cal	M	17.2	75	12
	S	12.4	75	12
	N	5.2	75	14
	O	2.4	75	14

Fuente: (concreto y mortero, tecnología, propiedades, ensayo de calidad. Diego Sánchez de guzmán)

#### 5.4.1.3 Según sistema de producción.

##### **Mortero mezclado en obra.**

El mortero mezclado en obra, requiere hacerse en un sitio protegido del sol, el viento y la lluvia de fácil almacenaje del cemento y la arena. No es recomendable mezclar con pala, lo menos que sea necesario para proporcionar homogeneidad es emplear mezcladoras mecánicas y dosificar la arena con el mismo grado de humedad.

##### **Mortero dosificado por silos.**

Dentro de las nuevas técnicas para mezclar el mortero en obra, en Holanda se han desarrollado unos silos con capacidad para almacenar la arena y el cemento necesario para producir aproximadamente 10 m<sup>3</sup> de mortero. Tienen un comportamiento para cada constituyente del mortero y están diseñados para ser transportado en camiones especiales. Tienen acoplado en la descarga un sistema de tornillo sin fin, en donde se adicionan y mezclan los materiales.

##### **Morteros dosificados en camiones de bachada volumétrica.**

Los camiones de bachada volumétrica, tienen compartimentos y tanques para almacenar agua, arena, cemento, cal y aditivos, mediante los cuales se pueden dosificar diferentes tipos de mortero, de tal forma que se mezcla y descarga mediante un sistema de tornillo sin fin en cada obra.

##### **Morteros premezclados o predosificados.**

Es posible conseguir morteros premezclados o predosificados en dos opciones: la primera es hacer una combinación premezclada, mojada de cal hidratada o pasta de cal, arenas aditivos y agua, enviada a la obra en construcción que queda lista para ser utilizada cuando se mezcla con cemento y agua adicional. La otra, es una mezcla empacada, seca que requiere únicamente la adición de agua y el mezclado.

Se debe tener especial cuidado con el sistema seco, debido a que los morteros resultantes pueden necesitar una mezcla más prolongada para contrarrestar la mayor afinidad de la arena secada en horno con el agua y la subsecuente pérdida de trabajabilidad del mortero. La utilización del mortero premezclado va en incremento, porque pueden ser mezclas convencionales con características de trabajabilidad adecuadas por 2 ½ horas o mezclas de mayor duración.

#### **5.4.2. Propiedades del Mortero.**

Las propiedades del mortero plástico determinan la facilidad de construcción de la mampostería y del acabado de los elementos estructurales. Las propiedades del mortero plástico influyen el comportamiento del mortero endurecido.

##### **5.4.2.1 Trabajabilidad o manejabilidad**

Esta depende de su habilidad para ser extendido mediante un palustre o adherirse a superficies verticales y a su resistencia para fluir cuando se está colocando una unidad de mampostería.

La trabajabilidad, es el resultado de la lubricación de las partículas de agregados con la pasta de cemento.

La capacidad del mortero para mantenerse trabajable bajo la influencia de la absorción de la unidad de mampostería y de la tasa de evaporación, depende de la retención de agua y de las características de fraguado del mortero. Una buena trabajabilidad es esencial para una adherencia máxima con las unidades de mampostería.

##### **5.4.2.2 Fluidez**

La fluidez inicial es una propiedad del mortero medida en laboratorio, que indica el porcentaje de aumento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando éste se coloca sobre una mesa de flujo, levantándola caer 25 veces en 15 s.

##### **5.4.2.3 Penetración**

La consistencia del mortero es medida a través del cono de penetración, el cual consiste en un aparato de Vicat modificado, que permite conocer la uniformidad de una capa a otra.

La determinación de consistencia por el cono de penetración, permite medir el ajuste en la cantidad de agua para todos los morteros y por lo tanto debe estar incluida en la serie de ensayos previos a la construcción.

#### 5.4.2.4 Consistencia.

La consistencia, empleando un penetrómetro de concreto, el cual se modifica para tomar muestras de morteros alteradas e inalteradas, provee un medio para establecer las características de fraguado y endurecimiento a temprana edad.

### 5.5. Mampostería.

En albañilería este término se refiere a un material de construcción formado mediante la combinación de unidades, con un aglomerante llamado mortero. Este material es usado para construir paredes, que es una estructura vertical, delgada, en proporción a su longitud y altura, que sirve para encerrar o dividir un espacio y/o apoyo de otros elementos.<sup>10</sup>

#### 5.5.1. Muros de Mampostería.

##### 5.5.1.1 Clasificación.

##### **Según su localización.**

- Exterior: son expuestos a la intemperie y/o tienen un lado en la parte interior.
- Interior: ambas partes están en el interior de la estructura.

##### **Según los requisitos estructurales.**

- Portantes: también llamados muros estructurales, son los destinados al transporte de carga de las diferentes partes de la estructura hasta la cimentación.
- Sin carga: son los que están destinados a llevar su propio peso, sirven como división de los espacios dentro de las viviendas.

##### **Según el método de construcción.**

- Pared sólida: son construidas mediante la combinación de unidades de mampostería (hueca o sólida), con mortero.
- Pared enmarcada: son construidas con pequeñas secciones de madera o de metal unidas entre sí, que proporcionan resistencia y rigidez.

---

<sup>10</sup> Somayaji Shan. Civil Engineering Materials. Editorial Prentice Hall. 1995.

## **5.5.2. Propiedades de la mampostería.**

### **5.5.2.1 Densidad**

Depende del peso de las unidades, el espesor y las longitudes, es la masa sobre el volumen del conjunto de unidades y mortero.

### **5.5.2.2 Resistencia a la compresión.**

Depende de la resistencia a la compresión de las unidades, las proporciones de mezcla del mortero, la mano de obra, las propiedades del cemento y los aditivos empleados en la mezcla.

### **5.5.2.3 Módulo de elasticidad (E).**

No existe ninguna relación consistente entre la resistencia a la compresión de la mampostería y su módulo de elasticidad.

Sin embargo la mayoría de las medidas de los valores del módulo de elasticidad (E) se encuentran entre 1200 y 700 veces la resistencia a la compresión del muro. El módulo de elasticidad se ve afectado por el diseño de la pared, la fuerza de la unidad de mampostería, el mortero y la mano de obra.

### **5.5.2.4 La conductividad térmica.**

Se define como la tasa de tiempo de flujo de calor desde una superficie a otra. Las unidades de la conductividad térmica de la mampostería dependen de la densidad, la cantidad de humedad presente y el tipo de unidad en general.

### **5.5.2.5 Transferencia de calor.**

Depende de la diferencia de temperatura entre dos materiales, esta transferencia en muros de mampostería se lleva a cabo solo por conducción, en este proceso el calor se transmite entre las partículas adyacentes al muro de mampostería.

### **5.5.2.6 Eflorescencia**

Los ladrillos de arcilla contienen sales solubles que migran con el agua a la superficie, al evaporarse el agua al contacto con el ambiente, estas sales se acumulan en la cara del ladrillo en forma de manchas de cristales blancos. Estos parches irregulares se llaman eflorescencia (es decir, "Sustancia en polvo").

La cantidad de eflorescencia depende del tipo y la cantidad de sales. Estas se presentan con mayor frecuencia en invierno aunque en las zonas costeras pueden ser causadas, principalmente, por las sales marinas.

## 6. ENSAYOS DE LABORATORIO.

Los siguientes ensayos fueron realizados con el fin de especificar ciertas características de los materiales utilizados en la construcción de los muros de mampostería, para ser fallados a esfuerzos cortantes.

### 6.1. Unidades de Mampostería.

Observando que en trabajos de grado anteriores, se han desarrollado los ensayos de compresión de unidades de mampostería y de muros a compresión, se decidió en este trabajo de grado, únicamente realizar el ensayo de absorción de agua, por cuanto se deseaba conocer cuánta agua del mortero es consumida por la pieza individual de mampostería.

#### 6.1.1. Absorción de Agua.

El objetivo principal de este ensayo es determinar la cantidad de agua que alcanza absorber una pieza de mampostería durante veinticuatro (24) horas.

##### 6.1.1.1 Procedimiento.

En primera instancia, se obtiene el peso de las muestras secas ( $W_s \rightarrow$  Peso Seco). Según la Norma Técnica Colombiana (NTC – 451) para unidades de mampostería, se requiere utilizar cinco (5) unidades de mampostería para este fin.

Después de seleccionar las piezas, se sumergen en agua fría a una temperatura de 15°C a 30°C durante veinticuatro (24) horas.

Después de tener las muestras sumergidas, se retiran del recipiente, se secan con una toalla y se pesan ( $W_{ss} \rightarrow$  Peso Sumergido y Suspendido) después de cinco (5) minutos de desarrollar el procedimiento de secado.

##### 6.1.1.2 Datos y cálculos

Para determinar el porcentaje de absorción de una unidad de mampostería, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Absorción(\%) = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \cdot 100$$

En la Tabla 3, se observan los resultados de los diferentes porcentajes de absorción de las unidades de mampostería H - 10.



**Tabla 3. Porcentajes de Absorción en Unidades de Mampostería H - 10.**

Muestra	Peso (kg)		% de Absorción
	Ws	Wss	
1	5.575	6.155	10.40
2	5.790	6.495	12.18
3	5.815	6.525	12.21
4	5.830	6.445	10.55
5	5.676	6.348	11.84
<b>Promedio</b>			11.44

Fuente: Autores.

En la Tabla 4 se observan los resultados de absorción de las unidades de mampostería H – 15, a utilizar para construir los muretes de estas especificaciones.

**Tabla 4. Porcentajes de Absorción en Unidades de Mampostería H – 15.**

Muestra	Peso (kg)		% de Absorción
	Ws	Wss	
1	8.007	8.714	8.83
2	7.952	8.735	9.85
3	7.835	8.690	10.91
4	8.020	8.735	8.92
5	7.740	8.620	11.37
<b>Promedio</b>			9.97

Fuente: Autores.

El porcentaje de absorción de agua de la unidad de mampostería H - 10 que toma de la mezcla de mortero es 11.44%.

En el caso de la unidad de mampostería H – 15 es de 9.97%.

Datos que a la hora de realizar el diseño de mezcla se deben tener en cuenta para determinar la cantidad de agua adicional que se debe agregar a la mezcla de mortero.

## **6.2. Agregado Fino – Arena.**

### **6.2.1. Análisis granulométrico**

El objetivo de este ensayo es determinar el módulo de finura de la arena por medio del porcentaje de agregado que se retiene en los tamices; Estos se encuentran ordenados de mayor a menor diámetro del tamiz. Por otra parte se busca elaborar las gráficas donde se muestra la curva granulométrica.

#### 6.2.1.1 Procedimiento.

Primero se humedece la muestra para evitar o disminuir la pérdida de polvo, luego se obtiene una muestra representativa por cuarteo la cual es llevada al horno en donde será sometida a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante veinticuatro (24) horas.

Se escogen los tamices según la Norma Técnica Colombiana NTC 2240. A continuación se ensamblan los tamices progresivamente de manera descendente. Posteriormente, se coloca el material en el tamiz superior donde será agitado suavemente a mano durante un periodo de tiempo suficiente.

Finalmente se determina el peso retenido en cada tamiz y se calcula el módulo de finura con respecto a la norma técnica colombiana NTC 32.

#### 6.2.1.2 Datos y cálculos

Para obtener un mayor porcentaje de confiabilidad se realizaron tres análisis granulométricos de diferentes muestras del mismo material. Las siguientes ecuaciones son indispensables para establecer el análisis granulométrico.

$w = \text{peso}$

$$W_{\text{retenido}}(\%) = \frac{W_{\text{retenido}}}{W_{\text{total}}} \cdot 100$$

$$W_{\text{retenidotaal}}(\%) = \sum_{w1}^{wn} w$$

$$W_{\text{pasatotal}}(\%) = 100 - W_{\text{retenidotaal}}$$

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\sum W_{\text{retenidotaal}}(\%)}{100}$$

#### **Muestra 1**

Peso de la muestra antes del lavado = 1568.4 g.

Peso de la muestra sacada del horno = 1567.8g.

En la Tabla 5 se determina el porcentaje de agregados retenido en los tamices seleccionados

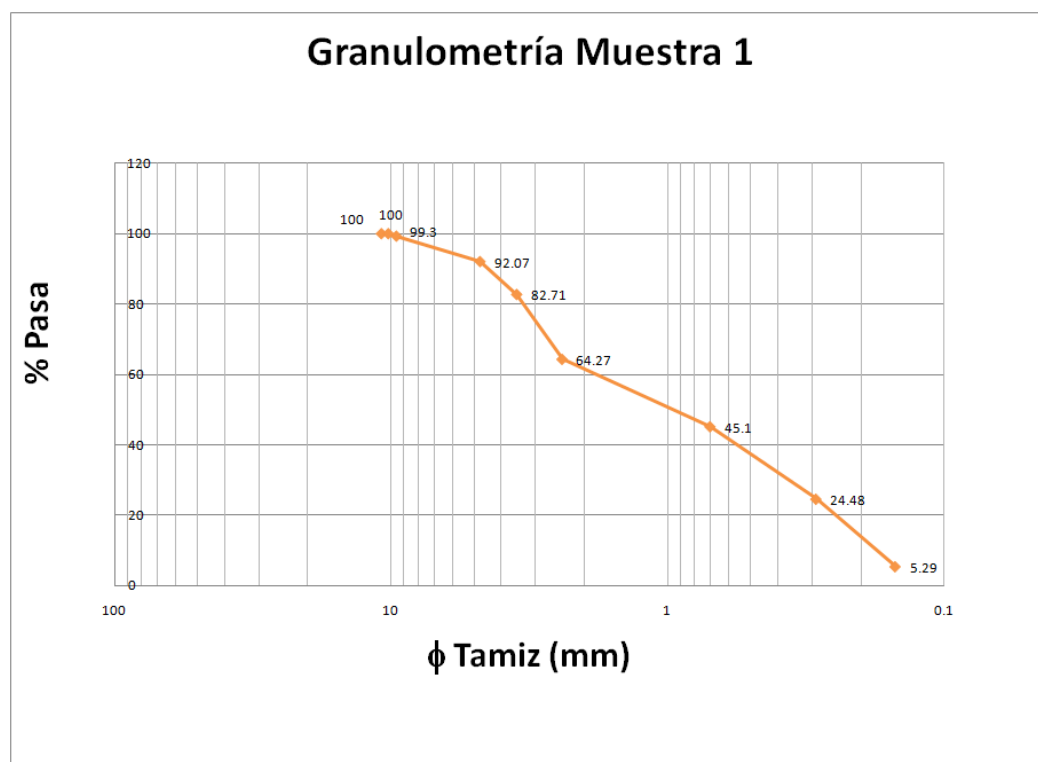
**Tabla 5. Granulometría Agregado Fino Muestra 1.**

Tamiz	tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Total	% Pasa Total
3/4 "	10.80				100
1/2 "	10.20	0.0	0.00	0.00	100
3/8"	9.53	10.9	0.70	0.70	99.30
No 4	4.75	113.4	7.23	7.93	92.07
No 8	3.50	146.7	9.36	17.29	82.71
No 16	2.40	289.1	18.44	35.73	64.27
No 30	0.70	300.5	19.17	54.90	45.10
No 50	0.29	323.4	20.63	75.52	24.48
No 100	0.15	300.8	19.19	94.71	5.29
Fondo		82.9	5.29	100	0
Total		1567.0			

Fuentes: Autores

Módulo de finura = 2.87

La Figura 2 muestra la curva granulométrica donde describe el porcentaje de material que pasa con respecto a los tamices de la Tabla 5.



Fuente: Autores

**Figura 2. Granulometría Agregado Fino Muestra No 1.**

## **Muestra 2**

Peso de la muestra antes del lavado = 1457.4g

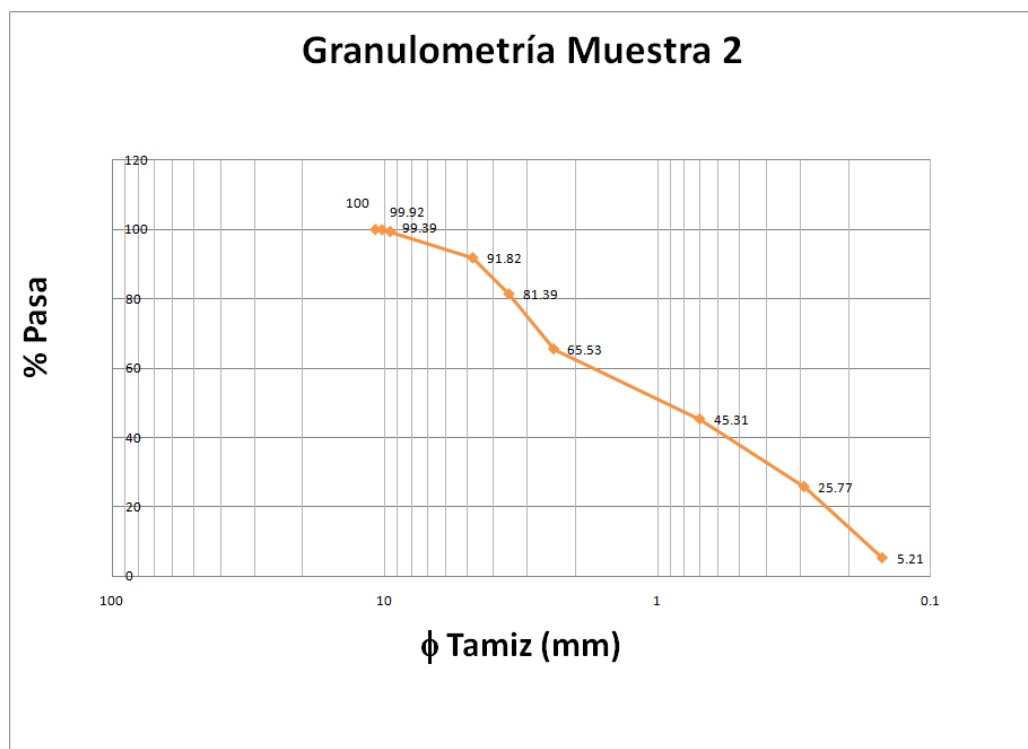
Peso de la muestra sacada del horno = 1455.6g

**Tabla 6. Granulometría Agregado Fino Muestra No. 2.**

Tamiz	tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Total	% Pasa Total
3/4 "	10.8				100
1/2 "	10.2	1.2	0.08	0.08	99.92
3/8"	9.525	7.6	0.5	0.6	99.39
No 4	4.75	110.2	7.6	8.2	91.82
No 8	3.5	151.6	10.4	18.6	81.39
No 16	2.4	230.5	15.9	34.5	65.53
No 30	0.7	294.1	20.2	54.7	45.31
No 50	0.29	284.1	19.5	74.2	25.77
No 100	0.15	298.8	20.6	94.8	5.21
Fondo		75.8	5.2	100	0
Total		1453.9			

Fuente: Autores

**Módulo de finura = 2.86**



Fuente: Autores

**Figura 3. Granulometría Agregado Fino Muestra No. 2.**

### **Muestra 3**

Peso de la muestra antes del lavado = 1624.7g

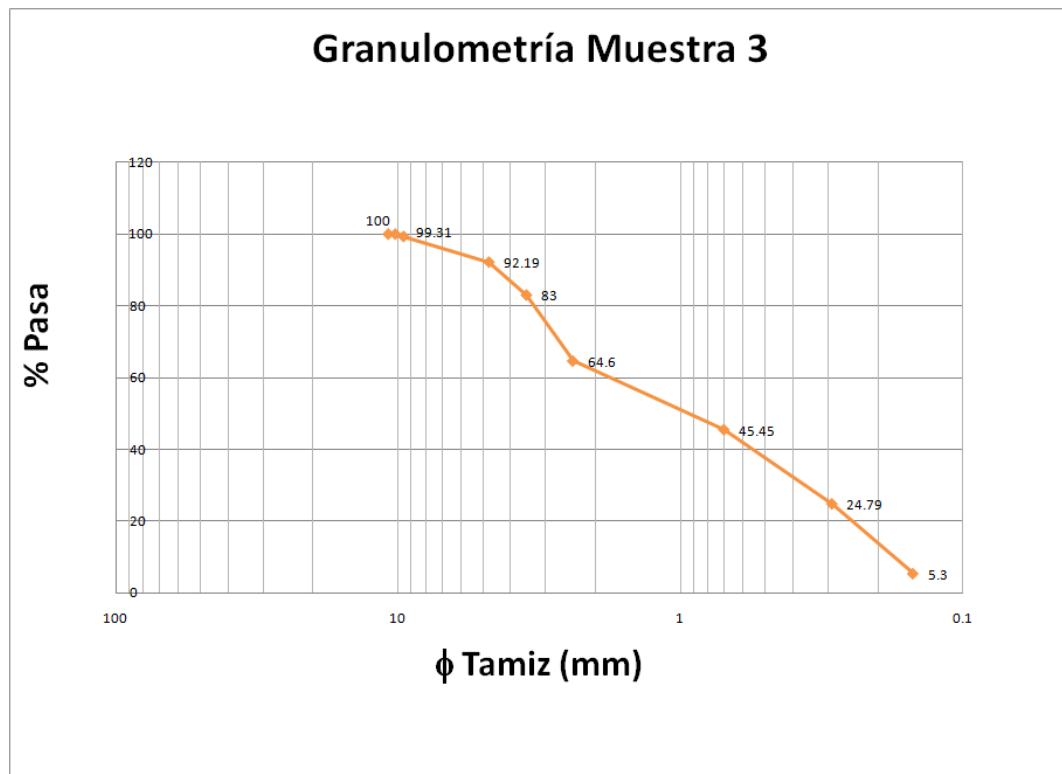
Peso de la muestra sacada del horno = 1622.8g

**Tabla 7. Granulometría Agregado Fino Muestra No. 3**

Tamiz	tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido Total	% Pasa Total
3/4 "	10.8				100
1/2 "	10.2	0	0	0	100
3/8"	9.525	11.2	0.7	0.7	99.31
No 4	4.75	115.3	7.1	7.8	92.19
No 8	3.5	148.9	9.2	17.0	83.00
No 16	2.4	298.1	18.4	35.4	64.60
No 30	0.7	310.4	19.2	54.6	45.45
No 50	0.29	334.6	20.7	75.2	24.79
No 100	0.15	315.8	19.5	94.7	5.30
Fondo		85.9	5.3	100	0
Total		1620.2			

Fuente: Autores

**Módulo de Finura = 2.85**



Fuente: autores

**Figura 4. Granulometría Agregado Fino Muestra No. 3.**

En la Tabla 6, Figura 3, Tabla 7 y Figura 4, se observan los resultados de la granulometría de la muestra No 2 en los primeros dos datos y de la muestra No 3 en los dos últimos datos, respectivamente.

Con los resultados anteriores se puede deducir el módulo de finura del agregado fino. Valor que es indispensable para realizar el diseño de mortero.

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{2.87 + 2.86 + 2.85}{3} = 2.86$$

### **6.2.2. Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de mortero o concretos**

En este ensayo se busca determinar las impurezas que pueden estar presentes en el agregado fino (arenas) utilizado para la preparación de morteros o concretos de cemento hidráulico.

#### **6.2.2.1 Procedimiento**

Se coloca la arena en el frasco de vidrio, como se observa en la Figura 5, hasta obtener un volumen aproximado de 130 ml, luego se le añade la solución de hidróxido de sodio en agua hasta que el volumen de arena y agua sea aproximadamente 200 ml. a continuación se tapa el frasco y se agita.

Finalmente se deja reposar la muestra durante 24 horas para comparar el color obtenido con el de la regla colorimétrica (Figura 5).



Fuente: autores

**Figura 5. Evaluación Colorimétrica del Agregado Fino.**

#### 6.2.2.2 Datos y cálculos

En la Tabla 8 se muestran los diferentes colores que se pueden presentar al realizar este ensayo según la Norma técnica exigida por el Instituto Nacional de Vías I.N.V. E – 212 – 07

**Tabla 8. Escala Colorimétrica para el Agregado Fino.**

COLOR	ESCALA GARNER	Nº REFERENCIA
Amarillo claro	5	1
Amarillo oscuro	8	2
Ámbar	11	3(patcón)
Ámbar oscuro	14	4
Negro	16	5

Fuente: BARRIOS JARAMILLO, Luis Hebert. Manual de ensayo de laboratorio mampostería estructural. Universidad de los Andes.1998

El resultado de la prueba es color amarillo claro como lo muestra la Figura 5; Esto indica que el número de referencia es 1 según la Tabla 8, tomada de la norma I.N.V. E – 212.

Debido a esto el contenido de materia orgánica no es perjudicial para el agregado ya que el valor es inferior a 3.

#### 6.2.3. Peso específico del agregado fino.

Este laboratorio tiene como objetivo principal determinar el peso específico y la absorción del agregado fino con respecto a la Norma Técnica Colombiana NTC 237.

##### 6.2.3.1 Procedimiento

Se toma una muestra patrón a la cual se le realiza el proceso de cuarteo, posteriormente se sumerge una porción del material fraccionado en un recipiente durante un tiempo veinte-cuatro horas (24).

Luego se extiende la arena sometiéndola a corrientes de aire caliente para obtener un secado uniforme o que el material se encuentre en condiciones superficialmente secas.

Después se introduce una capa del material en un molde cónico, donde se deja caer un compactador sobre la arena durante veinticinco (25) veces; este procedimiento se repite 3 veces, seguidamente se enrasa el material de manera paralela a la superficie del molde.

Se eleva el molde verticalmente; si el material conserva su forma es porque existe humedad superficial. Posteriormente Se repite el ensayo varias veces hasta que el material se derrumbe ligeramente al quitar el

molde. Esto informa que el material se encuentra en condición superficialmente seca.

Se dirige al laboratorio para hallar el peso específico con la ayuda de un picnómetro se le adiciona agua a una temperatura de 23° C, teniendo en cuenta la normativa, hasta la marca de calibración. Después se pesan los materiales mencionados y en seguida se desaloja el agua hasta más o menos la mitad del recipiente.

De nuevo, se lleva hasta una balanza para tarar y agregarle 500 g del material previamente seco.

Después en un platón se recoge la muestra y se lleva al horno durante un periodo de veinticuatro horas (24).

Finalmente se pesa el material seco y se pesa el platón para restarle el peso y obtener el valor de la muestra seca.

#### 6.2.3.2 Datos y cálculos

Las siguientes ecuaciones son indispensables para calcular los datos correspondientes.

##### Peso de la muestra saturada con superficie seca

$$W = \text{Peso muestra seca} - \text{peso platón}$$

##### Peso específico S.S.S

$$Pe = \frac{W1}{Wa + W - Wp}$$

Donde:

- W → peso de la muestra (g).
- Pe → Peso específico.
- Wa → Peso del picnómetro llena con agua (g).
- W1 → Peso de la muestra secada al horno (g).
- Wp → Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g).

##### Peso específico aparente seco

$$Pa = \frac{W1}{Wa + W1 - Wp}$$

Donde:



Pa → Peso específico aparente seco

#### Peso específico bulk sss

$$Peso\ bulk\ sss = \frac{W}{W_a + W - W_p}$$

#### Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{W - W_1}{W_1} \cdot 100$$

#### **Muestra 1**

En la Tabla 9, se ven reflejados los valores correspondientes a los pesos de las muestras, como las gravedades específicas. Estos valores fueron encontrados con respecto a la Norma Técnica Colombiana NTC 237

**Tabla 9. Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 1.**

Nombre	Valor (g)
Peso al aire de la muestra seca (W1)	493.21
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (Wa)	620.3
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (Wp)	933.7
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (W)	500.2
Pesos específicos	Valor (g/cm <sup>3</sup> )
Peso específico aparente	2.743
Peso específico de bulk S.S.S	2.677
Peso específico bulk	2.640
Nombre	Valor (%)
Absorción	1.417

Fuente: Autores

#### **Muestra 2**

Los resultados de los pesos específicos obtenidos en la muestra No 2, se muestran en la Tabla 10.

Es importante anotar aquí que los pesos específicos se determinan para tener una relación entre peso y volumen, ya que los diseños de mezcla que se desarrollan tanto para el mortero de pega, como para el concreto, se utiliza es la relación de volumen entre todos los materiales y con esta propiedad se convierte en peso.

**Tabla 10. Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 2.**

Nombre	Valor (g)
Peso al aire de la muestra seca (W1)	496.8
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (Wa)	621.3
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (Wp)	945.7
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (W)	501.8
Pesos específicos	Valor (g/cm <sup>3</sup> )
Peso específico aparente	2.882
Peso específico de bulk S.S.S	2.829
Peso específico bulk	2.800
Nombre	Valor (%)
Absorción	1.006

Fuente: Autores

### **Muestra 3**

En la Tabla 11, se observan los datos correspondientes de la muestra 3

**Tabla 11. Resultados de Peso Específico Agregado Fino Muestra No. 3.**

Nombre	Valor (g)
Peso al aire de la muestra desecada (W1)	494.8
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (Wa)	617.3
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua (Wp)	952.7
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (W)	500.6
Pesos específicos	Valor (g/cm <sup>3</sup> )
Peso específico aparente	3.10
Peso específico de bulk S.S.S	3.03
Peso específico bulk	2.99
Nombre	Valor (%)
Absorción	1.17

Fuente: Autores

Como la muestra utilizada es la misma se puede obtener un promedio entre los diferentes pesos específicos, debido a que este valor es indispensable para el diseño de mezcla. Además se puede calcular también cuanto es el porcentaje promedio de absorción de agua entre las tres mezclas.

$$\text{Peso específico bulk promedio} = \frac{2.64 + 2.80 + 2.99}{3} = 2.79$$

$$\text{Peso específico bulk promedio} = 2.79 \text{ g/cm}^3$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{1.17 + 1.006 + 1.417}{3} = 1.198$$

$$\% \text{ Absorción} = 1.198\%$$

### 6.3. Cemento

#### 6.3.1. Densidad del cemento hidráulico

El objetivo de este ensayo es determinar la densidad del cemento. Según la Norma técnica exigida por el Instituto Nacional de Vías I.N.V.E – 307.

##### 6.3.1.1 Procedimiento

Se llena el frasco patrón de Le Chatelier con kerosene o nafta hasta un punto situado entre las marcas 0 y 1 ml. Seguidamente se verifica que el interior del frasco, ubicado por encima del líquido este totalmente seco.

Se toma la primera lectura cuando el frasco se encuentre sumergido en un baño de agua con la misma temperatura de calibración, como se muestra en la Figura 6, para evitar variaciones mayores a 0.2° C dentro del líquido del frasco. Luego, se le agrega cemento portland aproximadamente 64 g, sin que se adhiera a las paredes del frasco por encima del líquido; Si es necesario se puede utilizar vibrador para acelerar la adición de cemento dentro del frasco.

Después de agregado todo el cemento se tapa girándolo en posición inclinada o en círculo horizontal hasta que no ascienda la burbuja en la superficie y se realiza la lectura correspondiente.



Fuente: Autores

**Figura 6. Frasco de Le Chatelier Densidad del Cemento.**

#### 6.3.1.2 Datos y cálculos

Para determinar la densidad del cemento hidráulico se utilizan las siguientes ecuaciones

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa de Cemento}(g)}{\text{Volumen Desplazado}(cm^3)}$$

$$\text{Volumen desplazado} = \text{lectura final} - \text{lectura inicial}$$

$$\underline{\text{Lectura inicial} = 0,5 \text{ ml}}$$

$$\underline{\text{Lectura final} = 21.6 \text{ ml}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{64g}{(21.6 - 0.5)cm^3} = 3.033 \frac{g}{cm^3}$$

#### 6.4. Fluidez

El objetivo de este ensayo es determinar la fluidez del cemento hidráulico por medio de la mesa de flujo con respecto a la Norma Técnica Colombiana NTC 111

##### 6.4.1.1 Procedimiento

Primero se limpia la plataforma asegurándose que se encuentre totalmente seca para evitar posibles errores. Paralelamente, se centra el molde y se añade una capa de mortero, la cual se va a compactar con unos 20 golpes uniformemente distribuidos.

Después se le agrega una segunda capa de mortero que llene totalmente el molde y se compacte como en la primera; el compactador debe tener una presión que proporcione uniformemente el llenado del molde.

Se enrasa y se alisa la capa superior por medio de un palustre colocándolo de manera perpendicular sobre la superficie de la muestra, como se muestra en la Figura 7.

Al cabo de un minuto de terminada la operación de mezclado se retira el molde de manera vertical sin girarlo. Consecutivamente se deja caer la plataforma desde una altura de 12.5 mm sobre la mesa, veinticinco (25) veces en un periodo de 15 segundos.

Finalmente se miden cuatro diámetros de la base de la muestra uniformemente distribuidos y se calcula el diámetro promedio.

Es recomendable realizar este procedimiento varias veces para obtener un valor confiable en los cálculos.



Fuente: Autores

**Figura 7. Mesa de Flujo.**

#### 6.4.1.2 Datos y cálculos

Las siguientes ecuaciones son indispensables para realizar los cálculos correspondientes.

$\phi_{prom} = \text{diámetro promedio}$

$$\phi_{prom} = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4 + \dots + \phi_n}{n}$$

$$\% \text{Fluidez} = \frac{(\phi_{prom} - \text{Base mayor})}{\text{Base mayor}} \cdot 100$$

En la Tabla 12, se muestran los valores correspondientes de los diámetros tomados de la plataforma de la mesa de flujo.

**Tabla 12. Resultados Ensayos de Fluidez.**

Muestras	Diámetros (cm)				Diámetro promedio (cm)	Base Mayor (cm)	% Fluidez	% Fluidez promedio
1	19	19.8	20.2	21.6	20.15	10	101.5	105.5
2	21.8	20.6	21.2	20.2	20.95	10	109.5	
3	20.4	20.1	20.6	21.2	20.58	10	105.8	
4	20.6	20.3	20.4	20.8	20.52	10	105.2	

Fuente: autores

El porcentaje de fluidez obtenido es de consistencia media (plástica) esto implica que es utilizado para pega de mampostería, baldosines, pañetes entre otros.

## 6.5. Diseño de morteros

El objetivo de este ensayo es realizar el diseño de morteros con ayuda de los datos obtenidos en los ensayos anteriores teniendo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 3329

### 6.5.1. Paso I.

Se determina la resistencia a la compresión. Esta resistencia es indispensable para establecer el comportamiento del mortero en relación a la consistencia, resistencia y tamaños existentes.

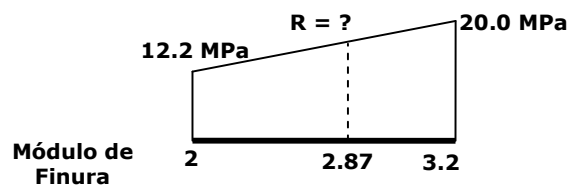
La Tabla 13, se muestra la resistencia a la compresión con respecto a la relación cemento: arena, módulo de finura y tipo de arena.

**Tabla 13. Resistencia a la Compresión Morteros de Pega.**

Relación Cemento : Arena	Arena sin lavar (MPa)	Arena lavada (MPa)		
	Módulo de Finura			
	1.6	1.4	2	3.2
1: 3	7.6	9.4	14.1	31.0
1:4	6.8	8.4	12.2	20.0
1:5	6.0	7.3	10.3	13.5
1:6	5.2	6.2	8.4	10.0

Fuente: BARRIOS JARAMILLO, Luis Hebert. Manual de ensayo de laboratorio mampostería estructural. Universidad de los Andes.1998

Con respecto a los ensayos anteriores el módulo de finura equivale a 2.87. Para determinar el valor de la resistencia a la compresión, se debe hacer una interpolación en la relación cemento arena 1: 4. A continuación, en la Figura 8 se muestran los datos para realizar este cálculo:



Fuente: Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas.

**Figura 8. Determinación Resistencia a la Compresión**

A continuación se muestran los cálculos de la interpolación graficada en la Figura 8:

$$\frac{20 - 12.2}{3.2 - 2} = \frac{R - 12.2}{2.87 - 2}$$

$$R = 12.2 + \frac{20 - 12.2}{3.2 - 2} \cdot (2.87 - 2) = 17.855 \text{ MPa}$$

La relación tomada cemento: arena es 1:4. Esto implica según la interpolación realizada, que se tiene una resistencia a la compresión de 17.855 MPa.

### 6.5.2. Paso II.

Se determina el tipo de mortero con respecto a la resistencia a la compresión para saber las características presentes.

La Tabla 14 presenta el tipo de mortero con relación a la resistencia a la compresión, flujo mínimo y retención de agua para morteros de pega.

**Tabla 14. Tipo de Mortero**

<b>Mortero tipo</b>	<b>Resistencia a la compresión <math>f'_{cp}</math> Mpa</b>	<b>Flujo mínimo (%)</b>	<b>Retención mínima de agua (%)</b>
M	17.5	120	75
S	12.5	115	75
N	7.5	110	75

Fuente: NSR 98, Capítulo D.3.4

Como la resistencia a la compresión es 17.855 MPa esto implica que el tipo de mortero que se utiliza es el tipo M.

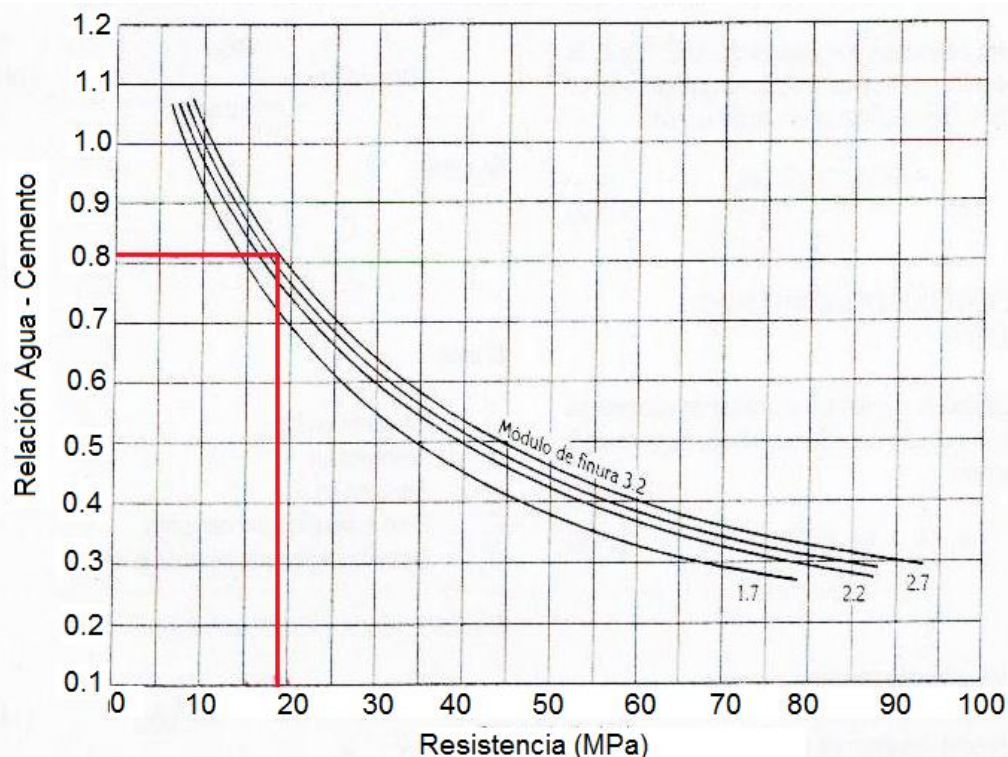
### 6.5.3. Paso III.

Se calcula la relación agua-cemento (A/C), con respecto a la resistencia y el módulo de finura

En la Figura 9, se muestra la relación agua-cemento con respecto a la resistencia de 17.855 MPa, obtenida en el numeral 6.5.2 de este documento.

Es importante anotar que no se cuenta con fórmulas específicas para determinar la relación agua cemento del material, se cuenta con estas gráficas, que hacen que el cálculo sea muy empírico.

Se recomienda en este trabajo de grado, que se pueden realizar tabulaciones propias, para determinar esta relación Agua – Cemento (A/C), dependiendo del módulo de finura y la resistencia a la compresión requerida para el mortero de pega del murete de mampostería a construir.



Fuente: Sánchez de Guzmán Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pág. 312.

**Figura 9. Relación Agua – Cemento (A/C) Mortero.**

De la Figura 9, se puede observar que la Relación agua-cemento para el mortero particular de este trabajo de grado es aproximadamente,  $(A/C) = 0.81$ .

#### 6.5.4. Paso IV

Se clasifica la consistencia del mortero según el porcentaje de flujo, que este presenta.

La Tabla 15, se muestra la consistencia del mortero respecto a la fluidez y el tipo de estructura.

**Tabla 15. Consistencia del Mortero.**

Consistencia	Fluidez	Tipo de estructura
Dura (seca)	80 - 100	Pisos, pantallas de cimentación, reparticiones
Media (plástica)	100 – 120	Pega de mampostería, baldosines, pañetes revestimientos
Fluida (húmeda)	120 -150	Pañetes, rellenos de mampostería estructural.

Fuente: BARRIOS JARAMILLO, Luis Hebert. Manual de ensayo de laboratorio mampostería estructural. Universidad de los Andes.1998



De acuerdo a la Tabla 15 y los datos obtenidos en la Tabla 12, la consistencia del mortero es media (plástica)

#### 6.5.5. Paso V.

Se calcula el contenido de cemento por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{n}{\gamma_a} + \frac{A}{C}}$$

Donde

$\gamma_c \rightarrow$  Peso específico del cemento.

$\gamma_a \rightarrow$  Peso específico del agregado fino.

$n \rightarrow$  Cantidad de agregado fino, para el diseño.

$\frac{A}{C} \rightarrow$  Relación agua cemento.

Por lo tanto;

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{3.033} + \frac{4}{2.79} + 0.81} = 388.730 \text{ kg/m}^3$$

#### 6.5.6. Paso VI

Se determina el contenido de agua con la ayuda de la siguiente ecuación.

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

Donde

$\frac{A}{C} =$  Relación agua cemento, de la Figura 9.

$C =$  Contenido de cemento.

Por lo tanto:

$$A = 0.81 * 388.730 = 314.871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### 6.5.7. Paso VII.

Se estima el contenido de arena utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Masa Agregado Fino} = n \cdot C$$

Donde

n = Cantidad de agregado fino presente en la mezcla.

C = contenido de cemento.

Entonces;

$$\text{Masa Agregado Fino} = 4 * 388.60 = 1554.922 \frac{kg}{m^3}$$

En este punto se puede realizar un resumen de las cantidades de material a utilizar en el diseño de mezcla de mortero, sin realizar el ajuste de agua correspondiente, en la Tabla 16 se observan estos datos:

**Tabla 16. Cantidades de Materiales Sin Ajuste de Agua.**

Material	Peso (kg)	Peso específico (kg/m³)	Volumen(m³)
Cemento	388.730	3033	0.128
Agregado Fino	1554.922	2791.795	0.557
Agua	314.871	1000	0.315

Fuente: Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas.

### 6.5.8. Paso VIII

En este punto particular, se requiere conocer la humedad del agregado fino, la absorción del mismo y la absorción de la unidad de mampostería, para saber que cantidad real de agua se le debe adicionar a la mezcla, para que se obtenga la resistencia a la compresión requerida en el diseño.

#### 6.5.8.1 Humedad del Agregado Fino.

En esta sección, se determina el porcentaje de humedad que naturalmente tienen los agregados, al momento de realizar el diseño de mezcla. A continuación se muestra el cálculo tipo para esta expresión:

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

#### 6.5.8.2 Porcentaje de Agua que aporta el Agregado Fino.

Como los agregados finos o gruesos, tienen naturalmente un porcentaje de absorción propio, se debe tener en cuenta este mismo, para poder establecer si se debe agregar más agua o quitar agua de la que se había determinado en el punto inicial.

$$\text{Agua en Agregado Fino} = (\text{Humedad} - \text{Absorción})\%$$

#### 6.5.8.3 Masa de Agua del Agregado Fino.

Con el porcentaje obtenido en el numeral 6.5.8.2, se procede a determinar la cantidad de agua (kg) que se debe adicionar o sustraer a la mezcla.

$$\text{Masa Agua Agregado Fino} = \text{Masa Agregado Fino} \cdot \frac{\text{Agua Agregado Fino}}{100}$$

#### 6.5.8.4 Cantidad de Agua Ajuste del Agregado Fino.

En este punto se tiene en cuenta la cantidad de agua real que se adiciona a la mezcla, en el numeral 6.5.6, se determinó la cantidad de agua a adicionar en la mezcla de mortero, a este valor se le sustrae la masa de agua del agregado fino, determinada en el numeral 6.5.8.3.

$$\text{Peso del Agua}_{\text{Ajuste Agregado Fino}} = A - \text{Masa Agua Agregado Fino}$$

En esta parte, ya realizando el ajuste de la cantidad de agua por la que aporta el agregado fino, se puede obtener el peso real de agregado fino que se debe adicionar al mortero de la siguiente manera:

$$\text{Peso Agregado Fino} = \text{Peso Agregado Fino}_{\text{Inicial}} \cdot \left(1 + \frac{\% \text{ Humedad}}{100}\right)$$

#### 6.5.8.5 Cantidad de Agua Mezcla.

En los numerales anteriores se tuvo en cuenta el cálculo del ajuste de agua, teniendo en cuenta la absorción y la humedad del agregado fino, en este numeral se tendrá en cuenta la absorción que hace la unidad de mampostería, para determinar, que cantidad de agua se debe adicionar para no perder agua en la absorción de las unidades de mampostería.

En la Tabla 3 y Tabla 4, se observan los resultados de absorción de unidades de mampostería H – 10 y H -15, respectivamente. A continuación se muestra la ecuación con la cual se obtiene la cantidad de agua final para cada tipo de unidad de mampostería.

$$\text{Peso del Agua}_{\text{AjusteTotal}} = \text{Peso del Agua}_{\text{Ajuste Agregado Fino}} \cdot \left( 1 + \frac{\% \text{Absorción Unidad Mampostería}}{100} \right)$$

#### 6.5.8.6 Cálculos.

$$\text{Absorción Agregado Fino} = 1.41\%$$

$$\text{Absorción Unidad H - 10} = 11.44\%$$

$$\text{Absorción Unidad H - 15} = 9.97\%$$

$$\text{Peso del agregado fino antes de secado (Pi)} = 1640 \text{ kg.}$$

$$\text{Peso del agregado fino secado al horno (Pf)} = 1567.8 \text{ kg.}$$

$$A = 314.871 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (numeral 6.5.6)}$$

$$\% \text{Humedad} = \frac{1640 - 1567.8}{1640} \cdot 100 = 4.40\%$$

$$\text{Agua en Agregado Fino} = (4.40 - 1.41)\% = 2.99\%$$

$$\text{Masa Agregado Fino} = 1554.922 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (Numeral 6.5.7)}$$

$$\text{Masa Agua Agregado Fino} = 1554.922 \cdot \frac{2.99}{100} = 46.53 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del Agua}_{\text{Ajuste Agregado Fino}} = 314.871 - 46.53 = 268.34 \text{ kg}$$

$$\text{Peso Agregado Fino} = 1554.922 \cdot \left( 1 + \frac{4.40}{100} \right) = 1623.339 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del Agua}_{\text{AjusteTotal}} \text{ H - 10} = 268.34 \text{ kg} \cdot \left( 1 + \frac{11.44}{100} \right) = 299.039 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del Agua}_{\text{AjusteTotal}} \text{ H - 15} = 268.34 \text{ kg} \cdot \left( 1 + \frac{9.97}{100} \right) = 295.094 \text{ kg}$$

En la Tabla 17 se muestra el resumen de los resultados después de realizar el ajuste de agua por los agregados y la absorción de la unidad de mampostería H -10.

**Tabla 17. Cantidades de Material Ajuste de Agua Unidad H – 10.**

Material	Peso (kg)	Peso especifico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen(m <sup>3</sup> )
Cemento	388.730	3033	0.128
Agregado Fino	1623.339	2791.795	0.557
Agua	299.039	1000	0.315

Fuente: autores

En la Tabla 18, se muestra las cantidades de material ajustadas para la unidad de mampostería H -15.

**Tabla 18. Cantidades de Material Ajuste de Agua Unidad H – 15.**

Material	Peso (kg)	Peso especifico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen(m <sup>3</sup> )
Cemento	388.730	3033	0.128
Agregado Fino	1623.339	2791.795	0.557
Agua	295.094	1000	0.315

Fuente: autores

En la Figura 10 se muestra la preparación del mortero con respecto a los cálculos anteriores.



Fuente: Autores

**Figura 10. Preparación del Mortero de Pega de los Muretes**

#### **6.6. Ensayo a la resistencia de compresión de morteros.**

El objetivo de este ensayo es analizar la resistencia máxima del mortero, Comprobando si los moldes de mortero de pega cumplen con los

requisitos empleados en el diseño realizado en el numeral 6.5 del presente documento.

#### **6.6.1. Procedimiento.**

Se asegura que los moldes se encuentren limpios, luego se le aplica un aceite mineral o grasa lubricante en cada uno de los compartimientos.<sup>11</sup>

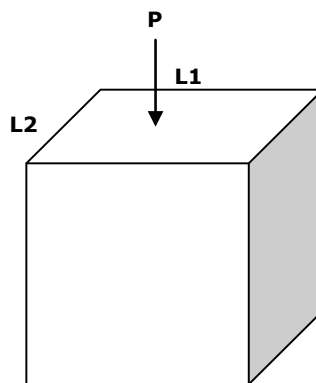
A continuación, se coloca el molde en una placa plana no absorbente la cual debe estar cubierta con una pequeña capa de aceite.

Se toma una cantidad suficiente de mortero para llenar los tres cubos esto se hace después de dos minutos y medio de haber terminado la mezcla de mortero.

En cada molde se coloca una capa de 25 mm y se compacta con 32 golpes durante 10 segundos. Estos golpes se dan en 4 etapas cada etapa debe darse en dirección perpendicular a la anterior. Después de terminada la operación se le coloca la segunda capa y se realiza el procedimiento anterior.

Al finalizar la compactación se enrasa o alisa la superficie del mortero con la ayuda de un palustre. Luego se dejan en curado hasta el día que se vayan a probar.

Finalmente se ensayan los cubos durante el tiempo estipulado de fraguado centrándolo en la máquina de ensayo y comprobando que las paredes del cubo que están sometidas a presión sean las que estuvieron en contacto con las paredes del molde, como se muestra en la Figura 11.



Fuente: Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas

**Figura 11. Dimensiones de las muestras de resistencia a la compresión del mortero.**

Cada lado de los cubos de mortero se tomaron en mm.

---

<sup>11</sup> NTC 220 – Resistencia a la Compresión de Cubos de Mortero. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

La fuerza máxima aplicada a las muestras se tomó en kN.

Se anotaron los valores máximos que da la máquina para hacer los respectivos cálculos:

$$\sigma \text{ (Mpa)} = \frac{\text{resistencia} * 1000}{L1 * L2}$$

L1: lado 1 de la cara donde se enraza el espécimen

L2: lado 1 de la cara donde se enraza el espécimen

#### 6.6.2. Datos y Cálculos.

En el ANEXO 1, se encuentran los datos puntuales de cada uno de los datos tomados para cada día de muestras.

En la Tabla 19, se observa el resumen de la resistencia a la compresión de los cubos de lado de aproximadamente 50 mm y la carga que se obtuvo en el laboratorio de ingeniería civil de la Facultad.

**Tabla 19. Resistencia a la Compresión de Mortero.**

Muestra No	$\sigma$ (MPa)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
1	4.713	8.048	10.309	17.073
2	5.038	6.993	10.444	17.876
3	5.035	8.023	11.273	17.783
Promedio	4.929	7.688	10.675	17.577

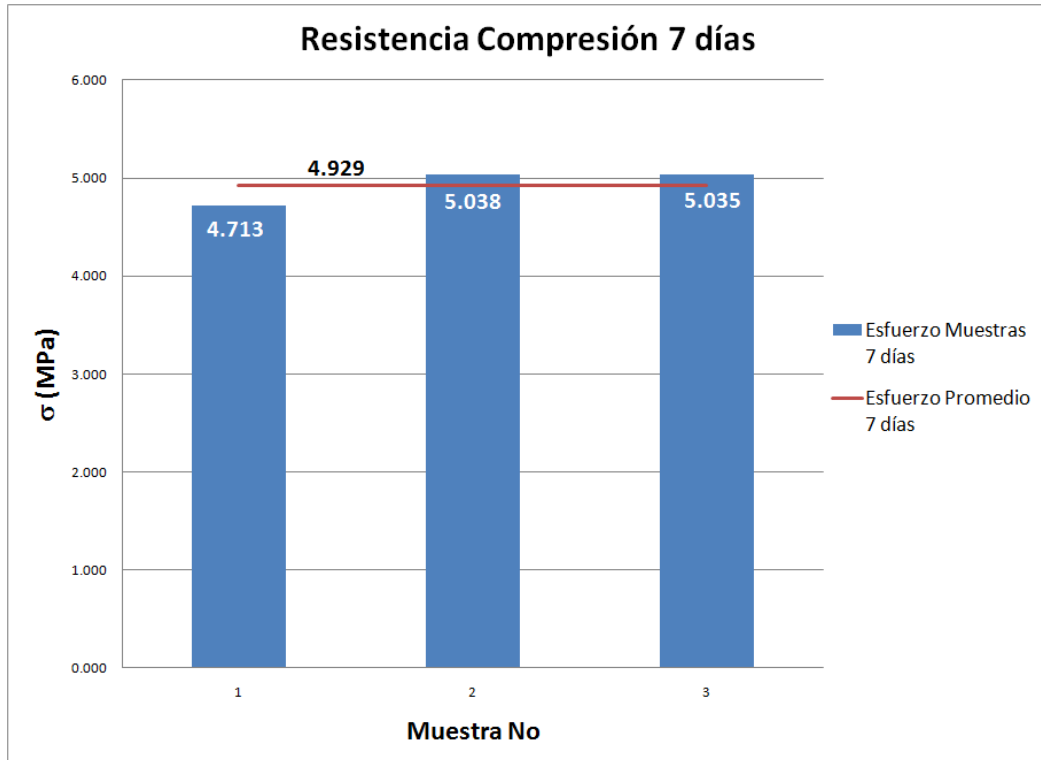
Fuente: Autores

En la Figura 12, Figura 13, Figura 14 y Figura 15, se muestran los esfuerzos de compresión y los promedios de cada una de los especímenes que se probaron a los siete (7), catorce (14), veintiuno (21) y veintiocho (28) días de realizados.

En la Figura 16 se muestran los resultados de los promedios de esfuerzos de compresión versus los días de realizadas las muestras, de tal manera que se observa el crecimiento en el esfuerzo a través de los días.

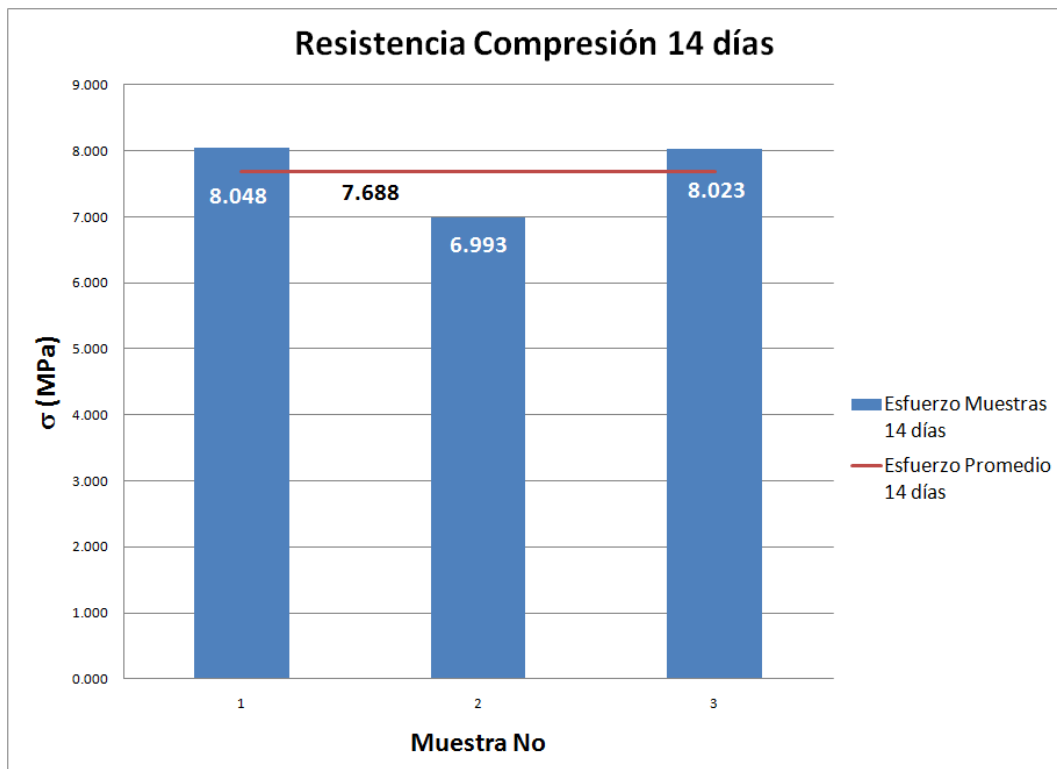
Es importante anotar que el esfuerzo en el último día 17.577 MPa es mayor que el esfuerzo que debe tener como mínimo el mortero de pega, 17 MPa, valor exigido por las normativas NTC 220, de tal manera que sea un mortero tipo M.

Este valor debe tener el mortero de pega, de tal manera que trabajando en conjunto con las unidades, aporte la resistencia necesaria para poder obtener una falla que va en forma recta y no escalonada en los muretes.



Fuente: Autores.

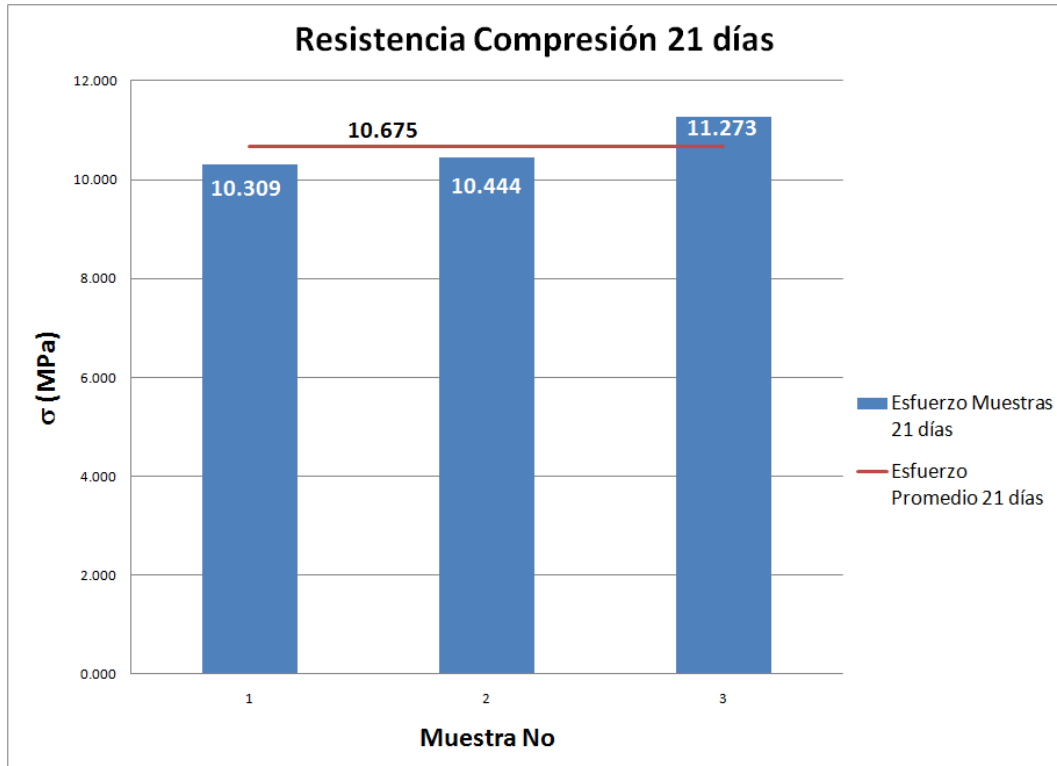
**Figura 12. Resistencia a la compresión a los 7 días de fabricados.**



Fuente: Autores

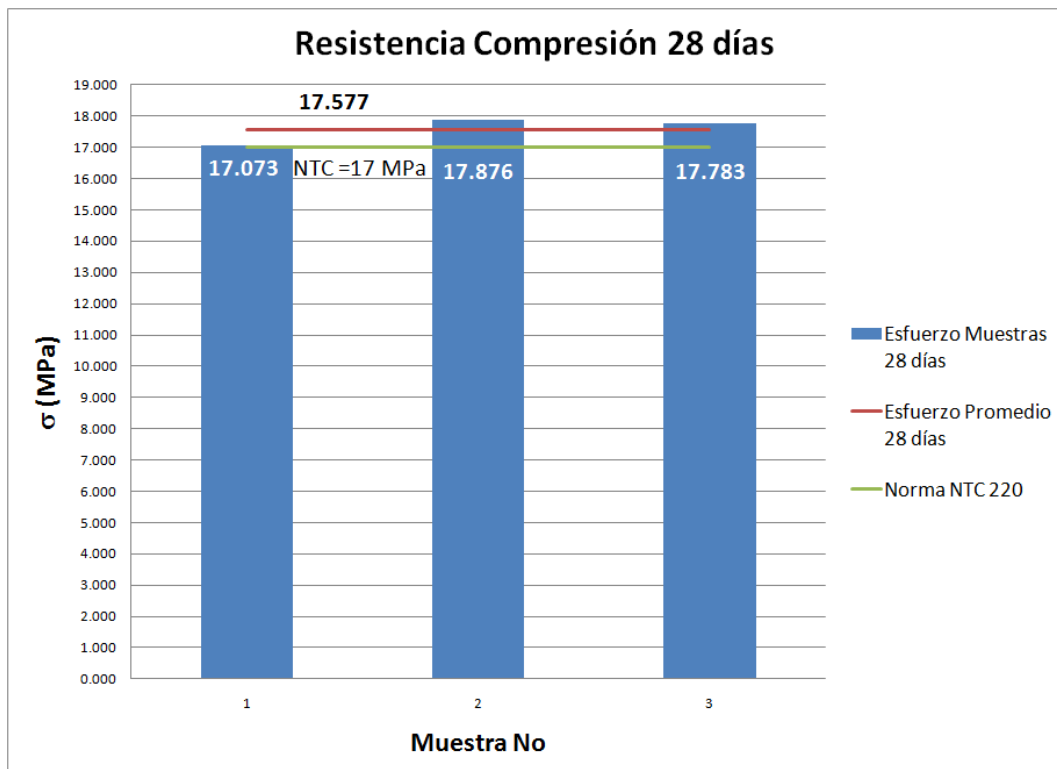
**Figura 13. Resistencia a la Compresión a los 14 días de fabricados.**





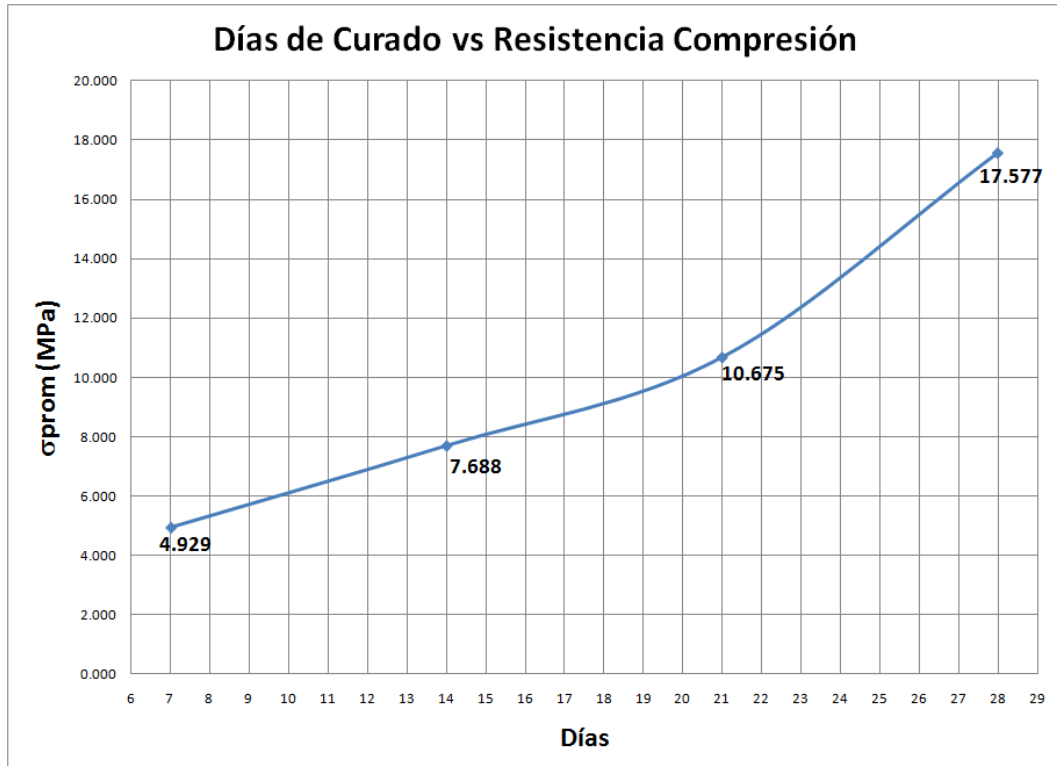
Fuente: Autores

**Figura 14. Resistencia a la Compresión a los 21 días de fabricados.**



Fuente: Autores

**Figura 15. Resistencia a la Compresión a los 28 días de fabricados.**



Fuente: Autores

**Figura 16. Días de curado vs resistencia a la compresión en cubos de mortero.**

## **7. CORTE DIAGONAL EN MURETES DE MAMPOSTERÍA H-10 Y H-15.**

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a tensión diagonal o cortante de muretes de mampostería no reforzada. Cargándolo en compresión a lo largo de una diagonal.

### **7.1. Procedimiento**

Se inicia la construcción del murete de mampostería este tiene una longitud recomendada de 1.2 m, pero si la máquina universal no soporta una diagonal de 1.697 m, se pueden realizar con unas dimensiones diferentes. En el caso particular del trabajo de grado se decidió realizar los muretes de 0.75 m x 0.75 m, de tal manera que la diagonal presentara una dimensión de aproximadamente 1 m.

#### **7.1.1. Construcción de los muretes**

Es importante anotar que en la etapa de construcción, se decidió que la brecha de mortero tuviera un (1) cm de espesor, por lo cual, se debían cortar algunas unidades de tal manera que se lograra la longitud total en ancho y alto del murete de 0.75 m.

En la Figura 17, se muestran las especificaciones de las dimensiones que fueron tabuladas para poder determinar la sección que se debe utilizar en las ecuaciones para obtener el corte diagonal en muretes.

En el Anexo 2, se muestran las dimensiones de h, v, e, L1 y L2 de todos los muretes, tomados en varios sitios, para poder determinar un promedio.

En la Figura 17, los datos tomados son:

a = Ancho (mm).

b = Alto (mm).

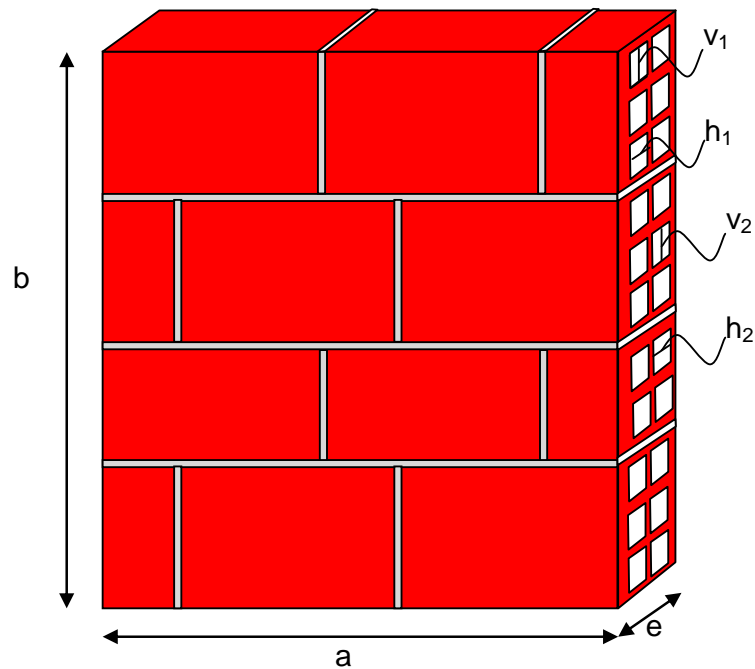
e = Espesor del murete (mm).

$h_1$  = Longitud horizontal del orificio de la primera columna (mm).

$v_1$  = Longitud vertical del orificio de la primera columna (mm).

$h_2$  = Longitud horizontal del orificio de la segunda columna (mm).

$v_2$  = Longitud vertical del orificio de la segunda columna (mm).



Fuente: Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas

**Figura 17. Especificación Dimensiones de los Muretes.**

Los materiales se ubicaron en la entrada del Laboratorio de Estructuras del Bloque I de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, allí se encontraba la arena con la cual se desarrolló el mortero y las unidades de mampostería con las cuales se construyó el murete posteriormente, como se observa en la Figura 18.



Fuente: Propia

**Figura 18. Almacenamiento de Materiales.**

Antes de iniciar la construcción de los muretes se debe desarrollar la mezcla de mortero de pega, de tal manera que se construyan el

especimen a velocidad rápida para aprovechar la fluidez de la mezcla de mortero, como se observa en la Figura 19.



Fuente: Propia

**Figura 19. Mezcla de Mortero de Pega.**

Para lograr que las dimensiones de los muretes de mampostería fueran 75 cm (setenta y cinco centímetros) en base y altura del muro, se cortaron algunas unidades para obtener las dimensiones deseadas, como se muestra en la Figura 20.



Fuente: Propia

**Figura 20. Corte Unidades de Mampostería.**



En la Figura 21, se muestra el inicio de la construcción del murete de mampostería a ser fallado por corte diagonal, aquí se está construyendo la primera hilada del murete de mampostería.



Fuente: Autores.

**Figura 21. Primera Hilada de Unidades de Mampostería.**

Después de contruidos los muretes, por último se procede a ubicarlos en un sitio en el cual se puedan curar, durante los 28 días que se espera para fallarlos, como se observa en la Figura 22



Fuente: Propia.

**Figura 22. Muretes Terminados.**

Después de construido el murete se espera el tiempo de fraguado (28 días), durante este tiempo se realiza el proceso de curado para conservar la adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería.

### 7.1.2. Ensayo de Corte Diagonal en Muretes.

Se describe específicamente este procedimiento, por cuanto es el más importante para obtener los resultados del Trabajo de Grado.

Cuando se finaliza el tiempo de fraguado se transporta el muro desde el sitio de construcción hasta el lugar del ensayo. Posteriormente se coloca el murete en la máquina de ensayo instalando con anterioridad las platinas una superior y otra inferior y los neoprenos, como se observa en la Figura 23.

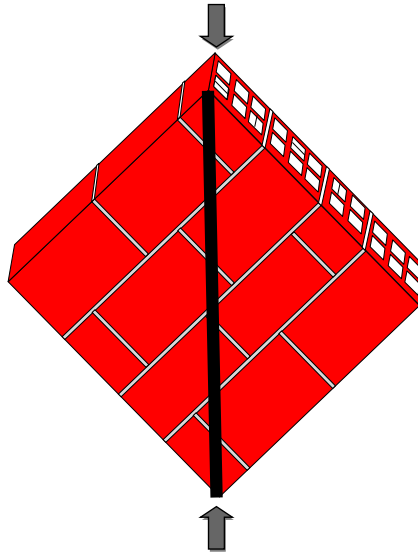


Fuente: Propia

**Figura 23. Murete de Tensión Diagonal Ubicado en la Máquina Universal.**

Consecutivamente se orienta el muro de tal manera que su diagonal coincida con su línea de acción de aplicación de carga, como se muestra en la Figura 24.

Para conseguir que la línea de acción se presente perfectamente en la diagonal del murete, se debe garantizar que la carga que se aplica, se reparte de manera uniforme de tal manera que no se presenten fallas localizadas por utilizar neopreno en las puntas del espécimen.



Fuente: Ing. Claudia Patricia Retamoso Llamas

**Figura 24. Línea de Falla Teórica del Murete de Mampostería a Cortante.**

Antes de iniciar los ensayos de Tensión Diagonal en Muretes de Mampostería, se debe realizar la calibración de la máquina, de tal manera que se obtengan lecturas confiables de las cargas aplicadas en cada murete, en la Figura 25.



Fuente: Propia

**Figura 25. Calibración de la Máquina.**

Cuando está calibrada la máquina, se procede a transportar los muretes, a la Máquina Universal, como se observa en la Figura 26.

Entre las platinas se colocan bandas de neopreno de 1 cm de espesor, 8 cm de ancho y 15 cm de largo, como se observa en la Figura 26, esto con



el fin de distribuir la carga uniformemente en las esquinas, aunque lo ideal sería que el murete se refrentara con yeso o azufre, ya que en trabajos de grado anteriores, se pudo observar que al realizar ensayos de aplicación de carga en mampostería con neopreno, la carga aplicada disminuye con respecto a la obtenida con la carga aplicada cuando se trabaja con el refrentado en yeso o azufre, se observa en la Figura 26, el neopreno en la parte superior e inferior de la muestra a ensayar a tensión diagonal.



Fuente: Propia

**Figura 26. Colocación, refrentado de neopreno y Platinas en la parte Superior e Inferior del Murete.**

La Figura 27 muestra cuando se centra el muro en la máquina universal, con esto se logra que la carga aplicada en la máquina universal, realmente esté centrada en toda la diagonal de murete, para que no se presente la falla localizada.



Fuente: Propia

**Figura 27. Centrado de los especímenes**

En la Figura 23, se puede ver que el muro se encuentra de la manera correspondiente para ser sometido a carga de tensiones diagonales.



Fuente: Propia

**Figura 28. Lectura de Carga Máxima Aplicada en la Máquina Universal.**

La Figura 28, refleja la pantalla de la máquina universal en la cual se pueden ver los resultados de fuerza (P) aplicada en cada uno de los muretes, después de realizar el ensayo de compresión diagonal en muretes.

### **7.1.3. Resultados Obtenidos de los Muretes H – 10.**

En la Tabla 20, se muestran las dimensiones de ancho, alto y espesor de los muretes construidos con unidad de mampostería de perforación horizontal H – 10. En el Anexo 2, Están las dimensiones tomadas para los 15 muretes de estas especificaciones.

**Tabla 20. Dimensiones de ancho, alto y espesor Muretes H -10.**

<b>Murete</b>	<b>a (mm)</b>	<b>b (mm)</b>	<b>e (mm)</b>
1	752	752	102.00
2	749	750	99.67
3	753	750	99.67
4	752	750	99.33
5	751	751	99.00
6	750	750	98.00
7	749	751	100.33
8	751	750	101.00
9	750	751	101.00
10	749	750	100.67
11	750	752	99.33
12	753	750	100.33
13	752	751	99.67
14	750	751	100.33
15	752	751	98.67

Fuente: Propia

Como los muretes presentan orificios en toda la falla en cortante que se va a determinar, para obtener el área neta se deben tener en cuenta el área de estos orificios. En el Anexo 2, se muestran las dimensiones de 6 (seis) espesores y alturas ( $v$ ,  $h$ ) respectivamente, de la primera columna, para obtener un promedio de  $v_1$  y  $h_1$ , para la primera columna de orificios. Para la segunda columna de orificios, se tomaron intermedios 5 (cinco) dimensiones de espesores y alturas ( $v$ ,  $h$ ) respectivamente, de la segunda columna, cuyo promedio es  $h_2$  y  $v_2$ . A continuación se observan las ecuaciones para obtener las áreas de los orificios de la columna 1 ( $Av_1$ ) y el área de los orificios de la columna 2 ( $Av_2$ ). El área total de los orificios ( $Av$ ), de manera vertical, es la suma de las dos áreas, primera y segunda columna como se muestra a continuación:

$$Av_1 = 11 \text{ orificios} \cdot (h_1 \cdot v_1)$$

$$Av_2 = 11 \text{ orificios} \cdot (h_2 \cdot v_2)$$

$$Av = Av_1 + Av_2$$

**Tabla 21. Dimensiones promedio de los orificios verticales y horizontales y área de los orificios de muretes de unidades H -10.**

Murete	$h_1$ (mm)	$v_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$v_2$ (mm)	$Av_1$ (mm <sup>2</sup> )	$Av_2$ (mm <sup>2</sup> )	$Av$ (mm <sup>2</sup> )
1	27.33	47.5	26.60	46.40	14281.67	13576.64	27858.31
2	27.33	47.3	27.00	48.00	14231.56	14256.00	28487.56
3	27.33	46.8	26.40	47.00	14081.22	13648.80	27730.02
4	27.33	47.7	27.20	46.80	14331.78	14002.56	28334.34
5	26.83	48.0	27.00	47.00	14168.00	13959.00	28127.00
6	26.67	47.5	26.80	48.00	13933.33	14150.40	28083.73
7	26.83	47.5	27.60	48.00	14020.42	14572.80	28593.22
8	27.50	47.0	26.80	46.60	14217.50	13737.68	27955.18
9	27.33	47.0	26.80	47.80	14131.33	14091.44	28222.77
10	27.17	47.2	27.60	46.80	14094.97	14208.48	28303.45
11	27.50	47.3	26.80	46.80	14318.33	13796.64	28114.97
12	27.17	46.5	26.80	46.60	13895.75	13737.68	27633.43
13	27.50	47.5	28.20	47.60	14368.75	14765.52	29134.27
14	27.00	47.2	27.60	47.40	14008.50	14390.64	28399.14
15	27.50	47.7	27.00	47.40	14419.17	14077.80	28496.97

Fuente: Propia

Para determinar el esfuerzo en el murete, además de calcular las dimensiones, se requiere la fuerza ( $P$ ) obtenida de la lectura del dial de la máquina universal, como se muestra en la Tabla 22, para los muretes construidos con unidad de mampostería H – 10.

El valor  $n$  es el porcentaje del área bruta del murete, que es sólida, y es aquella que realmente soporta el esfuerzo cortante en la figura.

$$n = 1 - \frac{Av}{n \cdot b}$$

El área neta ( $A_n$ ) es el área que soporta la fuerza  $P$  aplicada en el ensayo de tensión diagonal y consiste en determinar el área en vista frontal del murete, donde se observa su alto y su ancho y obtener un promedio entre los dos, al multiplicarlo por el espesor ( $e$ ) se obtiene el área bruta, y cuando se multiplica por el porcentaje ( $n$ ), se obtiene el área neta.

$$A_n = e \cdot \left( \frac{a+b}{2} \right) \cdot n$$

El esfuerzo cortante ( $\tau$ ) presente en el murete, se obtiene de la fuerza dividirla en el área neta, también considerando que se está determinando el esfuerzo en la sección diagonal, como el esfuerzo cortante se presenta siempre a  $45^\circ$ , se debe multiplicar la fuerza por el coseno o el seno del ángulo y se obtiene el esfuerzo cortante real aplicado en el espécimen.

$$\tau = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \cdot P}{A_n}$$

En la Tabla 22, se observan los resultados de fuerza ( $P$ ), porcentaje de área bruta, área nominal y esfuerzo cortante en muretes de mampostería, por tensión diagonal, para las unidades de Mampostería H - 10.

**Tabla 22. Esfuerzo Cortante Muretes de Mampostería H – 10.**

Murete	P (kN)	n	$A_n$ (mm <sup>2</sup> )	$\tau$ (MPa)
1	28.1	0.637	48845.69	0.407
2	26.7	0.619	46231.60	0.408
3	25.8	0.629	47114.02	0.387
4	27.2	0.620	46227.22	0.416
5	24.8	0.622	46222.00	0.379
6	28.3	0.618	45416.27	0.441
7	25.5	0.621	46694.86	0.386
8	26.3	0.631	47826.68	0.389
9	27.1	0.628	47596.52	0.403
10	30.1	0.625	47165.08	0.451
11	25.7	0.624	46521.75	0.391
12	25.5	0.633	47711.80	0.378
13	27.3	0.611	45745.83	0.422
14	24.1	0.623	46919.93	0.363
15	27.5	0.615	45632.06	0.426

Fuente: Propia

#### 7.1.4. Resultados Obtenidos Muretes Mampostería H – 15.

Como se especifico en el numeral 7.1.3, se determinan las ecuaciones de esfuerzos cortantes en muretes H – 15. El dato que se modificará en esta parte es que el espesor del murete no es 10 cm, es 15 cm.

En la Tabla 23, se muestran las dimensiones de los orificios que se presentan en los diferentes especímenes realizados con unidades de mampostería H – 15, las cuales se utilizan para determinar el área de los orificios en la sección transversal que soporta el esfuerzo cortante en los muretes.

**Tabla 23. Dimensiones promedio de los orificios verticales y horizontales y área de los orificios de muretes de unidades H -15.**

Murete	$h_1$ (mm)	$v_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$v_2$ (mm)	$Av_1$ (mm <sup>2</sup> )	$Av_2$ (mm <sup>2</sup> )	$Av$ (mm <sup>2</sup> )
1	48.67	48.2	48.00	47.60	25785.22	25132.80	50918.02
2	47.50	48.3	48.00	47.60	25254.17	25132.80	50386.97
3	47.67	47.8	47.80	48.00	25080.61	25238.40	50319.01
4	47.83	48.0	48.00	48.40	25256.00	25555.20	50811.20
5	48.17	48.3	49.20	47.80	25608.61	25869.36	51477.97
6	48.17	48.0	47.60	48.20	25432.00	25237.52	50669.52
7	49.50	47.3	48.00	48.00	25773.00	25344.00	51117.00
8	47.67	48.8	48.00	47.80	25604.94	25238.40	50843.34
9	48.00	47.8	47.80	47.00	25256.00	24712.60	49968.60
10	48.00	48.3	48.20	48.20	25520.00	25555.64	51075.64
11	47.83	48.0	48.20	48.20	25256.00	25555.64	50811.64
12	47.83	47.5	47.20	48.20	24992.92	25025.44	50018.36
13	48.50	48.0	47.80	48.40	25608.00	25448.72	51056.72
14	48.00	47.8	49.00	48.80	25256.00	26303.20	51559.20
15	48.33	48.7	48.40	48.00	25874.44	25555.20	51429.64

Fuente: Propia

En la Tabla 24, se muestran los resultados de esfuerzo cortante de la mampostería construida con unidades tipo H – 15.

Cuando se determina el esfuerzo cortante se deben tener en cuenta el área neta y la fuerza (P) que se obtuvo al momento del murete fallar por tensión diagonal. Esta es la lectura que arroja el dial de la máquina universal, como se muestra en la Figura 28.

El porcentaje de área neta que existe en el murete y al área neta, se determinan como se estableció en el numeral 7.1.3 del presente documento. En el ítem mencionado, se encuentran las fórmula utilizadas para determinar el esfuerzo cortante de los muretes H -15.

**Tabla 24. Esfuerzo Cortante Muretes de Mampostería H – 15.**

<b>Murete</b>	<b>P (kN)</b>	<b>n</b>	<b>A<sub>n</sub> (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>τ (MPa)</b>
1	46.2	0.532	57909.09	0.564
2	44.8	0.535	57901.61	0.547
3	47.3	0.538	58536.99	0.571
4	47.8	0.529	57120.47	0.592
5	47.5	0.522	56272.03	0.597
6	42.8	0.529	56828.67	0.532
7	38.5	0.525	56488.70	0.482
8	44.3	0.529	56972.94	0.550
9	45.5	0.534	57319.59	0.561
10	46.4	0.528	57250.59	0.573
11	47.0	0.530	57332.36	0.580
12	42.7	0.537	57981.64	0.521
13	45.2	0.525	56441.73	0.566
14	41.7	0.520	55940.80	0.527
15	45.3	0.523	56320.36	0.569

Fuente: Propia

## 8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se realiza un análisis de los datos numéricos obtenidos en los esfuerzos cortantes de los muretes y de las fallas observadas en los muretes, realizando un análisis de cada una de ellas, estableciendo cual fue el comportamiento de la muestra.

### 8.1. Análisis de Resultados Esfuerzos Cortantes.

#### 8.1.1. Esfuerzos Cortantes Muretes Unidades H – 10.

Después de realizar los ensayos, en la Tabla 25, se observan los resultados del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación entre los esfuerzos cortantes obtenidos en las 15 muestras desarrolladas, con unidades de mampostería H – 10.

El coeficiente de variación da una medida de que tanto variaron los resultados de los esfuerzos cortantes respecto a la media, con lo cual se establece que no existe mucha variación, por lo cual se establece que todos los muretes tienen las mismas condiciones al momento de desarrollar el ensayo, con lo cual se comprueba que se el ensayo se ejecutó con calidad.

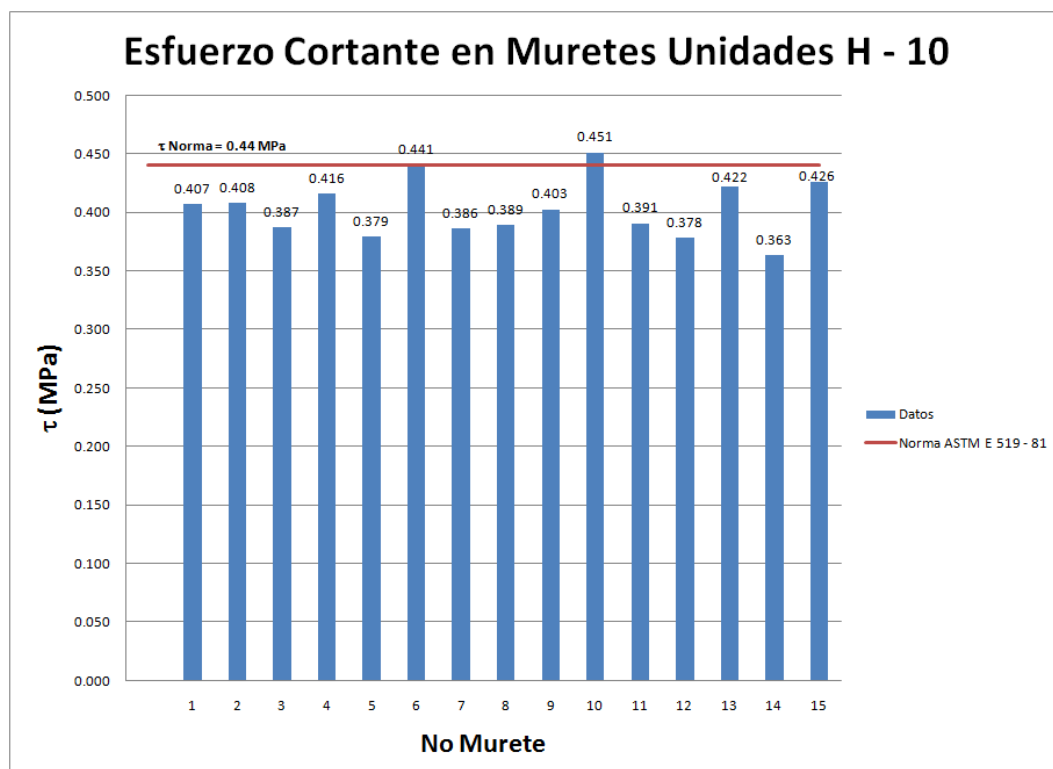
**Tabla 25. Propiedades Estadísticas de Muretes H – 10.**

Promedio (MPa)	0.403
Desviación Estándar (MPa)	0.025
Coeficiente de Variación (%)	6.116

Fuente: Propia

En la Figura 29, se observan los valores de esfuerzos en los quince (15) muretes que se construyeron con unidades de mampostería H – 10. Se observa allí el esfuerzo que establece la Norma como mínimo que es 0.44MPa. Si se observa el valor de la norma respecto al valor promedio obtenido en los muretes con unidades H – 10, se encuentra que el esfuerzo cortante en las unidades de mampostería están ligeramente por debajo al esfuerzo cortante sugerido por la ASTM; para alcanzar el valor de la ASTM, se requiere que el murete soporte 0.037 MPa, adicionales.

Se observo también que el promedio del espesor de los muretes H – 10 es 9.993 cm, con lo cual se puede establecer que la mayoría de las unidades desarrolladas en esta empresa tienen un espesor ligeramente inferior a 10 cm, pero se esperaría que fuera un poco mayor y esto se presenta normalmente porque en la máquina extrusora, se deja un espesor



Fuente: Propia

**Figura 29. Esfuerzos Cortantes Muretes H -10.**

### 8.1.2. Esfuerzos Cortantes Muretes Unidades H – 15.

En esta parte del trabajo de grado, se observa el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de los esfuerzos de los 15 muretes desarrollados para obtener resultados de los muretes H – 15.

De los resultados obtenidos, mostrados en la Tabla 15, se observa que el valor del promedio del esfuerzo cortante supera en aproximadamente 0.115 MPa el esfuerzo que establece la Norma ASTM (0.44 MPa), lo que infiere que trabajar con unidades de mampostería H – 15, mejora el comportamiento a esfuerzos cortantes de este material cuando se ve expuesto a fuerzas sísmicas.

**Tabla 26. Propiedades Estadísticas de Muretes H – 15.**

Promedio (MPa)	0.555
Desviación Estándar (MPa)	0.030
Coeficiente de Variación (%)	5.406

Fuente: Propia

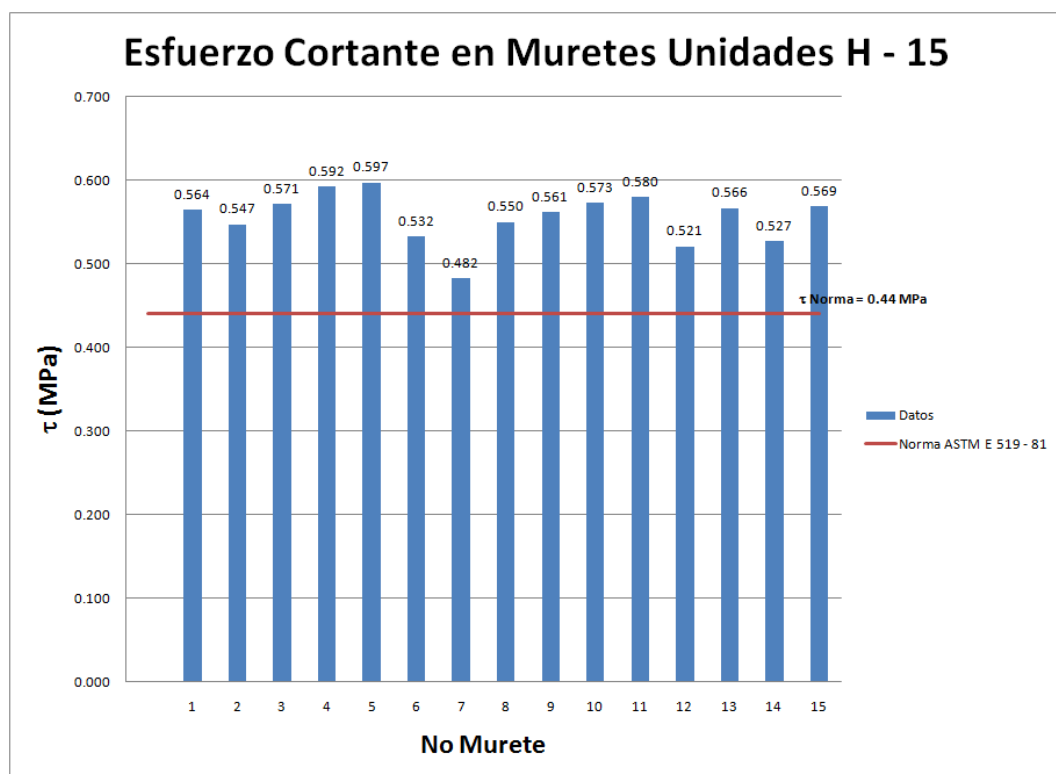
Es de observar también el espesor del murete promedio fue 14.378 cm, lo cual demuestra, como en el caso de los muretes contruidos con unidades H – 10, que el espesor real de las unidades es mucho menor al que comercialmente se esperaría. Además se encuentra que el esfuerzo cortante debería ser muy similar al de las unidades H – 10, ya que se tiene un área mayor y se esperaría que la fuerza aplicada fuera mayor



pero que el área compensara este aumento de fuerza, con esta compensación lograr un esfuerzo similar al producido en los muretes realizados con mampostería H – 10.

Realmente, esto no fue lo que se obtuvo y se pudo observar que el esfuerzo cortante cuando se trabaja con unidades H – 15, es mucho mayor al que exige la norma ASTM, por este motivo, se recomendaría realizar un estudio que analice la posibilidad de no permitir el uso de mampostería de espesor 10 cm en la construcción de muros divisorios en las construcciones ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta, obviamente realizando un estudio más profundo y a conciencia de esta propiedad en particular.

En la Figura 30 se observa que todos los esfuerzos obtenidos de los quince muretes fallados, están por encima de la Norma ASTM, por lo cual se estableció que es mejor utilizar estas unidades de espesor 15 cm, en el momento de construir muros divisorios, por cuanto todas los muretes construidos superaron en un rango alto el esfuerzo mínimo permitido.



Fuente: Propia.

**Figura 30. Esfuerzos Cortantes Muretes H – 15.**

## 8.2. Fallas de Muretes en Tensión Diagonal (Corte).

En este punto se realizará una breve descripción de la presentación de las fallas a cortante en muretes de mampostería.

### 8.2.1. Fallas en el ensayo de tensión diagonal en muretes, por esfuerzos principales.

La referencia<sup>12</sup> mencionada establece tipos de falla respecto a los esfuerzos principales presentados en los muretes.

#### 8.2.1.1 Falla de Corte por Deslizamiento:

El agrietamiento por deslizamiento se presenta a lo largo de la junta horizontal de mortero como consecuencia de una falla de adherencia por corte en la junta, ocasionada por la poca adhesión entre las unidades y el mortero.

#### 8.2.1.2 Falla de Corte.

El agrietamiento por corte se puede presentar en forma de escalera siguiendo la junta de mortero, caracterizada por su forma diagonal a lo largo del muro y es consecuencia de las tensiones de tracción diagonal o esfuerzos de corte que se producen en el mismo.

#### 8.2.1.3 Falla de Flexión.

El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y el centro, que puede presentarse en muros esbeltos, y produce una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro.

#### 8.2.1.4 Falla de Aplastamiento por Flexión Diagonal.

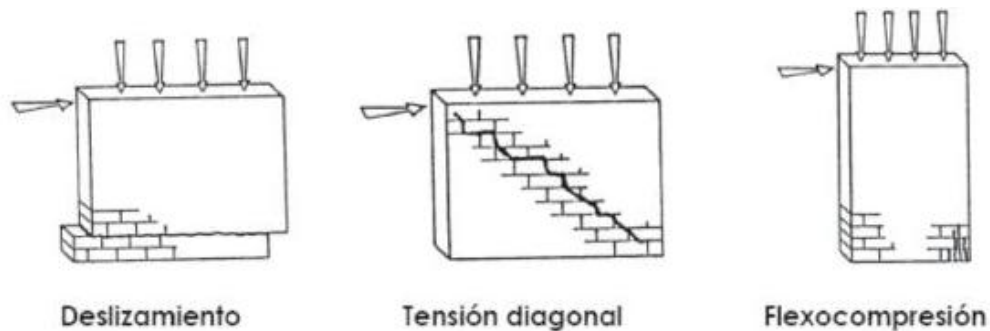
Esta falla es producto del efecto de puntal que se produce cuando se separa el cuerpo del muro de los elementos de confinamiento, situación que genera grandes tensiones de compresión en las esquinas del muro, las que pueden provocar la falla por aplastamiento de la zona cuando la mampostería es de baja calidad o cuando se usan unidades del tipo rejilla de paredes delgadas.

En la Figura 31, se muestra el comportamiento de estos tipos de falla. Como se puede observar la falla de flexocompresión, es aquella que se

---

<sup>12</sup>PAEZ MORENO, Diego Fernando, PARRA ROJAS, Sonia Ximena and MONTANA GUTIERREZ, Carlos Andrés. **Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería.** *Rev. ing. univ. Medellín.* [online]. Jan./June 2009, vol.8, no.14 [cited 13 September 2010], p.51-69. Available from World Wide Web: <[http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242009000100005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000100005&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 1692-3324.

presenta localmente en una esquina del muro, por la no distribución de los esfuerzos cortantes en toda la superficie que soporta la fuerza cortante.



Fuente:PAEZ MORENO, Diego Fernando, PARRA ROJAS, Sonia Ximena and MONTANA GUTIERREZ, Carlos Andrés. Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería.

**Figura 31. Tipos de Falla presentadas en los muretes de mampostería.**

#### **8.2.2. Fallas por comportamiento del conjunto unidad – mortero de pega.**

La referencia<sup>13</sup>, establece otro tipo de clasificación de las fallas por cortante en los muretes de mampostería respecto al trabajo del comportamiento a esfuerzos de la unidad y el mortero como conjunto.

##### **8.2.2.1 Falla por tensión diagonal en bloques.**

Se produce una grieta diagonal que atraviesa predominantemente las piezas, su trayectoria es aproximadamente recta.

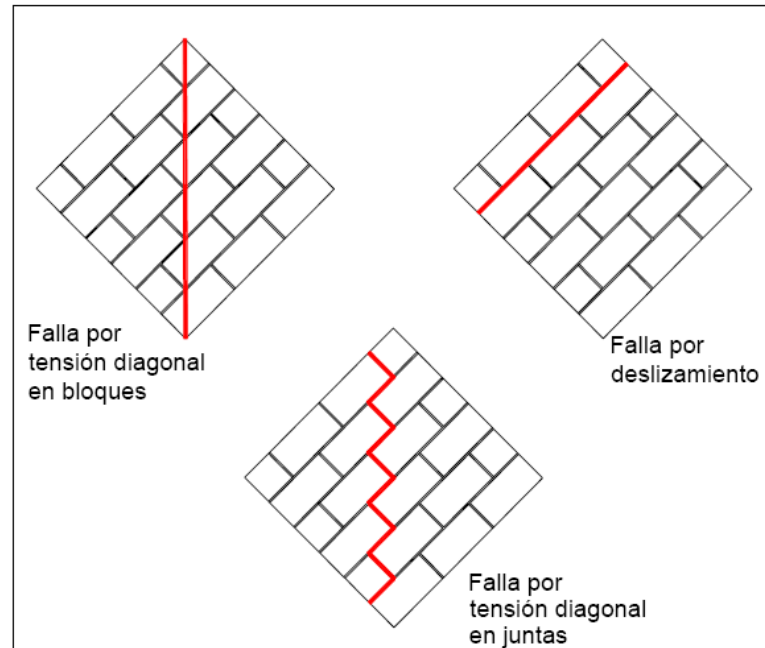
##### **8.2.2.2 Falla por tensión diagonal en juntas.**

Se produce por la falla por adherencia bloque – mortero, su trayectoria es en forma escalonada, aproximadamente en el centro del murete.

##### **8.2.2.3 Falla por deslizamiento.**

Se produce la falla entre las piezas y el mortero, produciéndose el desprendimiento de una junta horizontal.

<sup>13</sup> Baqueiro Fernández Luis – Otros. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Revista Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. México. Volumen 13 No 2. Año 2009.



Fuente: Baqueiro Fernández Luis – Otros. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Revista Ingeniería.

**Figura 32. Tipos de Fallas por Trabajo en conjunto Pieza – Mortero.**

### 8.2.3. Fallas presentadas en el Trabajo de Grado.

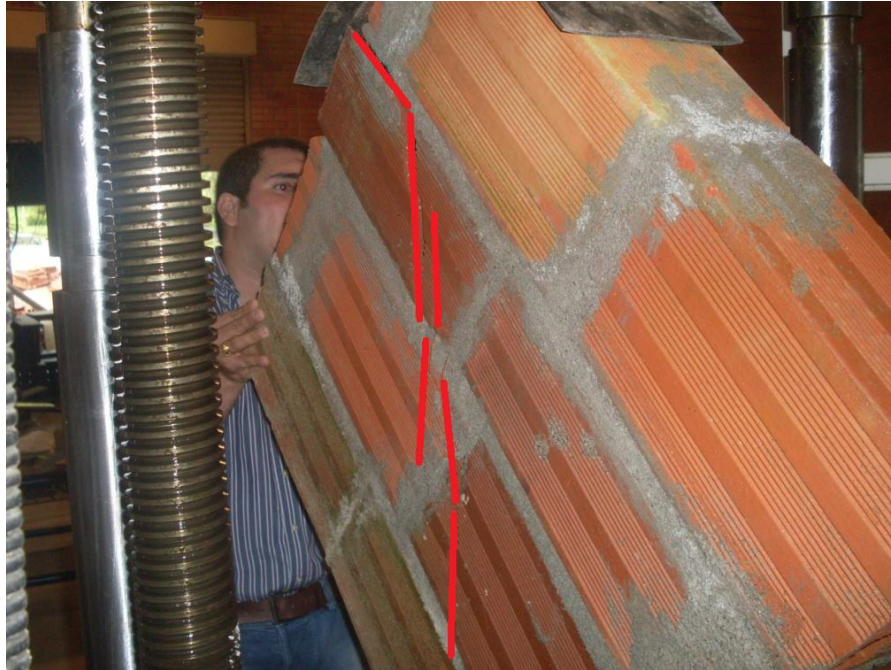
Es importante estudiar el comportamiento de la mampostería no estructural con respecto a la aplicación de carga a compresión diagonal.

Estas se presentan por esfuerzos cortantes por medio de fisuras inclinadas generalmente a tensiones diagonales.

Estas fallas, se presentan principalmente en las estructuras cuando se aplican las fuerzas sísmicas en los edificios. Principalmente, las muertes por causas de elementos estructurales y no estructurales que hacen parte de la edificación, es la falla de cortante en la mampostería.

Por esto, se considera una de las propiedades más importantes del comportamiento del conjunto unidad de mampostería – mortero, antes fuerzas horizontales sísmicas.

En el trabajo de grado en particular se presentaron todos los tipos de fallas presentes en los muretes H-10 y H-15.



Fuente: Propia.

**Figura 33. Falla semi-diagonal**

En la Figura 33 se presenta una falla semidiagonal debido a que presenta fisuras tanto en la unidad de mampostería como en el mortero de pega; esta clase de agrietamiento se obtiene cuando el esfuerzo resistente a la tensión de las piezas es semejante a la adherencia entre piezas y mortero.



Fuente: Propia.

**Figura 34. Falla Mixta.**



La falla mostrada en la Figura 34, se presenta cuando la resistencia a la tensión de las piezas de mampostería es menor en relación con la resistencia de adherencia del mortero a las unidades, debido a que se adquiere un agrietamiento en alguna de las unidades de mampostería y el mortero de pega.



Fuente: Propia.

**Figura 35. Falla por adherencia.**

La falla de la Figura 35, se presenta cuando la resistencia de las unidades es mayor que la resistencia de adherencia del mortero con las piezas. Esta tipología se presenta generalmente en dos secciones o en forma escalonada donde la adherencia del mortero queda en una parte de las secciones del muro.



Fuente: Propia.

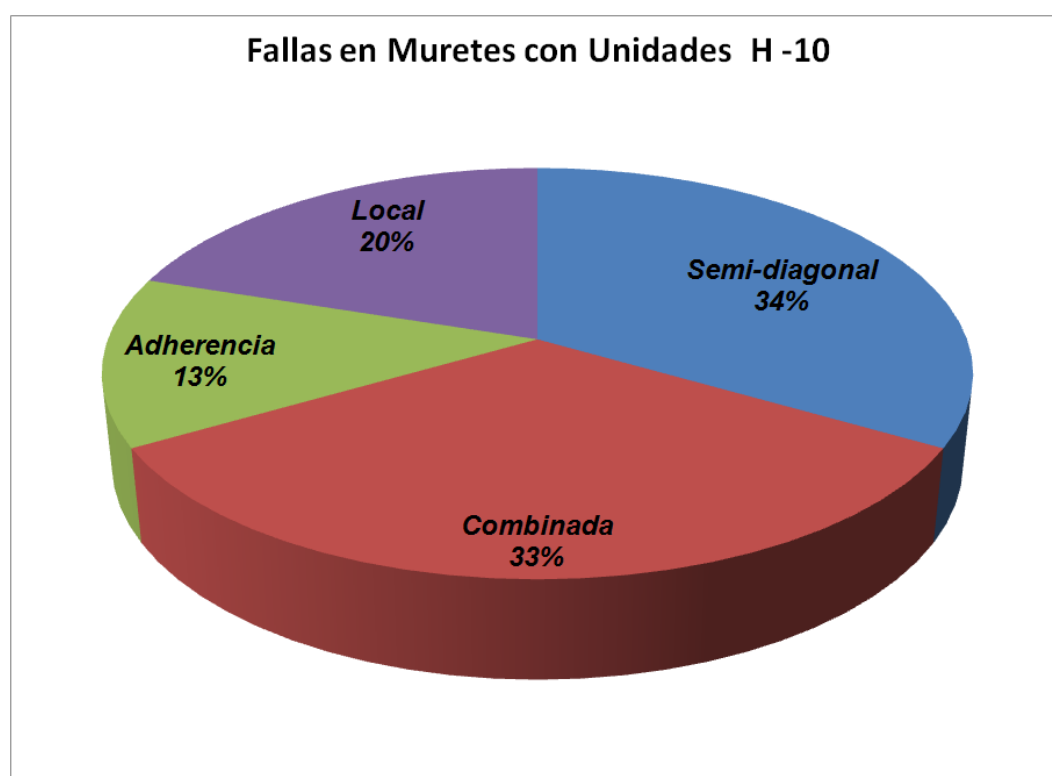
**Figura 36. Falla local**

Esta imagen muestra el aplastamiento en las esquinas por las unidades de mampostería H-10, debido a que estas no lograron un comportamiento conjunto con el mortero de pega; es decir el ladrillo tiene menor resistencia que el mortero.

**Tabla 27. Tipos de fallas presentadas Muretes H – 10 y H – 15.**

<b>Tipo de fallas</b>	<b>H - 10</b>	<b>H - 15</b>	<b>H - 10 (%)</b>	<b>H - 15 (%)</b>
Semi-diagonal	5	8	33.33	53.33
Combinada	5	4	33.33	26.67
Adherencia	2	1	13.33	6.67
Local	3	2	20.00	13.33
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

En la Tabla 27, Figura 37 y Figura 38, se observan los resultados de porcentajes de fallas presentadas respecto al total de muretes construidos con unidades de mampostería H – 10 y H – 15.



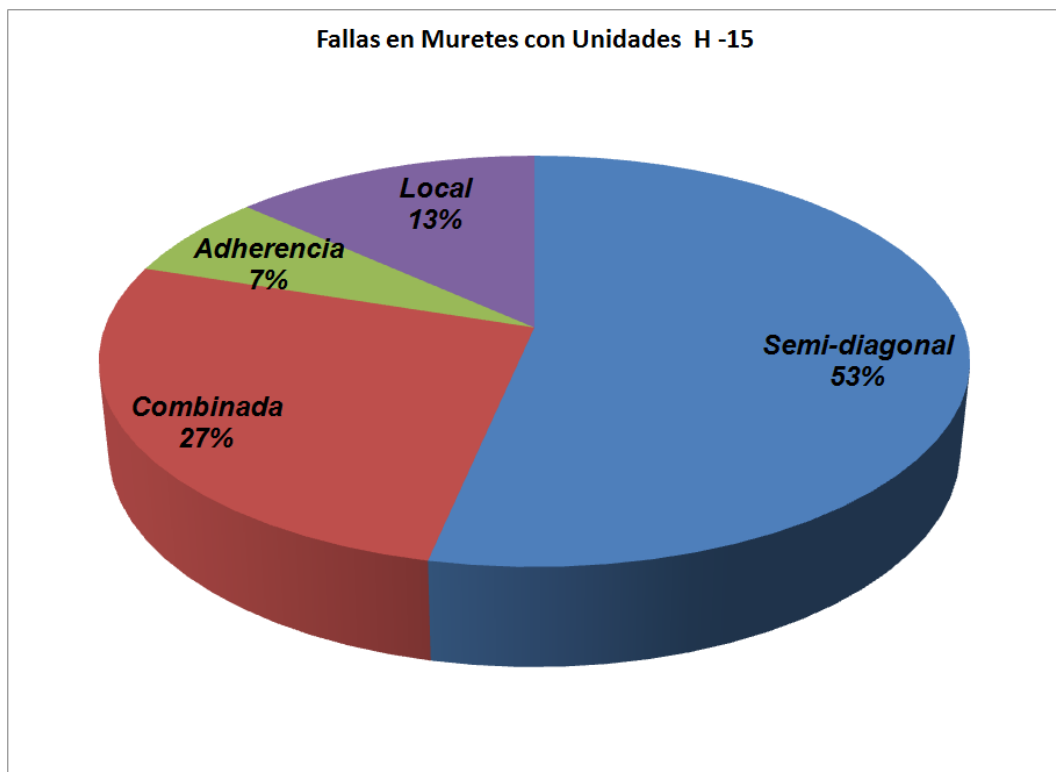
Fuente: Propia.

**Figura 37. Porcentaje de Fallas en Muretes construidos con unidades de mampostería H - 10.**

En la Figura 37, los muretes construidos con unidades de mampostería H – 10, se observa que la falla principal está entre la combinada y semidiagonal (66.67%), lo que indica que la adherencia entre el mortero y la unidad, no fue el problema de falla en los muretes, esto quiere decir que se realizó un buen diseño de mezcla de mortero, teniendo en cuenta

la absorción de las unidades y el agua que consume el cemento cuando hace reacción en la mezcla. Así mismo, en la Figura 38, se observa que el 80% de los muretes fallo de forma semidiagonal o combinada, lo cual ratifica lo expuesto anteriormente.

La falla local, se presenta más que la falla de adherencia en ambos casos tanto en H – 10, como en H – 15, lo cual demuestra que la unidad de mampostería es el problema principal en este tipo de ensayos si se observa que la falla local, es por la baja resistencia al cortante en las unidades individuales.



Fuente: Propia.

**Figura 38. Porcentaje de Fallas en Muretes contruidos con unidades de mampostería H - 10.**



## **9. CONCLUSIONES**

### **9.1. Ensayos Preliminares.**

En esta primera parte se concluye respecto a los ensayos realizados a los materiales que se utilizaron para el mortero de pega de los muretes:

El contenido de materia orgánica presente en la arena es considerable ya que el color que presentó fue amarillo claro respecto al colorímetro. Por lo tanto no es dañino para el agregado.

El módulo de finura obtenido en el análisis granulométrico indica que el tipo de arena puede ser utilizada para juntas de mampostería, ya que se encuentra en el rango (2.7-3.2).

El mortero diseñado es de consistencia media (105.5), resultado obtenido en el ensayo de fluidez por lo tanto se puede utilizar para pega de mampostería, por cuanto la norma establece que el rango para pega es 100 - 120.

La resistencia a la compresión del mortero cumplió la norma técnica colombiana NTC 220 debido a que los valores obtenidos durante el periodo de fraguado están por encima de 17.2 MPa, como establece la Norma. El esfuerzo promedio obtenido en los esfuerzos de compresión de los cubos es 17.577 MPa.

Se determinó la densidad del cemento hidráulico con los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Vías (I.N.V.E-307). Donde se obtuvo un valor aceptable (3.033 gr/cm<sup>3</sup>).

### **9.2. Conclusiones Esfuerzo Cortante en Muretes de Mampostería.**

En esta parte se concluye respecto al esfuerzo cortante de los muretes construidos con unidades de mampostería H-10 y H-15.

El esfuerzo cortante esperado con respecto a los muros construidos con unidades de mampostería H-15, es admisible debido que todos los muros ensayados están por encima del valor estipulado (0.44MPa) por la norma ASTM E 519-81.

Los muros construidos con ladrillos H-10, tienen un esfuerzo cortante promedio de 0.403 MPa, inferior al resultado esperado (0.44MPa), según la norma ASTM 519-81.

Es de preferencia utilizar unidades de mampostería H-15 para las construcciones que se vayan a realizar en lugares ubicados en Zona de Amenaza Sísmica Alta, debido a que éstas presentan un buen desempeño ante esfuerzos cortantes.

El tipo de falla presente en los muros de mampostería por causa de acciones sísmicas es variable. Debido a que estos se encuentran afectados por las propiedades mecánicas individuales de los materiales que la componen.

Si los materiales utilizados en la construcción de muros de mampostería tienen las características estipuladas por las normas de construcción es de mayor probabilidad que estos presenten un comportamiento conjunto unidad – mortero. De lo contrario se obtendrá otros comportamientos como los tipos de fallas por adherencia y fallas locales.

El 67% de los muretes contruidos con unidades de mampostería H – 10, presentaron fallas combinadas y semidiagonal, lo cual indica que la mampostería trabajo en conjunto con el mortero de pega.

El 80% de los muretes contruidos con unidades de mampostería H – 15, presentaron fallas combinadas y semidiagonales, lo cual indica que la mampostería trabajo en conjunto con el mortero de pega, lo cual es un indicativo de la buena práctica constructiva de los muretes para ensayar.

## **10. RECOMENDACIONES**

Comprar el material de forma directa a la empresa para asegurar que el material no estuviera sometido a vibraciones anteriores, de tal manera que se eviten la mayor cantidad de defectos posibles en las unidades.

En el momento de la preparación de la mezcla de mortero hacerla por medio de la maquina mezcladora (Trompo), para lograr obtener un comportamiento más homogéneo evitando la adherencia de materiales que se encuentran en el suelo.

Disponer de un lugar adecuado para la elaboración de los muros evitando que estos se encuentren afectados por agentes externos como las lluvias.

En el proceso de curado es importante cubrir los muretes para evitar que estos sufran cambios fuertes de temperatura.

Utilizar un medio de transporte mecánico para llevar los especímenes a la máquina universal con el fin de proporcionar más seguridad y eficiencia en el tiempo de transporte de los muretes.

En el momento de someter el muro a compresión diagonal verificar que este se encuentre protegido, ya sea por cintas adhesivas o materiales similares con el objetivo de prevenir accidentes cuando estos fallen de manera brusca.

Es indispensable realizar el refrentado con neopreno con respecto a la normativa (ASTM E 519) para evitar que se presenten fallas locales.

Es considerable que la universidad tenga un rubro para los ensayos de tesis de los estudiantes de la facultad, debido a la cantidad de dinero que gastan los alumnos en los trabajos de grado que se desarrollan por fuera de las investigaciones matriculadas en la Dirección de Investigaciones de la Universidad.

La universidad debe contar con trabajadores para que ayuden a los estudiantes a realizar los ensayos respectivos de sus Trabajos de Grado, sobre todo si los esfuerzos físicos a desarrollar para tal fin, no son de la competencia de los estudiantes de pregrado.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

BAQUEIRO FERNÁNDEZ, Luis – Otros. Determinación de la resistencia a compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto. Revista Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. México. Volumen 13 No 2. Año 2009.

PAEZ MORENO, Diego Fernando, PARRA ROJAS, Sonia Ximena and MONTANA GUTIERREZ, Carlos Andrés. Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Rev. ing. univ. Medellín*.

SMITH William F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Editorial Mc Graw Hill. Cuarta Edición. 2004.

VAN VLACK Lawrence. Materiales para Ingeniería. Editorial Continental S.A. 1980.

RAMIREZ Alfonso. Edificios de mampostería. Escuela Colombiana de Ingeniería

HORNBOSTEL Caleb. Materiales para la construcción: tipos, usos y aplicaciones. Editorial Limusa Wiley. 2005.

DE SOLMINIHAC T. Hernán - THENEOUX Guillermo. Procesos y técnicas de construcción. Editorial alfaomega. Segunda edición. 2002.

SHAN Somayaji. Engineering materials. Prentice Hall, Segunda edición, 2001.

SANCHEZ DE GUZMAN Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Universidad Pontificia Javeriana.1987.

PLAZOLA CISNEROS Y PLAZOLA ANGUIANO "Normas y Costos de Construcción" Vy III, Editorial Limusa, México 1995.

BARRIOS JARAMILLO, Luis Hebert. Manual de ensayo de laboratorio mampostería estructural. Universidad de los Andes.1998.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Normas de ensayo para materiales de carretera [en línea]. INV E – 307 - 07, Densidad del cemento hidráulico.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Normas de ensayo para materiales de carretera [en línea] I.N.V. E – 212 – 07, Contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de mortero o concretos.

NORMAS TECNICA COLOMBIANA, NTC 451, Ladrillos cerámicos.

NORMAS TECNICA COLOMBIANA, NTC 2240, Agregados usados en morteros de mampostería.

NORMAS TECNICA COLOMBIANA, NTC 32, Tamices de ensayo de tejido de alambre.

NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 237, Método para determinar el peso específico y la absorción de los agregados finos.

NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 111, Método para determinar la fluidez de morteros de cemento.

NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 3329, Especificaciones de mortero para unidades de mampostería.

NORMA TECNICA COLOMBIANA, NTC 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm. De lado

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS ASTM E 519-81 standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages.

## ANEXO 1. DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO.

### Ensayo de Compresión en Cubos 7 días.

- Muestra No 1.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,8	50,9	277,3
50,5	50,6	277,8
50,7	50,5	277,2
<b>Promedio</b>		
50,667	50,667	277,43
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		12.1
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		4.7

Fuente: Autores

- Muestra No 2.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,5	50,6	274,8
50,5	50,6	274,1
50,7	50,7	275
<b>Promedio</b>		
50,567	50,633	274,63
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		12.9
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		5.03

Fuente: autores

- Muestra No. 3

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,8	50,6	269,8
50,7	50,4	269,7
50,7	50,5	269,7
<b>Promedio</b>		
50,733	50,500	269,73
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia( kN)		12.9
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		5.038

Fuente: Autores

Ensayo de Compresión en Cubos 14 días

- Muestra No 1.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,5	50,9	282,3
50,8	50,7	281,8
50,8	50,6	280,2
Prom		
50,700	50,733	281,43
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		20.7
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		8.05

Fuente: Autores

- Muestra No 2.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,6	50,8	277,7
50,7	50,8	279,5
50,8	50,7	277,9
Promedio		
50,700	50,767	278,37
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		18
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		7.2

Fuente: Autores

- Muestra No 3.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,5	50,6	285,5
50,6	50,4	285,3
50,5	50,7	282,6
Promedio		
50,533	50,567	284,47
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		20.5
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		8.02

Fuente: Autores

Ensayo de Compresión en Cubos 21 días

- Muestra No 1.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,5	50,9	285,3
50,5	50,8	284,9
50,7	50,8	285,9
Promedio		
50,567	50,833	285,37
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia( kN)		26.5
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		10,31

Fuente: Autores

- Muestra No 2.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,8	50,8	281,2
50,7	50,8	281,9
50,7	50,7	281
Promedio		
50,733	50,767	281,37
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		26.9
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		10.444

Fuente: Autores

- Muestra No 3.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,7	50,6	287,2
50,6	50,6	286,5
50,7	50,6	287,3
Promedio		
50,667	50,600	287,00
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		28.9
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		11,72

Fuente:Autores



Ensayo de Compresión en Cubos 28 días

- Muestra No 1.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,8	50,6	271,3
50,8	50,6	271,8
50,7	50,4	272
Promedio		
50,767	50,533	271,70
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		43.8
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		17.07

Fuente: Autores

- Muestra No 2.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,5	50,7	267,9
50,5	50,6	267,5
50,7	50,7	270,2
Promedio		
50,567	50,667	268,53
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		45,8
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		17.9

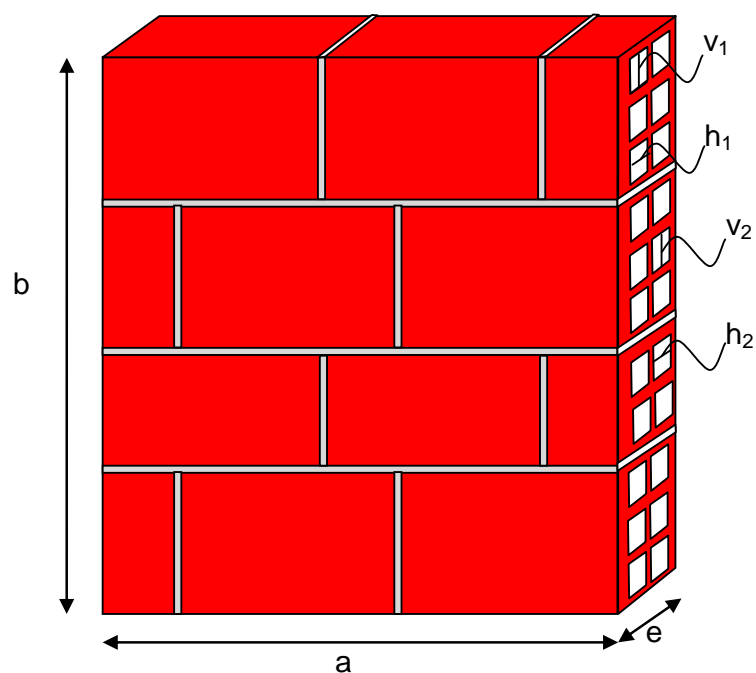
Fuente: Autores

- Muestra No 3.

L1(mm)	L2 (mm)	PESO (g)
50,6	50,5	274
50,7	50,5	274,5
50,7	50,5	274
Promedio		
50,667	50,500	274,17
Resultados Resistencia a la Compresión		
Resistencia (kN)		45,5
Esfuerzo $\sigma$ (Mpa)		17,58

Fuente:Autores

## ANEXO 2. DIMENSIONES DE LAS PIEZAS DE MAMPOSTERÍA



En la figura anterior se especifican la nomenclatura de las dimensiones que a continuación se relacionan en estas tablas:

### **Dimensiones de Ancho y Alto de Muretes H – 10**

Murete	a (cm)	b (cm)
1	75.2	75.2
2	74.9	75
3	75.3	75
4	75.2	75
5	75.1	75.1
6	75	75
7	74.9	75.1
8	75.1	75
9	75	75.1
10	74.9	75
11	75	75.2
12	75.3	75
13	75.2	75.1
14	75	75.1
15	75.2	75.1

**Dimensiones de Alto y Ancho de Muretes H – 15**

<b>Murete</b>	<b>a (cm)</b>	<b>b (cm)</b>
1	75.2	75
2	75.1	75
3	75	75.1
4	75.2	75.1
5	75	75
6	75.1	75.2
7	75	75.1
8	75	75.3
9	75.1	75
10	75.2	75
11	75.1	75.1
12	75	75
13	75.1	75.2
14	75	75
15	75	75

**Dimensiones de Espesores de Muros H - 10**

<b>Murete</b>	<b>e<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>e<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>e<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>e<sub>prom</sub> (cm)</b>
1	10.0	10.4	10.2	10.2
2	9.80	10.1	10.0	10.0
3	10.0	9.90	10.0	10.0
4	10.1	10.0	9.7	9.9
5	9.70	10.1	9.9	9.9
6	9.80	10.0	9.6	9.8
7	10.20	9.9	10.0	10.0
8	10.0	10.1	10.2	10.1
9	10.1	9.9	10.3	10.1
10	9.90	10.2	10.1	10.1
11	10.0	9.8	10.0	9.9
12	10.1	10.1	9.9	10.0
13	9.80	10.0	10.1	10.0
14	10.2	9.9	10	10.0
15	9.70	10.0	9.9	9.9

**Dimensiones de Espesores de Muros H - 15**

Murete	e <sub>1</sub> (cm)	e <sub>2</sub> (cm)	e <sub>3</sub> (cm)	e <sub>prom</sub> (cm)
1	14.4	14.5	14.6	14.5
2	14.5	14.4	14.4	14.4
3	14.6	14.5	14.4	14.5
4	14.3	14.5	14.3	14.4
5	14.4	14.3	14.4	14.4
6	14.4	14.3	14.2	14.3
7	14.5	14.2	14.3	14.3
8	14.3	14.3	14.4	14.3
9	14.5	14.2	14.2	14.3
10	14.5	14.3	14.5	14.4
11	14.4	14.6	14.2	14.4
12	14.3	14.3	14.6	14.4
13	14.5	14.2	14.2	14.3
14	14.3	14.4	14.3	14.3
15	14.5	14.2	14.4	14.4

**Dimensiones h de los orificios (Primera Columna) de Muros H -10**

Murete	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	h <sub>3</sub> (cm)	h <sub>4</sub> (cm)	h <sub>5</sub> (cm)	h <sub>6</sub> (cm)	h <sub>prom</sub> (cm)
1	2.7	2.6	2.7	2.8	2.7	2.9	2.73
2	2.7	2.7	2.7	2.6	2.9	2.8	2.73
3	2.8	2.7	2.8	2.7	2.7	2.7	2.73
4	2.7	2.8	2.7	2.7	2.8	2.7	2.73
5	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.68
6	2.9	2.6	2.6	2.6	2.7	2.6	2.67
7	2.7	2.6	2.5	2.7	2.7	2.9	2.68
8	2.7	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	2.75
9	2.8	2.9	2.7	2.7	2.6	2.7	2.73
10	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	2.72
11	2.7	2.8	2.6	2.8	2.8	2.8	2.75
12	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.72
13	2.8	2.6	2.8	2.6	2.9	2.8	2.75
14	2.7	2.9	2.6	2.7	2.6	2.7	2.70
15	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.9	2.75

**Dimensiones h de los orificios (Primera Columna) de Muros H -15**

Murete	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	h <sub>3</sub> (cm)	h <sub>4</sub> (cm)	h <sub>5</sub> (cm)	h <sub>6</sub> (cm)	h <sub>prom</sub> (cm)
1	4.8	4.8	4.9	4.8	5.1	4.8	4.87
2	4.7	4.8	4.7	4.8	4.8	4.7	4.75
3	4.7	4.9	4.7	4.6	4.9	4.8	4.77
4	4.9	4.7	4.8	4.8	4.8	4.7	4.78
5	5	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	4.82
6	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.82
7	4.8	4.9	4.8	5.8	4.7	4.7	4.95
8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	4.77
9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.80
10	4.7	4.8	4.7	4.9	4.9	4.8	4.80
11	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.78
12	4.8	4.7	4.8	4.7	4.9	4.8	4.78
13	4.7	4.8	5	4.8	5	4.8	4.85
14	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7	4.80
15	4.8	4.9	4.8	4.9	4.8	4.8	4.83

**Dimensiones v de los orificios (Primera Columna) de Muros H -10**

Murete	v <sub>1</sub> (cm)	v <sub>2</sub> (cm)	v <sub>3</sub> (cm)	v <sub>4</sub> (cm)	v <sub>5</sub> (cm)	v <sub>6</sub> (cm)	v <sub>prom</sub> (cm)
1	4.6	4.8	4.9	4.8	4.7	4.7	4.75
2	4.8	4.7	4.8	4.8	4.7	4.6	4.73
3	4.7	4.6	4.7	4.6	4.7	4.8	4.68
4	4.8	4.7	4.6	5	4.6	4.9	4.77
5	4.9	4.9	4.7	4.8	4.8	4.7	4.80
6	4.9	4.7	4.7	4.7	4.8	4.7	4.75
7	4.8	5	4.8	4.7	4.6	4.6	4.75
8	4.7	4.8	4.7	4.7	4.7	4.6	4.70
9	4.7	4.7	4.8	4.7	4.7	4.6	4.70
10	4.6	4.7	4.8	4.6	4.8	4.8	4.72
11	4.7	4.8	4.7	4.8	4.7	4.7	4.73
12	4.8	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.65
13	4.9	4.7	4.6	4.6	5	4.7	4.75
14	4.5	4.7	4.8	4.6	4.9	4.8	4.72
15	4.7	4.8	4.7	4.8	4.7	4.9	4.77

**Dimensiones v de los orificios (Primera Columna) de Muros H -15**

Murete	V <sub>1</sub> (cm)	V <sub>2</sub> (cm)	V <sub>3</sub> (cm)	V <sub>4</sub> (cm)	V <sub>5</sub> (cm)	V <sub>6</sub> (cm)	V <sub>prom</sub> (cm)
1	5	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.82
2	4.9	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	4.83
3	4.8	4.9	4.8	4.7	4.8	4.7	4.78
4	4.9	4.8	4.8	4.8	4.7	4.8	4.80
5	4.7	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	4.83
6	4.8	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.80
7	4.8	4.8	4.7	4.7	4.7	4.7	4.73
8	4.8	4.8	5	4.9	4.8	5	4.88
9	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.8	4.78
10	4.9	4.8	4.9	4.9	4.8	4.7	4.83
11	4.9	4.9	4.8	4.7	4.7	4.8	4.80
12	4.7	4.8	4.7	4.8	4.8	4.7	4.75
13	4.8	4.7	4.9	4.8	4.8	4.8	4.80
14	4.9	4.8	4.8	4.7	4.7	4.8	4.78
15	4.8	4.9	4.8	5	4.9	4.8	4.87

**Dimensiones h de los orificios (Segunda Columna) de Muros H -10**

Murete	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	h <sub>3</sub> (cm)	h <sub>4</sub> (cm)	h <sub>5</sub> (cm)	h <sub>prom</sub> (cm)
1	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.66
2	2.8	2.6	2.7	2.7	2.7	2.70
3	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.64
4	2.7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.72
5	2.7	2.7	2.7	2.8	2.6	2.70
6	2.6	2.8	2.6	2.8	2.6	2.68
7	2.7	2.8	2.7	2.7	2.9	2.76
8	2.6	2.8	2.7	2.6	2.7	2.68
9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.7	2.68
10	2.7	2.6	2.7	2.8	3	2.76
11	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.68
12	2.6	2.7	2.8	2.7	2.6	2.68
13	2.9	2.8	2.9	2.7	2.8	2.82
14	2.7	2.6	3	2.7	2.8	2.76
15	2.7	2.7	2.7	2.8	2.6	2.70

**Dimensiones h de los orificios (Segunda Columna) de Muros H -15**

Murete	h <sub>1</sub> (cm)	h <sub>2</sub> (cm)	h <sub>3</sub> (cm)	h <sub>4</sub> (cm)	h <sub>5</sub> (cm)	h <sub>prom</sub> (cm)
1	4.7	4.9	4.8	4.8	4.8	4.80
2	4.8	4.8	4.9	4.7	4.8	4.80
3	4.8	4.8	4.8	4.6	4.9	4.78
4	4.7	4.8	4.9	4.8	4.8	4.80
5	4.6	5.2	5.1	4.8	4.9	4.92
6	4.7	4.8	4.9	4.7	4.7	4.76
7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.80
8	4.7	4.7	4.8	4.9	4.9	4.80
9	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	4.78
10	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.82
11	4.8	4.9	4.9	4.8	4.7	4.82
12	4.7	4.6	4.7	4.9	4.7	4.72
13	4.8	4.8	4.8	4.8	4.7	4.78
14	4.8	5	4.9	4.8	5	4.90
15	4.9	4.8	5	4.7	4.8	4.84

**Dimensiones v de los orificios (Segunda Columna) de Muros H -10**

Murete	v <sub>1</sub> (cm)	v <sub>2</sub> (cm)	v <sub>3</sub> (cm)	v <sub>4</sub> (cm)	v <sub>5</sub> (cm)	v <sub>prom</sub> (cm)
1	4.5	4.7	4.7	4.7	4.6	4.64
2	4.9	4.7	4.8	4.9	4.7	4.80
3	4.8	4.7	4.6	4.7	4.7	4.70
4	4.7	4.6	4.7	4.6	4.8	4.68
5	4.7	4.7	4.8	4.6	4.7	4.70
6	4.8	4.8	4.9	4.6	4.9	4.80
7	4.6	4.8	4.7	5	4.9	4.80
8	4.7	4.7	4.6	4.8	4.5	4.66
9	4.7	4.9	4.7	4.9	4.7	4.78
10	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.68
11	4.7	4.7	4.7	4.6	4.7	4.68
12	4.8	4.5	4.6	4.7	4.7	4.66
13	4.9	4.7	4.8	4.7	4.7	4.76
14	4.7	4.9	4.6	4.8	4.7	4.74
15	4.6	4.7	4.9	4.7	4.8	4.74

**Dimensiones v de los orificios (Segunda Columna) de Muros H -15**

<b>Murete</b>	<b>v<sub>1</sub> (cm)</b>	<b>v<sub>2</sub> (cm)</b>	<b>v<sub>3</sub> (cm)</b>	<b>v<sub>4</sub> (cm)</b>	<b>v<sub>5</sub> (cm)</b>	<b>V<sub>prom</sub> (cm)</b>
1	4.7	4.9	4.7	4.8	4.7	4.76
2	4.8	4.8	4.8	4.7	4.7	4.76
3	4.9	4.8	4.8	4.6	4.9	4.80
4	5.1	4.7	4.9	4.6	4.9	4.84
5	4.8	4.7	4.9	4.7	4.8	4.78
6	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.82
7	4.7	4.7	4.9	4.8	4.9	4.80
8	4.6	4.8	4.9	4.8	4.8	4.78
9	4.6	4.6	4.7	4.9	4.7	4.70
10	4.6	4.9	4.9	4.9	4.8	4.82
11	4.8	4.8	5	4.7	4.8	4.82
12	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8	4.82
13	4.8	4.8	4.9	5	4.7	4.84
14	4.8	4.9	4.9	4.9	4.9	4.88
15	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.80