

	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	Dependencia	Aprobado		Pág.
		<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>I(187)</b>

### RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	<b>JHOAN SEBASTIAN AREVALO ASCANIO KAROL DANIELA ORTIZ VEGA</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>INGENIERÍAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERÍA CIVIL</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>Ph. D NELSON AFANADOR GARCÍA</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA UNIÓN EN JUNTAS DE MORTERO PARA MAMPOSTERÍA EN BLOQUES DE ARCILLA H-10 UTILIZADOS EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA.</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p><b>LA FINALIDAD DE ESTE PROYECTO ES LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LA UNION EN JUNTAS DE MORTERO PARA MAMPOSTERIA EN BLOQUES DE ARCILLA H-10 PRODUCIDOS POR 4 FABRICANTES QUE SE COMERCIALIZAN EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, ASÍ COMO EVIDENCIAR EL COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE LA UNION CON MORTEROS DE DIFERENTE RESISTENCIA A LA COMPRESION, PARA LO QUE SE REALI 164 PRISMAS Y LOS GRAFICOS ESTADISTICOS CORRESPONDIENTES.</b></p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 187</b>	<b>PLANOS: 0</b>	<b>ILUSTRACIONES: 81</b>	<b>CD-ROM: 1</b>



DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA UNIÓN EN JUNTAS DE MORTERO  
PARA MAMPOSTERÍA EN BLOQUES DE ARCILLA H-10 UTILIZADOS EN EL  
MUNICIPIO DE OCAÑA.

Autores:

Jhoan Sebastian Arévalo Ascanio - 171846

Karol Daniela Ortiz Vega – 171894

Proyecto de grado presentado como requisito para obtener el título de  
ingeniero civil

Director:

Ph.D. NELSON AFANADOR GARCÍA.

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Marzo, 2021

## **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios por permitirnos culminar esta etapa importante de nuestra vida.

Al Doctor Nelson Afanador García, por la dirección del trabajo, su apoyo y colaboración permanente durante toda la investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra manera aportaron en el desarrollo de este proyecto, especialmente al laboratorista Iván Darío Bustos y a la secretaria de plan de estudios de ingeniería civil Yisneidy Ballesteros.

*Jhoán Sebastián Arévalo Ascanio*

*Karol Daniela Ortiz Vega*

## **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía en cada paso del camino y darme la fuerza para culminar mis objetivos.

A mi madre Martha Vega, por ser mi motor, ejemplo a seguir y por premiarme con su presencia en mi vida.

A mis tres ángeles en el cielo Wilson Ortiz, Benjamín Vega y Ramona Páez, por cuidarme y alentarme siempre.

A mis hermanos Lorena, Camilo y Diego, por crecer a mi lado y brindarme su apoyo de forma incondicional.

A mi amigo Jhoan Arévalo, por luchar a mi lado desde hace muchos años, sin su amistad nada hubiera sido igual.

A todos mis familiares y amigos, por creer en mí y aportar su granito de arena para que este sueño fuera posible.

*Karol Daniela Ortiz Vega*

## **Dedicatoria**

A mi papá, Danuil Arévalo, quien con su ejemplo y dedicación me ha enseñado valores importantes que me han fortalecido en cada paso que doy.

A mi mamá, Aidelí Ascanio, quien con su motivación y sus consejos me ayudan diariamente a superar cada adversidad y a enfrentarme a nuevos retos.

A mi hermano, Jhorman Andrés Arévalo, quien me motiva a superarme y a ser mejor persona.

A mi amiga y compañera de trabajo, Karol Daniela Ortiz, a quien admiro y respeto por su amistad y compañerismo a lo largo de mi formación académica.

A todos mis familiares y amigos que aportaron su granito de arena y quienes me motivaron a continuar mi formación académica.

*Jhoán Sebastián Arévalo Ascanio*

## Contenido

Introducción.....	XIV
1- Determinación de la resistencia de la unión en juntas de mortero para mampostería en bloques de arcilla h-10 utilizados en el municipio de Ocaña.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	3
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Delimitaciones.....	4
1.6.1 Geográficas.....	4
1.6.2 Temporales.....	5
1.6.3 Conceptuales.....	5
1.6.4 Operativas.....	6
2. Marco Referencial.....	7
2.1 Marco histórico.....	7
2.2 Marco contextual.....	9

2.3 Marco conceptual.....	13
Cemento .....	13
Agregados .....	13
Mortero.....	13
Agua.....	14
Resistencia a la compresión .....	14
Mampostería.....	14
Velocidad de endurecimiento.....	14
Adherencia .....	15
Manejabilidad.....	15
Diseño de mezcla .....	15
Resistencia a la flexión.....	16
Tasa de absorción inicial.....	16
Tasa de absorción final.....	17
Módulo de corte .....	18
Módulo de elasticidad .....	19
Fluidez del mortero .....	19
Compresión del mortero de pega .....	19
Unidades de mampostería .....	19

Tipos y usos de mortero .....	20
Propiedades del mortero.....	24
2.4 Marco teórico.....	28
2.5 Marco legal .....	28
3. Diseño metodológico.....	31
3.1 Diseño metodológico .....	31
3.2 Población y muestra.....	31
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información .....	32
3.4 Análisis de información.....	32
4. Administración del proyecto .....	34
Recursos humanos .....	34
Recursos financieros .....	35
Recurso institucional.....	36
5. Presentación de resultados.....	37
5.1 Análisis granulométrico.....	37
5.2 Contenido de humedad del agregado fino .....	43
5.3 Absorción del agregado fino.....	45
5.4 Densidad aparente del agregado fino.....	49
5.5 Densidad del cemento.....	51

5.6 Diseño de mortero.....	54
5.7 Resistencia a la compresión del mortero .....	67
5.8 Fluidez del mortero .....	76
5.9 Resistencia a la compresión de los bloques .....	78
5.10 Tasa de absorción inicial de bloques .....	85
5.11 Absorción final de bloques .....	92
5.12 Medición de tamaño de bloques .....	96
5.13 Resistencia a la flexión en la unión mortero-bloque.....	103
Conclusiones.....	150
Recomendaciones .....	152
Referencias .....	153
Apéndice.....	156

## Lista de figuras

Figura 1 Ubicación de Colombia.....	10
Figura 2 Ubicación de Norte de Santander.....	11
Figura 3 Ubicación de Ocaña. ....	12
Figura 4 Cuarteo del agregado fino. ....	38
Figura 5 Tamizado del material.....	39
Figura 6 Pesaje de material.....	40
Figura 7 Curva granulométrica.....	42
Figura 8 Muestra húmeda.....	44
Figura 9 Secado en la estufa del agregado fino, y saturación del mismo.....	46
Figura 10 Eliminación del exceso de agua en el material.....	47
Figura 11 Peso del picnómetro lleno de agua y de material.....	48
Figura 12 Incorporación del cemento en el frasco y medición de temperatura.....	52
Figura 13 Relación agua-cemento para arena de forma redondeada y textura lisa.....	55
Figura 14 Relación agua cemento para un mortero tipo S.....	56
Figura 15 Relación entre el porcentaje de fluidez y relación agua-cemento.....	59
Figura 16 Moldes para ensayo de resistencia de mortero.....	69
Figura 17 Orden en que se deben apisonar las capas.....	70
Figura 18 Montaje de ensayo.....	71
Figura 19 Comparación gráfica entre la resistencia esperada y la resistencia real.....	74
Figura 20 Medición del diámetro de la muestra en el ensayo de fluidez.....	77
Figura 21 Secado de bloques en el horno.....	79

Figura 22 Medición del alto de los bloques.....	80
Figura 23 Implementos para el refrentado de los bloques.....	80
Figura 24 Enrasado de bloques.....	81
Figura 25 Bloques totalmente refrentados.....	81
Figura 26 Montaje de bloques sobre la lámina de acero .....	82
Figura 27 Resistencia a la compresión por fabricante.....	85
Figura 28 Nivelación de bandeja medición de la altura de la lámina de agua. ....	87
Figura 29 Pesaje de unidad de mampostería .....	87
Figura 30 Valor óptimo de TIA.....	91
Figura 31 Pesaje de los bloques saturados .....	93
Figura 32 Tasa de absorción final por fabricante. ....	95
Figura 33 Tamaño de bloques por fabricante .....	101
Figura 34 Capa de mortero sobre unidad de mampostería y medición de su altura.....	104
Figura 35 Aplomado de prismas.....	105
Figura 36 Curado de prismas.....	106
Figura 37 Cortado de prismas.....	107
Figura 38 Soportes de apoyo y nivelación de la base de apoyo del bloque inferior. ....	107
Figura 39 Placa de apoyo del bloque inferior y placa de distribución de carga. ....	108
Figura 40 Ajuste del centro de carga.....	109
Figura 41 Tornillos de la prensa superior .....	110
Figura 42 Ajuste de velocidad de carga .....	110
Figura 43 Falla del prisma.....	111

Figura 44 Medidas del brazo de carga y el prisma .....	112
Figura 45 Medición de las longitudes C y r. ....	113
Figura 46 Pesaje del brazo de carga .....	114
Figura 47 Pesaje de los prismas.....	115
Figura 48 Medición de las dimensiones b y d. ....	116
Figura 49 Muestra en proceso de carga. ....	116
Figura 50 Falla presentada en el prisma 3M5. ....	117
Figura 51 Carga máxima promedio para todos los fabricantes por tipo de mortero .....	129
Figura 52 Carga máxima promedio para el fabricante 1 .....	130
Figura 53 Carga máxima promedio para el fabricante 2 .....	131
Figura 54 Carga máxima promedio para el fabricante 3 .....	132
Figura 55 Carga máxima promedio para el fabricante 4 .....	133
Figura 56 Carga máxima promedio para cada tipo de fabricante.....	134
Figura 57 Carga máxima promedio por tipo de mortero .....	135
Figura 58 Resistencia a la flexión máxima promedio para todos los fabricantes por tipo de mortero .....	137
Figura 59 Resistencia a la flexión máxima promedio para el fabricante 1 .....	138
Figura 60 Resistencia a la flexión promedio para el fabricante 2 .....	139
Figura 61 Resistencia promedio para el fabricante 3 .....	140
Figura 62 Resistencia a la flexión promedio para el fabricante 4 .....	141
Figura 63 Resistencia a la flexión promedio para cada tipo de fabricante .....	142
Figura 64 Resistencia a la flexión promedio por tipo de mortero .....	143

Figura 65 Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo M para cada tipo de fabricante.....	144
Figura 66 Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo S para cada tipo de fabricante.....	145
Figura 67 Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo N para cada tipo de fabricante.....	146
Figura 68 Falla de las muestras 1S9 y 1S12.....	156
Figura 69 Falla de las muestras 2M10 y 4N1.....	156
Figura 70 Falla de las muestras 4N14 y4S8.....	157
Figura 71 Falla de las muestras 4S12 y 4N1.....	157
Figura 72 Falla de las muestras N9 y 4M7.....	158
Figura 73 Falla de las muestras 2S9 y 3M8.....	158
Figura 74 Falla de las muestras 4S11 y 4S12.....	159
Figura 75 Falla de las muestras 1S12 y 3M6.....	159
Figura 76 Falla de las muestras 3M9 y 3N14.....	160
Figura 77 Falla de las muestras 3M4 y 2N4.....	160
Figura 78 Falla de las muestras 1M7 y 2M11.....	161
Figura 79 Falla de las muestras 2M4 y 3N11.....	161
Figura 80 Falla de las muestras 3N5 y 1M10.....	162
Figura 81 Falla de las muestras 2M6 y 2N8.....	162

## Lista de tablas

Tabla 1 Tiempo recomendado de prehumedecimiento según la tasa inicial de absorción..	17
Tabla 2 Valores máximos de absorción.....	18
Tabla 3 Recursos financieros.....	35
Tabla 4 Determinación de la granulometría del agregado.....	41
Tabla 5 Contenido de humedad del agregado .....	45
Tabla 6 Determinación del porcentaje de absorción .....	49
Tabla 7 Determinación de la densidad aparente del agregado .....	50
Tabla 8 Densidad del cemento .....	53
Tabla 9 Relación agua cemento para cada tipo de mortero .....	56
Tabla 10 Consistencias del mortero .....	57
Tabla 11 Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena .....	60
Tabla 12 Valores de n para cada tipo de mortero .....	61
Tabla 13 Contenido de cemento para los diferentes tipos de mortero .....	63
Tabla 14 Contenido de agua por cada tipo de mortero.....	64
Tabla 15 Contenido de arena para cada tipo de mortero.....	65
Tabla 16 Dosificaciones en peso para cada tipo de mortero .....	67
Tabla 17 Datos del ensayo de resistencia a la compresión de mortero .....	73
Tabla 18 Dosificaciones en peso y relación agua cemento para cada tipo de mortero .....	75
Tabla 19 Resistencia a la compresión obtenida de las nuevas dosificaciones .....	75
Tabla 20 Resistencia a la compresión de los bloques.....	83
Tabla 21 Datos del ensayo de tasa de absorción inicial .....	89

Tabla 22 Análisis de datos del ensayo de tasa de absorción inicial .....	90
Tabla 23 Datos del ensayo de absorción .....	94
Tabla 24 Datos de medicion de tamaño para el fabricante 1.....	97
Tabla 25 Datos de medicion de tamaño para el fabricante 2.....	98
Tabla 26 Datos de medicion de tamaño para el fabricante 3.....	99
Tabla 27 Datos de medicion de tamaño para el fabricante 4.....	100
Tabla 28 Datos promedio para cada fabricante .....	102
Tabla 29 Datos usados del ensayo a flexión.....	119
Tabla 30 Resultados del ensayo a flexión en la unión de mampostería .....	123
Tabla 31 Datos promedio de resisitencia a la flexión para cada tipo de mortero por fabricante.....	127
Tabla 32 Resistencia a la flexión promedio por fabricante para cada tipo de mortero .....	128
Tabla 33 Parámetros de los morteros CM1 y CM2 .....	147
Tabla 34 Datos de resisitencia para los morteros tipo M, S y N .....	148
Tabla 35 Comparación de los morteros tipo S y CM1 .....	148
Tabla 36 Comparación de los morteros tipo N y CM2 .....	149
Tabla 37 Total de datos del ensayo de resisitencia a la flexión.....	163

## **Introducción**

La mampostería de arcilla es un material que se ha utilizado desde la antigüedad y aún en nuestros días es indispensable en la mayoría de edificaciones que se realizan; actualmente existen muchos programas de diseño que ayudan a los ingenieros a realizar un cálculo mucho más rápido y preciso, dichos programas necesitan valores iniciales que le permitan identificar las características físicas y mecánicas de los materiales, en este proyecto de grado se encontrará uno de esos valores: la resistencia a la flexión en la unión de mortero y bloque de arcilla H10.

En el transcurso de este proyecto se harán una serie de ensayos que permitirán conocer las características de los materiales necesarios para la producción de mortero de pega, además siguiendo la NTC-4017: Métodos para muestreos y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005), se realizarán algunos ensayos que permitirán la clasificación de los bloques con los que se va a trabajar, conociendo parámetros como la resistencia a la compresión, la tasa de absorción inicial, absorción y la clasificación por tamaños.

Por último, utilizando la norma ASTM-1072: Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength, se llevará a cabo el procedimiento para determinar el valor final, correspondiente a la resistencia flexural en la unión mortero – bloque

# **1- Determinación de la resistencia de la unión en juntas de mortero para mampostería en bloques de arcilla h-10 utilizados en el municipio de Ocaña.**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Según la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-10), en Norte de Santander de los 40 municipios, 31 se encuentran en zona de amenaza sísmica alta y disipación de energía especial, DES (NSR, 2010) por lo tanto, es fundamental conocer detalladamente cada parámetro de los elementos y materiales utilizados en la construcción, bien sea para tener la suficiente información para hacer el modelado de las estructuras en diversos softwares, o para tener un valor numérico estadístico que nos brinde información acerca de la calidad de los productos que ofrecen los diferentes proveedores del sector.

Antes de identificar las diferentes patologías de falla que se presentan en un espécimen de mampostería, es de vital importancia definir las causas por las que se originan, además de los factores ambientales a los que se encuentran expuestos dichos muros, debemos tener en cuenta las juntas entre bloques ya que las grietas pueden iniciarse en ellas y generalmente este aspecto es ignorado.

Un estudio realizado por Venumadhava en el año 1995 (Venumadhava , Venkatarama , & Jagadish, 1995) mostró que la resistencia a la compresión de la mampostería no se reduce significativamente, incluso cuando la resistencia del mortero se reduce significativamente, si no se altera la resistencia de la unión de ladrillo, demostrando que para nuestro caso estudiar la

unión entre bloque y mortero es fundamental para evaluar la resistencia del muro. (Sarangapani, Venkatarama Reddy, & Jagadish, 2005).

Es importante reconocer que en la mayoría de los casos se investiga sobre las diferentes características físicas y mecánicas de las unidades de mampostería como bloques y ladrillos, que son los mayormente utilizados en la región, pero estos investigadores por lo general se olvidan de hacer un estudio exhaustivo en el material de unión, aun sabiendo (por resultados experimentales) que en algunas ocasiones el origen de la falla proviene de ahí.

La teoría asume, para los criterios de falla, que al momento en que esta ocurre la unión bloque-mortero permanece intacta, sin embargo, en los experimentos en prismas unidos por pila se indica que, cuando la resistencia de la unión bloque-mortero es pobre, la falla del prisma también se acompaña de una falla de la unión bloque-mortero. (Sarangapani, Venkatarama Reddy, & Jagadish, 2005)

A pesar que en Ocaña existe un músculo profesional considerable en materia de construcción, generalmente se enfocan en diseñar los concretos utilizados en los diversos elementos estructurales, pero relegan a un segundo plano la normatividad establecida para el diseño de morteros, realizando estos de forma empírica sin algún tipo de criterio científico.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo influyen los materiales del mortero y bloque en la resistencia al corte de la unión bloque-mortero para bloques de arcilla H-10 utilizados en Ocaña, N.STD?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la resistencia al corte de la unión entre prismas construidos con bloques de arcilla H-10 y mortero utilizados en Ocaña, N. STD.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar las características de los materiales empleados en la fabricación de prismas y muros de bloque H-10 y mortero.
- Comparar el comportamiento mecánico de los diferentes tipos de mortero utilizados.
- Establecer un valor estadístico que relacione la resistencia de la unión mortero-bloque para cada tipo de mortero y proveedor de bloque.

## **1.4 Justificación**

Esta investigación tendrá como enfoque principal determinar la resistencia que presenta la unión de mortero en los bloques de arcilla H-10, para bloques de varios proveedores que se utilizan en la ciudad de Ocaña y con los morteros tipo M, N y S, que será de gran importancia en modelados estructurales, y a su vez, con estos modelados que reflejan mejor lo que ocurre en la realidad, se podrán construir edificaciones que muestren un mejor comportamiento sísmico.

Es bien sabido que los muros contribuyen a darle estabilidad a una estructura, por lo que deben tenerse en cuenta en igual medida las características de cada uno de los elementos que los componen, los cuales son los bloques y el mortero

Es importante mencionar, que este tipo de investigación es poco frecuente, lo que imposibilita que los ingenieros de la región tengan acceso a datos confiables sobre este parámetro, obviándolo en muchos casos, o tomando para sus diseños los valores que vienen predeterminados en los programas de modelado de estructuras que están muy lejos de mostrar los valores que reflejan realmente las condiciones en Ocaña.

## **1.5 Hipótesis**

Cuando se aumenta la resistencia a la compresión del mortero significativamente y se mantienen las características del bloque y de la junta, la resistencia al corte en la unión aumenta proporcionalmente, y viceversa.

La resistencia al corte en la unión bloque - mortero se ve influenciada tanto por el tipo de mortero como por las características físicas y mecánicas del bloque.

## **1.6 Delimitaciones**

### **1.6.1 Geográficas**

Para la ejecución de esta investigación se requiere el mortero utilizando arena y cemento comercializados en la ciudad de Ocaña, y bloques H-10 suministrados por chircales de la ciudad de Cúcuta y Ocaña.

### **1.6.2 Temporales**

Tomando en consideración las limitantes que tiene la institución por la pandemia del COVID – 19, el proyecto se realizará dentro de los 3 meses siguientes a la fecha en la que se restablezca el uso y normalidad de los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña.

### **1.6.3 Conceptuales**

La resistencia es la capacidad que tiene un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas sin colapsar, depende de las propiedades mecánicas de los materiales constructivos y del tamaño de la sección. (Cabrera, 2011)

El bloque H10 tiene dimensiones de 10cm x 33 cm x 20 cm, está hecho de arcilla cocida con perforaciones que reducen su peso y volumen, lo que facilita el corte y manejo del mismo. (ARDISA, 2019)

La resistencia de rotura es la tracción, compresión o esfuerzo de cizalladura que puede resistir un material sin romperse. También llamada carga unitaria de rotura. (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2017)

Dosificación de morteros de pega: La dosificación de los componentes de los morteros de pega debe basarse en ensayos previos de laboratorio o en experiencia de campo en obras similares y se clasifican como H, M, S o N, de acuerdo con la dosificación mínima de sus componentes y con la resistencia a la compresión según la tabla D.3.4-1. La denominación de morteros tipo H, M, S o N es exclusiva para morteros de pega de mampostería y no deberá emplearse para designar otro tipo de morteros. (NSR, 2010).

#### **1.6.4 Operativas**

El proyecto se realizó en la Universidad Francisco de Paula Santander, seccional Ocaña por medio del Departamento de Ingeniería Civil y sus laboratorios de suelos y resistencia de materiales y estructuras.

## 2. Marco Referencial

### 2.1 Marco histórico

Los primeros indicios de uso de la mampostería datan de aproximadamente 15000 años, cuando fue necesario para los nómadas protegerse de los peligros de la naturaleza, fue entonces cuando apilaron piedras con el fin de formar un lugar en el que pudieran protegerse, posteriormente se utilizó mortero de barro el cual permitió acomodar y asentar mejor estas piedras, además se pudo incrementar la altura de dichos apilados. En algunos lugares donde la existencia de piedras era prácticamente nula, se desarrolló el uso de masas de barro secadas al sol, estas masas en lugares como Jericó tenían forma de pan y eran fabricadas a mano. (Dcnetwork, 2018)

El ladrillo cerámico se remonta a Mesopotamia porque allí existían abundantes depósitos de arcilla, pero no de rocas. Las unidades de mampostería eran asentadas con morteros de yeso y cal. Dentro de los primeros reyes y gobernantes de esta civilización se tiene a Nabucodonosor II (604 a.C.- 562 a.C.), quién durante su periodo de reinado en Babilonia construyó el Zigurat de Etemenanki y el de Borsippa; que en su núcleo eran construidos con adobes secados al sol, revestidos con una gruesa capa de ladrillos cocinados en hornos, y en la cima era de ladrillos esmaltados.

Por otro lado, Grecia carecía de las canteras egipcias, pero poseía los mejores mármoles con los cuales se revistieron sus gruesas piezas de mampostería de piedra caliza asentada con morteros de cal. (Dcnetwork, 2018)

Uno de los imperios pioneros en el uso a gran escala de la mampostería fue el Romano, quienes para muchas de sus obras importaron piedra de las canteras egipcias y mármol griego.

En muchos otros casos, emplearon la piedra de sus depósitos de caliza, travertino y tufa volcánica, y emplearon los avances en mampostería de ladrillos de arcilla de los Sumerios. También inventaron el mortero de cemento y el concreto; compuesto por tres sustancias: aglomerante hidráulico, agregado grueso y agua. El aglomerante hidráulico se elaboraba mezclando dos partes de arena volcánica muy fina con una parte de cal. (Dcnetwork, 2018)

En Europa se detuvo por varios siglos el avance de la tecnología de la mampostería, del cemento y del concreto, ya que los Romanos dejaron de fabricar ladrillos, para el año 1756 Smeaton reconoció la necesidad de usar en Inglaterra una mezcla de cal y puzolana italiana para la reconstrucción de partes de estructuras sumergidas o expuestas a la acción del mar. En Londres, luego del incendio de 1666 se prefirió usar la mampostería en lugar de la madera.

En el Siglo XVIII con la revolución industrial, con el uso de combustible a gas y el rediseño de hornos, se incrementó la aplicación de la mampostería de ladrillos de arcilla en Inglaterra y de la misma forma hubo un mejoramiento en la producción de las piezas con la creación de máquinas auxiliares como molinos, trituradoras y mezcladoras para la materia prima, y extrusoras y prensas mecánicas para el formado de las unidades.

En las colonias de la costa Atlántica norteamericana, se realizaron grandes producciones artesanales de ladrillos de arcilla, en el resto de América el ladrillo se trajo como lastre en los barcos, que en su vuelta trasladarían tesoros a Europa.

Algunos hechos relevantes en los Siglos XVIII y XIX fueron: en 1796 se patenta el cemento romano, en 1824 se inventa y patenta el cemento portland, de 1820 a 1840 se inventa la máquina para extruir ladrillos de arcilla, se usa por primera vez la mampostería reforzada y se

inventa el horno de producción continua y de 1850 a 1870 se inventa y patenta el bloque de concreto, el ladrillo sílico-calcáreo y el concreto reforzado. (Dcnetwork, 2018)

La mampostería sigue siendo una solución muy usada, sobre todo, en el sistema tradicional de construcción. Entre las alternativas tenemos los ladrillos cerámicos, los bloques de concreto o las placas sílico calcáreas, por citar algunos ejemplos.

Existen ladrillos de diferentes materiales, pero los más usados son los cerámicos, los cuales se obtienen mediante la mezcla adecuada entre arcilla y agua. Luego, pasan a ser moldeados, secados y cocidos a altas temperaturas de una pasta arcillosa.

Actualmente, se emplea la mampostería estructural, que es aquella que está compuesta por bloques de concreto o arcilla y que forma un sistema monolítico con barras de acero, mallas electrosoldadas u otros elementos que permiten resistir cargas de gravedad, sismo y viento. En nuestro país su uso se ha intensificado de tal manera que ya se cuenta con un reglamento (NSR – 10, Título D), donde se especifican las características, requisitos constructivos, métodos y criterios de diseño.

En nuestra región la mampostería es ampliamente usada en la construcción, debido a su bajo costo y versatilidad, por esto es común encontrar mampostería de arcilla en casi todas las etapas de construcción de una estructura de vivienda, últimamente su uso ha pasado de lo estructural a lo arquitectónico, ratificando su uso masivo en las edificaciones.

## **2.2 Marco contextual**

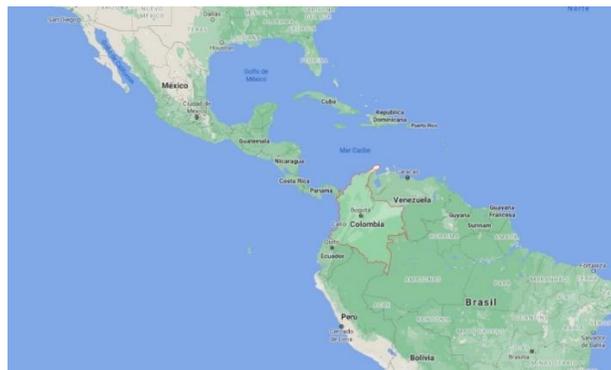
El desarrollo de esta investigación se realizará en el municipio de Ocaña, con el apoyo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, en Norte de Santander, Colombia,

utilizando el laboratorio de suelos y de resistencia de materiales, además se contará con el apoyo de expertos.

A Colombia (Véase la figura 1) lo compone el Océano Pacífico, Panamá, la selva Amazónica y el Atlántico. De esta manera, es cruzado por la cordillera andina con una variedad de clima y ecosistemas. Es un país privilegiado por tener dos costas: el mar Caribe y el océano Pacífico.

Colombia tiene cuatro límites naturales, estos definen su área geográfica; al norte: el Mar Caribe; al sur: las selvas del Amazonas y las sierras andinas; al Occidente: el Océano Pacífico; y al Oriente: los llanos del Orinoco.

Colombia limita al sur con Ecuador y Perú. Hacia el noroeste está Panamá y el océano Pacífico. Al este se ve a Venezuela seguido por Brasil. Cada uno bien delimitado y separado por contratos internacionales. También tiene fronteras marítimas: en el mar Caribe limita con Nicaragua y está bajo supervisión internacional, luego con Panamá, Costa Rica, República Dominicana, Haití, Honduras, Jamaica y Venezuela.



**Figura 1** Ubicación de Colombia.

Fuente: GoogleMaps.

Norte de Santander (Véase la figura 2) es uno de los 32 departamentos de Colombia. Está ubicado en la zona nororiental del país, sobre la frontera con Venezuela. Se localiza geográficamente entre los  $06^{\circ}56'42''$  y  $09^{\circ}18'01''$  de latitud norte y los  $72^{\circ}01'13''$  y  $73^{\circ}38'25''$  de longitud oeste.

Tiene una extensión de 22.130 km<sup>2</sup>, que equivalen al 1.91% del millón ciento cincuenta y nueve mil ochocientos setenta y un kilómetros cuadrados (1.159.871,41 km<sup>2</sup>) del territorio nacional. Limita al norte y al este con Venezuela, al sur con los departamentos de Boyacá y Santander, y al oeste con Santander y Cesar. (Gobernación de Norte de Santander, 2020)



**Figura 2** Ubicación de Norte de Santander.

Fuente: Gobernación de Norte de Santander.

Ocaña (Véase la figura 3) está situada a  $8^{\circ} 14' 15''$  Latitud Norte y  $73^{\circ} 2' 26''$  Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km<sup>2</sup>,

los cuales representan el 2,2% del departamento. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km<sup>2</sup>. Posee una altura máxima de 2.065 m sobre el nivel del mar y una mínima de 761 m sobre el nivel del mar.

Departamentalmente limita al norte con el municipio de Gonzáles, al occidente con el municipio de Río de Oro, y al sur con el municipio de San Martín.

Municipalmente limita al oriente con San Calixto, La Playa y Ábrego; al norte con Teorama, Convención y El Carmen; y al sur con Ábrego. (Alcaldía Municipal de Ocaña, 2020)



**Figura 3** Ubicación de Ocaña.

Fuente: Wikipedia.

En cuanto a la procedencia de los materiales, tanto el agregado como el cemento se comprarán en las ferreterías de la ciudad de Ocaña, y luego se realizarán los ensayos necesarios para determinar sus características.

## **2.3 Marco conceptual**

### **Cemento**

Es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, que unidos con yeso forman una masa denominada Clinker. Es un material aglutinante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, que puede fraguar y endurecer en presencia de agua para unir los agregados de la mezcla, hasta formar una masa sólida con la resistencia adecuada. (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2017).

### **Agregados**

Es el conjunto de gránulos, granos o partículas inertes que por su origen, tamaño y naturaleza están destinados a ser aglomerantes, y que en presencia del agua y el cemento forman una piedra artificial (concreto o mortero). (Anefa, 2010).

### **Mortero**

En el sentido general de la palabra, el mortero puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y es ampliamente utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como pañete, repello o revoque. (Sanchez de Guzmán, 1986)

Mezcla plástica de materiales cementantes, agregado fino y agua, usado para unir las unidades de mampostería. (NSR, 2010).

### **Agua**

Es el componente que entra en contacto con el cemento para darle las propiedades de fraguado y endurecimiento. Ocupa alrededor del 15% del volumen total del concreto para cumplir la función de hidratarlo y darle manejabilidad a la mezcla. (Cabrera, 2011).

### **Resistencia a la compresión**

Mínima resistencia nominal de la mampostería a la compresión, medida sobre el área transversal neta y sobre la cual se basa su diseño. (NSR, 2010).

### **Mampostería**

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

### **Velocidad de endurecimiento**

Los tiempos de fraguado inicial y final de la mezcla deben estar entre límites adecuados. Por lo general, se aceptan valores entre 2 y 24 horas, respectivamente. Sin embargo, estos

dependen de diversos factores tales como las condiciones del clima o la composición de la mezcla y hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivo. (Sanchez de Guzmán, 1986).

### **Adherencia**

En general la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo cargas transversales y excéntricas dándole resistencia a la estructura. (Sanchez de Guzmán, 1986).

### **Manejabilidad**

Al igual que en el concreto, es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en este caso en las unidades de mampostería o en revestimientos. La manejabilidad está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentran estado plástico. (Sanchez de Guzmán, 1986).

### **Diseño de mezcla**

El diseño de mezclas es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí: La selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos), y la determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir, tan económico

como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales. (Laura Huanca, 2006).

### **Resistencia a la flexión**

Es la capacidad de un material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal. El objetivo del ensayo de flexión es determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y deformaciones en los puntos máximo y de rotura, y módulo elástico en flexión teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta. (Soriano, 2014).

### **Tasa de absorción inicial**

La tasa inicial de absorción (T.I.A.) dada en gramos por centímetro cuadrado por minuto ( $\text{gr}/\text{cm}^2/\text{min}$ ), la cual mide la cantidad de agua que absorbe el ladrillo en 1 minuto, debido a que los poros de los bloques cerámicos perforados horizontalmente, esta propiedad tiene relación con la capacidad adherencia y el comportamiento del mortero. Una adherencia deficiente afecta la resistencia de la mampostería como también la durabilidad y la penetración de agua. (Espinel Blanco, Velásquez Pérez, & Pallares, 2016)

La NTC-4205: Unidades de mampostería de arcilla cocida (NTC 4205, 2009), establece como requisito mínimo una tasa de absorción de 0,1 g/cm<sup>2</sup>/min, medida para un tiempo de prehumedecimiento recomendado menor a 5min, tal y como se indica en la tabla 1.

Tabla 1

*Tiempo recomendado de prehumedecimiento según la tasa inicial de absorción.*

Tasa inicial de absorción g/cm <sup>2</sup> /min	Tiempo recomendado de prehumedecimiento
<0.10	5 minutos
<0.15	1 hora
<0.25	24 horas

Fuente: ICONTEC, Catálogo de Normas Técnicas Colombianas 2000.

### **Tasa de absorción final**

Este ensayo tiene como finalidad calcular el incremento en la masa de un material seco, al ser sumergido en agua durante determinado tiempo (24 horas, en este caso) a temperatura ambiente. El aumento en la masa se debe al agua que se introduce en el material por medio de los poros, pero no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

En la NTC-4205: Unidades de mampostería de arcilla cocida (NTC 4205, 2009), se establece como requisito un porcentaje de absorción de agua máxima un promedio de 13%; y un valor máximo por unidad de 16%, tal y como se indica en la tabla 2.

Tabla 2

*Valores máximos de absorción*

Tipo	Absorción de agua máxima en %			
	Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	13	16	13.5	14
PV	13	16	13.5	14
M	13	16	13.5	14

Fuente: ICONTEC, Normas técnicas colombianas, 2000

### **Módulo de corte**

También llamado módulo de cizalladura o módulo de elasticidad transversal, es una constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes. Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de elasticidad trasversal tiene el mismo valor en todas las direcciones del espacio, en materiales anisótropos se pueden definir varios módulos de elasticidad transversal, y en los materiales elásticos no lineales dicho módulo no es una constante, sino que es una función dependiente del grado de deformación. (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2017).

### **Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo al que está sometido un material y su deformación unitaria, dicho esfuerzo debe estar por debajo del límite de elasticidad del material. (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2017).

### **Fluidez del mortero**

Este ensayo consiste en determinar la cantidad de agua que necesita un mortero hidráulico para su homogenización entre el cemento y el agregado fino (Véase la figura 20 y el capítulo 5.8). (NTC 111, 1997).

### **Compresión del mortero de pega**

Para determinar la resistencia a la compresión se ensaya el mortero en cubos de 50 mm 0 50.8 mm de lado, los cuales después de un día se desmoldan y sumergen en agua, estas muestras al ser ensayados proporcionan un medio para determinar la resistencia a la compresión del mortero de pega, dado que su resultado permite analizar si la conformación y especificaciones de la mezcla son las adecuadas para la elaboración de los prismas (Véase la figura 18 y el capítulo 5.7). (NTC - 220, 2012).

### **Unidades de mampostería**

Las unidades macizas de mampostería (tolete) sólo se pueden utilizar en los siguientes tipos de estructuras de mampostería clasificados en D.2.1 de la NSR-10, mampostería de muros

confinados, mampostería de cavidad reforzada y mampostería reforzada externamente. También se pueden utilizar, combinadas con unidades de perforación vertical para mampostería parcialmente reforzada. El método más conocido en la región para pegar las unidades de mampostería es el mortero, de los cuales se enuncian a continuación sus tipos y usos más frecuentes. (NTC 4205, 2009).

### **Tipos y usos de mortero**

Se definen 11 de los tipos más usados de mortero, de los cuales en el presente proyecto solo se van a utilizar los tipos M, N y S, los demás se enuncian y caracterizan, pero no se tendrán en consideración para su uso.

#### **Mortero Tipo N**

Por lo general, el Tipo N es recomendable utilizarlo en paredes exteriores y de superficies por encima del nivel del suelo expuestas a condiciones climáticas severas y a altas temperaturas. La mezcla de mortero de laboratorio Tipo N tiene una resistencia a la compresión media. (Fenarq, 2019)

#### **Mortero Tipo O**

Esta mezcla de Tipo O tiene una resistencia a la compresión relativamente baja, sólo 350 psi. Es utilizado principalmente para paredes interiores, sobre rasantes y sin carga. En algunas aplicaciones interiores se puede utilizar el tipo O como alternativa al tipo N, pero su uso exterior es limitado debido a su baja capacidad estructural. (Fenarq, 2019).

### **Mortero Tipo S**

El mortero de cemento tipo S, ofrece una alta resistencia a la compresión de más de 1,800 psi y una gran resistencia a la adhesión, es adecuado para numerosos proyectos a nivel del suelo o por debajo de éste. Tiene un rendimiento excelente para soportar la presión del suelo y las cargas sísmicas y de viento. (Fenarq, 2019).

### **Mortero Tipo M**

El Tipo M tiene la mayor cantidad de cemento Portland y es recomendado para cargas pesadas y para aplicaciones por debajo del nivel del suelo, incluyendo cimientos, muros de contención y caminos de entrada. Mientras que los tipos M proporcionan al menos 2,500 psi de resistencia a la compresión, ofrecen propiedades de adhesión y sellado relativamente pobres, que los hacen inapropiados para muchas aplicaciones expuestas. El tipo M es el adecuado para el uso con piedra natural ya que ofrece una resistencia similar al de la piedra. (Fenarq, 2019).

### **Mortero Tipo K**

Este tipo se utiliza raramente en construcciones nuevas, pero puede ser especificado para restauraciones u otras aplicaciones especiales. Tiene una resistencia a la compresión muy baja de sólo 75 psi. Dada su suavidad, el tipo K se utiliza principalmente para restaurar la mampostería en edificios históricos o antiguos que requieren una mezcla especial que no es significativamente más fuerte que la mampostería existente (Fenarq, 2019).

### **Mortero de cemento**

Es la variedad más empleada en bricolaje, albañilería y construcción. Esta pasta de agarre se obtiene mezclando cemento gris y arenas de distinta procedencia y grosor. Es el mortero más polivalente y dependiendo del tipo de cemento se conseguirán unas propiedades u otras. Para conseguir un mortero resistente, deberás usar las proporciones adecuadas en la mezcla. Si es pobre de cemento, la mezcla será áspera y difícil de trabajar y si tiene exceso de cemento puede provocar fisuras durante el secado. Se usa para la reparación de muros y suelos, la colocación de ladrillos o nivelación. (Tuandco, 2018).

### **Mortero seco**

Este mortero ya viene preparado y solo hay que mezclarlo con agua. Se usa en enfoscados y restauración y tiene el mismo uso que el mortero de cemento mezclado en obra. (Tuandco, 2018).

### **Mortero de cal**

Es una mezcla a base de áridos, cal y aguas. Ha sido muy utilizada desde la antigüedad. Se usa para fines decorativos y para construcciones tradicionales por su gran plasticidad y es menos resistente que el mortero de cemento. Una variedad común del mortero de cal es el mortero mixto o bastardo que se emplea en la colocación de ladrillo visto o en restauración de construcciones de piedra. También admite pigmentos para conseguir un color determinado. (Tuandco, 2018).

**Mortero monocapa**

Es una variedad de mortero ya preparado -solo debes añadirle agua a proporción- y es muy usado en la decoración de fachadas de exterior por la variedad de acabados que ofrece. Es muy resistente y con propiedades hidrófugas. También son recomendados en paredes sometidas a la lluvia. Se aplica directamente sobre la estructura de ladrillo, sin necesidad de enfoscar previamente. También se puede emplear en interiores. El acabado final puede ser fratasado o raspado con llana de púas y no hace falta aplicar pinturas posteriores. (Tuandco, 2018).

**Mortero refractario**

Esta masa es muy resistente al calor. Está fabricado a partir de cemento de aluminato de calcio y arena refractaria y se utiliza en la construcción de hornos o chimeneas. Resiste temperaturas muy altas y los humos de la combustión. (Tuandco, 2018)

**Mortero cola**

Este tipo de mortero es utilizado en la colocación de piezas cerámicas en suelos y paredes, embaldosados y alicatados debido a su gran plasticidad y capacidad de agarre. El mortero de cola está fabricado a partir de cemento Portland como base y diferentes resinas y áridos muy finos. Existen diversos tipos que se adaptan a las necesidades de cada pieza cerámica, se caracterizan por necesitar poca agua para su amasado y porque se endurecen muy rápido, por lo que hay que amasar únicamente aquello que se sea capaz de abarcar en un tiempo corto de trabajo. (Tuandco, 2018)

## **Propiedades del mortero**

Dentro de las prestaciones que ofrece un mortero debemos distinguir dos etapas diferenciadas por su estado físico, que se denominan estado fresco y estado endurecido. La primera responde a la fase del mortero una vez mezclado y amasado. Su duración varía de acuerdo con el tiempo de fraguado requerido por la proporción que integra la mezcla, así como por la temperatura, humedad, etc. En esta etapa el mortero es plástico y trabajable, lo que permite su puesta en obra. Superada esta fase el mortero endurece hasta consolidarse.

Las propiedades relativas al estado fresco se relacionan con la puesta en obra e influirán principalmente en el rendimiento y la calidad de la ejecución. Los requisitos derivados, por tanto, responden a las exigencias del constructor y operarios.

Las propiedades en estado endurecido son estipuladas por las prescripciones de proyecto y por el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentarias. (Cabrera, 2011)

## **Características del mortero fresco**

### **Consistencia**

La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. La consistencia adecuada se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría del mortero, cantidad de finos, empleo de aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, etc. La trabajabilidad mejora con la adición de cal, plastificantes o aireantes. Puesto que la consistencia se adquiere mediante adición de agua a

la masa de arena y conglomerante, esta propiedad se relaciona directamente con la proporción agua/cemento, crucial para el completo desarrollo de las propiedades resistentes del mortero. (Cabrera, 2011).

### **Tiempo de utilización o de trabajabilidad (tiempo de uso)**

Es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin adición posterior de agua con el fin de contrarrestar los efectos de endurecimiento por el principio del fraguado. (Cabrera, 2011).

### **Densidad**

La densidad del mortero está directamente relacionada con la de sus materiales componentes, así como con su contenido en aire. (Cabrera, 2011).

### **Adherencia (en estado fresco)**

La adherencia (adhesión si atendemos a su fundamento físico) se considera tanto en el mortero fresco como en el endurecido, aunque por distintas causas. La adherencia del mortero fresco es debida a las propiedades reológicas de la pasta del conglomerante, donde la tensión superficial de la masa del mortero fresco es el factor clave para desarrollar este tipo de característica. (Cabrera, 2011).

### **Capacidad de retención de agua**

De esta propiedad depende la trabajabilidad del mortero fresco. La retención de agua se haya íntimamente relacionada con la superficie específica de las partículas de árido fino, así como con conglomerante y, en general, con la viscosidad de la pasta. Un mortero tiende a conservar el agua precisa para hidratar la superficie de las partículas del conglomerante y árido, así como las burbujas de aire ocluido. El agua que tenga en exceso la cederá fácilmente por succión del soporte sobre el que se aplica. La retención de agua influye en el grado de hidratación del conglomerante, lo que determinará el ritmo de endurecimiento del mortero. (Cabrera, 2011).

### **Características del mortero endurecido**

#### **Resistencia mecánica**

El mortero en la mayor parte de sus aplicaciones debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las sucesivas hiladas de ladrillos o bloques. (Cabrera, 2011).

#### **Adherencia (estado endurecido)**

La adherencia se basa en la resistencia a tracción de la unión entre un mortero y un soporte definido. Esta propiedad se determina por un ensayo de arrancamiento directo perpendicular a la superficie del mortero. (Cabrera, 2011).

### **Retracción**

La retracción es una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha retracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero. Se ha demostrado que las retracciones son más elevadas cuanto más ricos en cemento y elementos finos son los morteros. También se ha observado que la retracción aumenta cuanto mayor es la cantidad de agua de amasado. (Cabrera, 2011).

### **Densidad (estado endurecido)**

La densidad del mortero dependerá fundamentalmente de la que tengan sus componentes: arenas, adiciones, etc. También es determinante la granulometría y volumen que éstos ocupen en su dosificación. Además, incide en la densidad la relación agua/cemento del mortero. A medida que aumenta dicha relación más poroso es el mortero. (Cabrera, 2011).

### **Comportamiento térmico**

Esta característica viene dada por la conductividad térmica del material que indica la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo por una superficie unidad del material. La conductividad depende de la densidad, porosidad, contenido de humedad, etc. En el caso de los morteros estos parámetros dependen de los componentes y proporciones que contengan siendo fundamental la densidad final de la mezcla. (Cabrera, 2011)

## **2.4 Marco teórico**

Se utilizará el libro Tecnología del concreto y del mortero, de Diego Sánchez de Guzmán, escrito en el año 1986 en la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá DC, por su pertinencia en la metodología para hacer el diseño de mezclas del mortero ya que se tienen en consideración las principales variables, además de ofrecer un procedimiento de fácil interpretación por medio de tablas y figuras, las cuales se irán mostrando en el desarrollo del presente proyecto.

El trabajo realizado por G. Sarangapani, B. V. Venkatarama Reddy y K. S. Jagadish, usa una prueba de llave de unión modificada para determinar la resistencia a la flexión para diferentes tipos de mortero y revestimientos en los bloques de mortero, concluyendo que para un mortero dado, un aumento en la resistencia de la unión invariablemente conduce a un aumento en la resistencia a la compresión de la mampostería y que un mortero débil con una buena adherencia a menudo puede funcionar mejor que un mortero más fuerte con una resistencia de adhesión más pobre.

## **2.5 Marco legal**

Es necesario tener la autorización por parte de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, para el uso de los laboratorios de suelos y resistencia de materiales con el fin de poder realizar los ensayos pertinentes a los agregados y especímenes de mampostería; es necesario también cumplir con los requerimientos especificados en el Reglamento de Construcción Sismorresistente del 2010 (NSR-10) que incluyen satisfacer lo señalado en la Normas Técnicas Colombianas (NTC) que se enuncian a continuación:

NTC 220: Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado (NTC - 220, 2012).

Con esta norma se busca conocer la resistencia la compresión que tenga el mortero de cemento hidráulico empleado, para esto se utilizan cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado con varias dosificaciones que se dejan curar por 28 días para luego determinar su resistencia.

NTC 221: Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. El objetivo de este método es conocer la densidad del cemento hidráulico para facilitar y hacer más exacto el diseño de la mezcla de morteros (NTC - 221, 1999).

NTC 237: Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino (NTC 237, 1995).

Con este ensayo se busca conocer que cantidad de agua es capaz de absorber el agregado fino, para calcular la cantidad de agua que debe adicionarse a la mezcla de mortero

NTC 1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados (NTC 1776, 1994).

Con este ensayo se busca conocer que cantidad de agua tiene el agregado con el que se va a trabajar siendo evidente que el material no se adquiere completamente seco.

NTC 4017: Métodos para muestreo y ensayo de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005).

El objetivo de este método es conocer algunas de las características físicas y mecánicas que presentan los bloques de arcilla H10 con los que se va a desarrollar la investigación.

ASTM-1072: Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength (ASTM 1072, 1999),

El objetivo de este ensayo es determinar el valor de la resistencia a la flexión proporcionado por la unión entre el mortero y los bloques de mampostería.

### **3. Diseño metodológico**

#### **3.1 Diseño metodológico**

Según el criterio de Livian Navarro Caro en su libro “Desarrollo, ejecución y presentación del proyecto de investigación”, el tipo de investigación que se desarrolla en este proyecto en cuanto al diseño, es de tipo experimental, ya que esta es apropiada para apreciar cuáles variables son la causa de determinados efectos. Es decir, comprender las razones por las cuales suceden determinados eventos. Según el nivel de profundidad de la investigación, es de tipo correlacional, puesto que persigue determinar el grado de relación existente entre dos o más variables.

#### **3.2 Población y muestra**

Para este estudio la población estará conformada por el único fabricante de bloques de arcilla H10 de la ciudad de Ocaña y por tres de los fabricados en la ciudad de Cúcuta que se comercializan en el municipio; en adelante se seguirán nombrando de la siguiente manera:

Ladrillera Colcúcuta: Fabricante 1

Ladrillera Ocaña: Fabricante 2

Tejar la estrella: Fabricante 3

Ladrillera el Zulia: Fabricante 4

Se pueden seleccionar varios métodos de muestreo entre los que se encuentra el no probabilístico, una subcategoría de este es la opinión de un experto que se encuentra en fundamentada en la experiencia y conocimiento que éste tenga sobre el tema; en este caso el

tamaño de la muestra se determinó teniendo en cuenta la opinión del Doctor Nelson Afanador García, quien sugirió trabajar con 4 tipos de fabricantes entre los que se incluía la Ladrillera Ocaña, como único fabricante del municipio y Tejar la estrella, Ladrillera el Zulia y Colcúcuta, fabricantes en la ciudad de Cúcuta y proveedores en Ocaña.

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información**

Entre los métodos cuantitativos y socio críticos utilizados se encuentra la observación y la entrevista, estas se llevaron a cabo haciendo un barrido informativo en la ciudad de Ocaña donde se preguntaba a cada propietario de los establecimientos vendedores de bloques de la ciudad para saber la procedencia de este producto, llegando a conocer que en el municipio se comercializa con proveedores cucuteños y con el único fabricante local.

Se utilizaron una serie de Normas Técnicas Colombianas (NTC) para el análisis de las características físicas y mecánicas de los materiales utilizados, como lo son: el cemento, el agregado fino y los bloques de arcilla H10, con esta normatividad se busca estandarizar los conceptos y resultados esperados, con los que posteriormente se realiza el diseño de mezclas de tres tipos de mortero hidráulico (M, S y N) utilizando el procedimiento descrito en el libro Tecnología del Concreto y del Mortero, para finalmente hacer los muretes de bloques que cumplan las condiciones y parámetros establecidos en la norma.

### **3.4 Análisis de información**

Para el análisis y procesamiento de datos se desarrollarán las siguientes actividades:

- Realización de los ensayos de caracterización del agregado fino y del cemento.
- Diseño de morteros tipo M, S y N utilizando Visual Basic en Excel
- Evaluación de las características físicas y mecánicas de los bloques de arcilla H10.
- Verificación de la resistencia de los morteros
- Fabricación de los muretes de bloques de arcilla y mortero hidráulico
- Compilación de información
- Análisis y tabulación de resultados.

## 4. Administración del proyecto

### Recursos humanos

En la ejecución de este proyecto están involucradas las personas que se enuncian a continuación:

- Jhoan Sebastian Arevalo Ascanio y Karol Daniela Ortiz Vega, estudiantes de décimo semestre de ingeniería civil de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, quienes serán los responsables de la realización de los ensayos de laboratorio, documentación, análisis y elaboración de informes del proyecto, siendo estos los autores del proyecto de investigación y estarán presentes en el todo el transcurso de la investigación.
- El ingeniero Nelson Afanador García, doctor en estructuras de la Universidad de Brasilia, es el tutor del proyecto y quien guiará el proceso de investigación que los autores seguirán, y estará en todo el transcurso de la investigación.
- Oficial de obra experto en fabricación de muros de mampostería, quien estará presente en la investigación en el momento que se estén fabricando los prismas de bloques de arcilla H-10.
- Personal encargado de los laboratorios de resistencia de materiales y de suelos y pavimentos, harán parte directa de la investigación al momento de fallar todos los especímenes.

## Recursos financieros

Los recursos y equipos utilizados en este proyecto se enuncian en la tabla 3.

Tabla 3

### *Recursos financieros*

RECURSO	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD
Bloque H-10 de Colcúcuta	100 unidades	930
Bloque H-10 de ladrillera el Zulia	100 unidades	930
Bloque H-10 de tejar la estrella	100 unidades	920
Bloque H-10 de ladrillera Ocaña	100 unidades	900
Cemento hidráulico x 50 kg	3 bultos	24000
Arena	2 m <sup>3</sup>	60000
Máquina universal pinzuar Ltda. Modelo PU-300 m, serie 109	1	-
Calibrador digital 0,01mm/0,0005	1	-
Horno mufla, digital de precisión pinzuar ltda. Modelo PG 190 serie 151	1	-
Balanza digital pinzuar Ltda. 2000 series	1	-
Mesa de flujo pinzuar Modelo pc-41 serie 112	1	-
Herramienta menor	-	-

Fuente: Autores

Entre los recursos bibliográficos con los que se contó están:

- Normas técnicas colombianas, encontradas en la web y/o en la biblioteca de la universidad, por lo que no tienen un costo apreciable para los estudiantes.
- Libro Tecnologías del Concreto y del Mortero, facilitado por el tutor del proyecto en formato PDF.
- Proyectos de investigación relacionados con el tema, facilitados en el repositorio institucional.

**Recurso institucional**

No se ha requerido el apoyo por parte de otra institución.

## 5. Presentación de resultados

Con el objeto de determinar y conocer algunas de las propiedades físicas y de los materiales (arena, cemento y bloques de arcilla H10), se llevó a cabo una serie de ensayos de laboratorio, los cuales se detallan a continuación:

### 5.1 Análisis granulométrico

Según lo establecido en la NTC-77: Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y grueso (NTC 77, 2007), utilizando el siguiente equipo y material:

#### **Equipo:**

Balanza digital con sensibilidad de 0.01 g

Tamiz de 9,51 mm (3/8 de pulgada)

Tamiz de 4,76 mm (No.4)

Tamiz de 2,38 mm (No.8)

Tamiz de 2,00 mm (No.10)

Tamiz de 1,19 mm (No.16)

Tamiz de 595  $\mu\text{m}$  (No.30)

Tamiz de 297  $\mu\text{m}$  (No.50)

Tamiz de 149  $\mu\text{m}$  (No.100)

Tamiz de 74  $\mu\text{m}$  (No. 200)

Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. modelo PG 190 serie 151

Recipientes de acero inoxidable

**Materiales:**

Arena lavada

**Procedimiento:**

Se divide la muestra en cuatro partes aproximadamente iguales, manteniendo en ellas la composición original (Véase la figura 4) y se toman dos partes opuestas, se repite el procedimiento hasta obtener una cantidad aproximada de 500 gramos.



**Figura 4** Cuarteo del agregado fino.

Fuente: Autores.

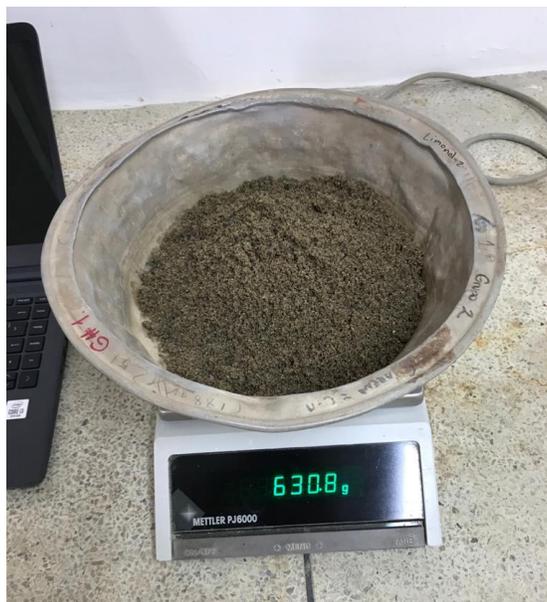
Se seca la muestra en el horno a una temperatura de 110°C hasta que alcance una masa constante, se deben seleccionar los tamaños adecuados de los tamices para proporcionar la información requerida, el encaje de los tamices debe hacerse en orden decreciente según el tamaño de las aberturas de arriba hacia abajo y se debe colocar la muestra en el tamiz superior (Véase la figura 5), se agitan los tamices manualmente por un tiempo suficiente de tal forma que después de completado no más del 1% en masa del residuo de cualquier tamiz individual logre atravesarlo durante un minuto de tamizado manual continuo.



**Figura 5** Tamizado del material

Fuente: Autores

Se limita la cantidad de material en cada uno de los tamices, para que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar las aberturas de estos, un cierto número de veces durante la operación de tamizado. En este caso, por tratarse de tamices con aberturas menores o iguales a 4,75 mm (# 4), la masa retenida en cualquier tamiz al final de la operación de tamizado no debe exceder de 6 kg/m<sup>2</sup> de superficie del tamiz. Se separa el tamiz individual y se coloca en una mano ligeramente inclinada, se golpea rigurosamente la cara del tamiz con un movimiento ascendente contra la palma de la otra mano. Por último, se pesa la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices (Véase la figura 6).



**Figura 6** Pesaje de material

Fuente: Autores

### **Cálculos:**

Se calculan los porcentajes de material que pasan por cada tamiz, los porcentajes totales de material retenido en los mismos con una aproximación del 0.1% con base en la masa total de la muestra seca.

Se calcula el módulo de finura como la suma de los porcentajes acumulados en la serie normalizada de tamices desde el N° 100 hasta el #4 y divididos por 100; los tamices de la serie normalizada son N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4 y 19 mm.

A continuación, en la tabla 4 se muestran los datos obtenidos del ensayo de granulometría y se indican los rangos superior e inferior del porcentaje que pasa siguiendo lo establecido en la NTC-174: Especificaciones de los agregados para el concreto, (NTC 174, 2000).

Tabla 4

*Determinación de la granulometría del agregado.*

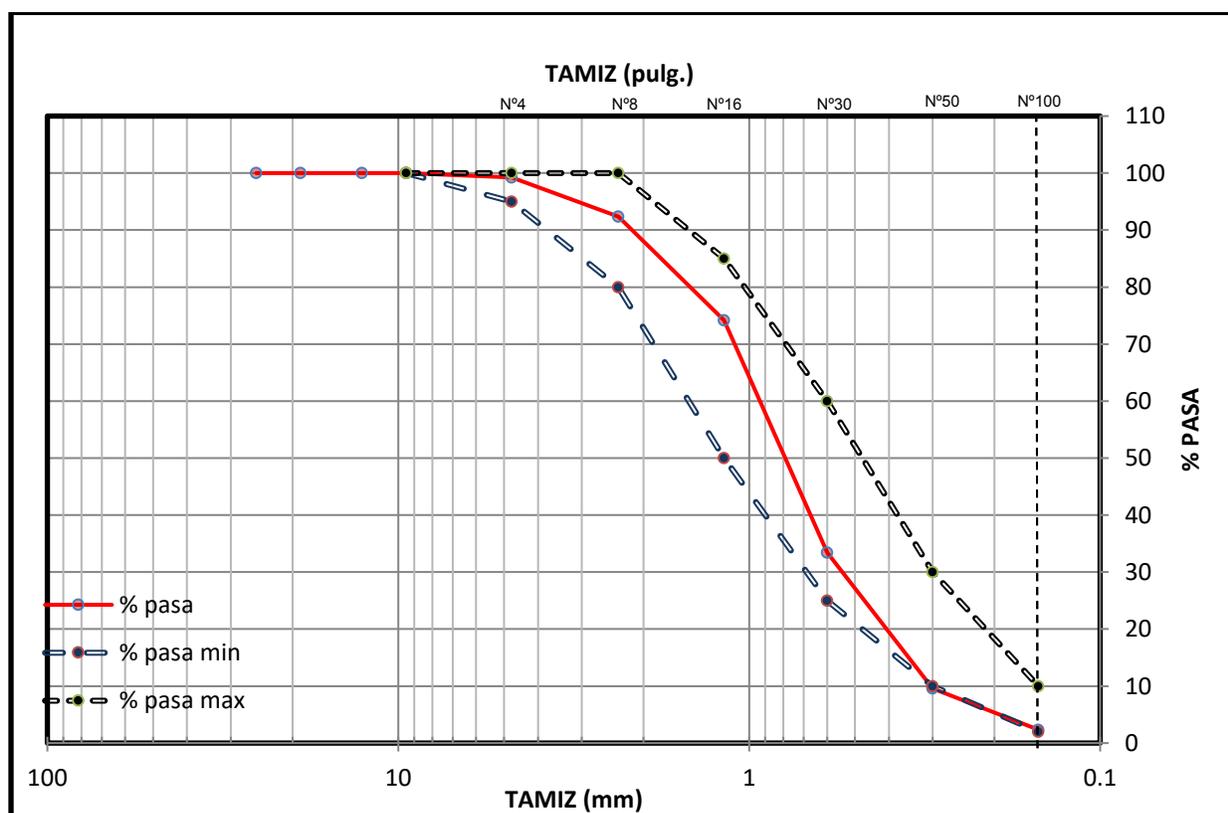
Peso Total de la muestra (grs) 390.00						Rangos de Diseño (NTC-174)	
Tamiz	Peso	%	%	%		inferior	superior
mm	pulg	retenido gr.	Retenido	Retenido acumulado	% pasa	% pasa min	% pasa máx.
25.4	1	0.00	0.00	0.00	100.00		
19	¾"	0.00	0.00	0.00	100.00		
12.7	½"	0.00	0.00	0.00	100.00		
9.5	⅜"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
4.75	# 4	3.00	0.77	0.77	99.23	95.00	100.00
2.36	# 8	26.50	6.84	7.61	92.39	80.00	100.00
1.18	# 16	70.70	18.24	25.84	74.16	50.00	85.00
0.6	# 30	157.90	40.73	66.57	33.43	25.00	60.00
0.3	# 50	92.50	23.86	90.43	9.57	10.00	30.00
0.15	# 100	28.00	7.22	97.65	2.35	2.00	10.00
	#200	2.00	0.52	98.17	1.83		
0	Fondo	7.10	1.83	100.00	0.00	0.00	0.00
	Total	387.70	100.00				

Fuente: Autores

En la tabla 4 se pueden observar los pesos retenidos en cada tamiz, de igual modo su porcentaje respecto al peso total de la muestra. De un peso inicial de 390 g, se obtuvieron 387.70 g en la sumatoria de los pesos retenidos lo que da como resultado un porcentaje de error el 0.59%

Según la NTC-174: Especificaciones de los agregados para concreto (NTC 174, 2000), se establecen unos límites de gradación superior e inferior, para analizar y determinar si es viable utilizar el agregado. Haciendo el cálculo descrito anteriormente para obtener el módulo de finura, se determinó que este es de 2.89.

A continuación, se muestra de manera gráfica los datos obtenidos del ensayo de granulometría:



**Figura 7** Curva granulométrica

Fuente: Autores

En la figura 7 se observa la curva granulométrica del agregado fino y los límites de gradación superior e inferior según la NTC-174: Especificaciones de los agregados para concreto (NTC 174, 2000), la cual indica que el material con el que se va a trabajar cumple a cabalidad

con el requisito de gradación, observándose que la línea se mantiene dentro de los límites a excepción del porcentaje que pasa por el tamiz #50 que a diferencia de los demás este queda sobre el límite inferior.

## **5.2 Contenido de humedad del agregado fino**

Para determinar el contenido de humedad del agregado fino se sigue el procedimiento descrito en la NTC-1776: Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados (NTC 1776, 1994), que se detalla a continuación.

### **Equipo:**

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. modelo PG 190 serie 151

Recipiente contenedor de la muestra

### **Materiales:**

Arena

### **Procedimiento:**

Se pesa la muestra con precisión de 0.1 g (Véase la figura 8), aproximadamente 500 gramos, luego se lleva al horno a una temperatura de 110°C hasta obtener una masa constante.



**Figura 8** Muestra húmeda

Fuente: Autores

Pesar la muestra seca, con una precisión del 0,1 g, luego de haberla enfriado lo suficiente para no producir daños en la balanza, debe tenerse en cuenta que la muestra está totalmente seca cuando un nuevo calentamiento causa, o puede causar, menos del 0,1 de pérdidas adicionales de peso.

### Cálculos

Para determinar el contenido de humedad de la muestra se utiliza la siguiente ecuación:

$$W = \frac{(H - S) * 100}{S} \quad ( 1 )$$

Donde:

W = Contenido de humedad de la muestra (%)

H = Masa inicial de la muestra (g)

S = Masa de la muestra seca (g)

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de humedad del agregado fino, donde se utiliza la Ecuación 1.

Tabla 5

*Contenido de humedad del agregado*

<b>PRUEBA N.º</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>PROMEDIO</b>
Peso del recipiente (g.)	84.80	74.50	73.40	96.60	
Peso recipiente + suelo húmedo (g)	668.30	643.00	579.00	514.80	
Peso recipiente + suelo seco (g.)	639.60	608.70	552.90	489.00	
Peso del suelo seco (g.)	554.80	534.20	479.50	392.40	
Peso del agua (g.)	28.70	34.30	26.10	25.80	
Contenido de humedad (w%)	5.17%	6.42%	5.44%	6.57%	5.90%

Fuente: Autores

En la tabla 5 se evidencia que se tuvieron en cuenta cuatro muestras para la obtención de un contenido de humedad promedio, siendo este valor de 5.90%, así mismo se obtiene una desviación estándar de 0.4 y un coeficiente de variación del 6.84% de las cuatro muestras, este dato es de suma importancia ya que nos ayuda en el cálculo para determinar cuánta agua se le debe adicionar a la mezcla de mortero.

### **5.3 Absorción del agregado fino**

Para la realización de este ensayo se llevará a cabo el procedimiento descrito en la NTC-237: Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino (NTC 237, 1995), a continuación, se detallará dicho método.

**Equipo:**

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Picnómetro de 500 ml

Estufa de gas de 4 quemadores

**Material:**

Agregado fino

Agua destilada

**Procedimiento:**

Se seca aproximadamente 500 gramos de muestra en la estufa hasta obtener una masa constante, luego se deja enfriar hasta una temperatura que permita su manipulación. Se sumerge el material en agua durante 24 horas (Véase la figura 9).



**Figura 9** Secado en la estufa del agregado fino, y saturación del mismo.

Fuente: Autores

Se decanta el exceso de agua evitando la pérdida de finos, se extiende la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una suave corriente de aire tibio (Véase la figura 10), revolviendo con frecuencia para asegurar un secado homogéneo hasta que se alcance la condición de partículas saturadas y superficialmente secas.



**Figura 10** Eliminación del exceso de agua en el material

Fuente: Autores

Se pesa el picnómetro vacío y luego se pesa lleno hasta su capacidad de calibración con agua a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , se introduce dentro del picnómetro  $500\text{ gr} \pm 10$  (Véase la figura 11) de agregado saturado y superficialmente seco, se llena con agua, luego se gira, invierte y agita para eliminar todas las burbujas de aire, se ajusta su temperatura hasta  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y se lleva el nivel del agua en el picnómetro hasta su capacidad calibrada y posteriormente, determinar la masa total.



**Figura 11** Peso del picnómetro lleno de agua y de material.

Fuente: Autores

Se remueve el agregado fino del picnómetro y se seca hasta obtener masa constante a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Cálculos:

Para calcular el porcentaje de absorción se utiliza la siguiente ecuación:

$$Abs = \frac{S - A}{A} * 100 \quad ( 2 )$$

Donde:

Abs = Porcentaje de absorción (%)

S = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)

A = Masa en el aire de la muestra secada al horno (gr)

A continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo de absorción del agregado fino, donde se utiliza la Ecuación 2:

Tabla 6

*Determinación del porcentaje de absorción*

PRUEBA N.º	1	2	3	Promedio
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)	500.00	500.00	500.00	
Peso suelo seco horno (g)	455.00	468.50	474.40	
Absorción (%)	9.89	6.72	5.40	7.34

Fuente: Autores

De la tabla 6 se puede observar que de las tres muestras que se realizaron, el porcentaje de absorción se encuentra en un rango de 5.40 % y 9.89%, y se tiene un promedio de 7.34%, siendo la desviación estándar de 1.63 y el porcentaje de variación de 22.23%.

#### **5.4 Densidad aparente del agregado fino**

Para determinar la densidad aparente seca se utiliza el procedimiento descrito en la NTC-237: Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino (NTC 237, 1995), en el numeral inmediatamente anterior (Absorción del agregado fino), se enunciaron los materiales y equipos necesarios, además se describió detalladamente el procedimiento a seguir para la determinación de los datos necesarios para calcular la densidad aparente del agregado fino.

#### **Cálculos:**

Para calcular la densidad aparente seca de agregado, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \frac{f * A}{B + S - C} \quad ( 3 )$$

Donde:

D = Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

f = Factor de corrección de temperatura (adimensional)

A = Masa de la muestra secada al horno (gr)

B = Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración (gr)

S = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)

C = Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr).

A continuación, se muestran los valores obtenidos de densidad aparente del agregado fino, teniendo en cuenta la Ecuación 3.

Tabla 7

*Determinación de la densidad aparente del agregado.*

PRUEBA N°	1	2	3	Promedio
Peso del Picnómetro (g)	151.8	163.4	152.1	
Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00	
Peso Picnómetro + agua + suelo (g)	936.10	948.50	950.00	
Peso Picnómetro + agua (g)	660.60	664.60	665.20	
Temperatura agua en el ensayo (°C)	24.0	24.0	24.0	
Factor de corrección de temperatura	0.9991	0.9991	0.9991	
Peso suelo seco horno (g)	455.00	468.50	474.40	
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.03	2.17	2.20	2.13

Fuente: Autores

De la tabla 7 se puede observar que la densidad aparente de las tres muestras ensayadas se encuentra entre 2.03 y 2.20 gr/cm<sup>3</sup>, y el promedio es de 2.13 gr/cm<sup>3</sup> o 2130 kg/m<sup>3</sup>, también se determinó que la desviación estándar es de 0.06 y el coeficiente de variación es de 3.02%; por lo tanto, puede decirse que los datos presentan una gran homogeneidad.

### **5.5 Densidad del cemento**

Para determinar la densidad del cemento hidráulico utilizado en la fabricación del mortero se utiliza la NTC-221: Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico (NTC - 221, 1999), y se detalla el procedimiento a continuación.

#### **Equipo:**

Frasco de Le Chatelier

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

#### **Materiales:**

Cemento hidráulico tipo 1

Kerosene

#### **Procedimiento:**

Se llena el frasco con kerosene hasta un punto situado entre las marcas de 0 ml y 1 ml, se agrega una cantidad de cemento pesado con una aproximación de 0.05 g en pequeñas cantidades a la misma temperatura que el líquido (Véase la figura 12), teniendo cuidado que el cemento no

se adhiera a las paredes del frasco. Después de agregar todo el cemento debe colocarse el tapo en el frasco y girar el frasco con cuidado en círculo horizontales hasta que no asciendan burbujas a la superficie del líquido, para sacarle el aire. Es importante tener en cuenta que el frasco debe sumergirse en un baño de agua a temperatura constante por periodo suficientes con el fin de evitar variaciones en la temperatura del frasco mayores a 2° C entre la lectura inicial y final (Véase la figura 12).



**Figura 12** Incorporación del cemento en el frasco y medición de temperatura.

Fuente: Autores

### Cálculos:

La diferencia entre las lecturas inicial y final del frasco de Le Chatelier representa el volumen de líquido desplazado por la masa de cemento usada en el ensayo; la densidad del cemento se calcula de la siguiente forma:

$$G_c = \frac{m_c}{V_c} \quad (4)$$

Donde:

$G_c$  = Densidad del cemento en ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_c$  = Masa del cemento (g)

$V_c$  = Volumen desplazado por el cemento ( $\text{cm}^3$ )

A continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo de densidad del cemento, determinados con la Ecuación 4:

Tabla 8

*Densidad del cemento*

Parámetro	Ensayo			Promedio
	1	2	3	
Masa del cemento (g)	64.30	64.10	64.00	
Lectura inicial ( $\text{cm}^3$ )	0.90	0.70	0.80	
Lectura final ( $\text{cm}^3$ )	22.10	21.80	21.90	
Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	3.03	3.04	3.03	3.03

Fuente: Autores

En la tabla 8 se puede observar que promediando los valores obtenidos en tres muestras de ensayo se determinó que la densidad del cemento a utilizar es de  $3.03 \text{ g}/\text{cm}^3$  o  $3030 \text{ kg}/\text{m}^3$ ; la desviación estándar es de 0.002 y el coeficiente de variación es de 0.07%, lo que indica una alta exactitud en el resultado de los ensayos.

## **5.6 Diseño de mortero**

Para el diseño de mortero se tuvo en cuenta el procedimiento de diseño descrito en el capítulo 14 del libro Tecnología del concreto (Sanchez de Guzmán, 1986), se detalla a continuación:

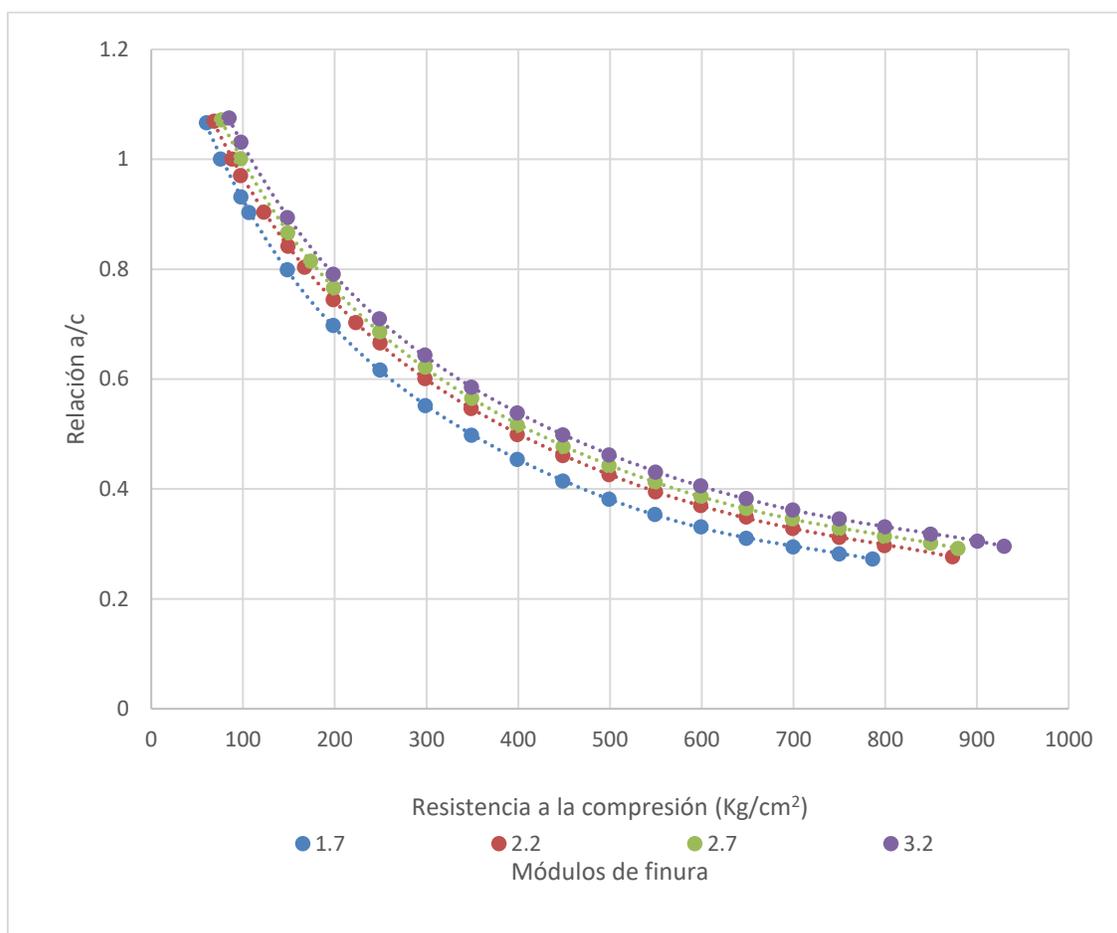
### **Paso 1 Determinación del tipo de arena**

El tipo de arena utilizada influye en aspectos como la consistencia, resistencia, módulo de finura, trabajabilidad y penetración de humedad. Debe procurarse que el módulo de finura de la arena sea el mayor económicamente disponible; por lo general las arenas naturales (depósitos sedimentarios, ríos, etc.) producen morteros de resistencias más altas que las de cantera; en este caso la arena utilizada corresponde a un depósito aluvial (Rio Algodonal).

### **Paso 2 Determinación de la relación agua-cemento**

Al igual que en el concreto, la relación agua-cemento no solo se determina por los requisitos de resistencia, sino también por factores como la retracción, adherencia, durabilidad y propiedades para el acabado.

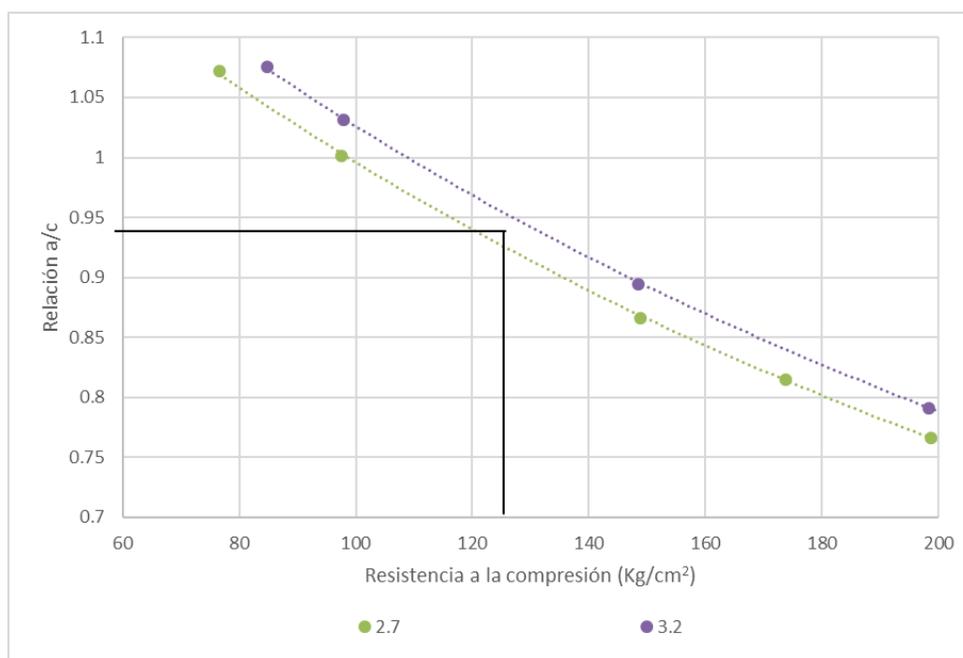
Para determinar la relación agua-cemento se utilizará la tabla 14.1 del libro de Tecnología del concreto (Correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros hechos con cemento portland tipo I y arena de forma redondeada y textura lisa), y la cual corresponde a la figura 13 del presente documento.



**Figura 13** Relación agua-cemento para arena de forma redondeada y textura lisa

Fuente: Autores

A modo de ejemplo, para el mortero tipo S, el cual tiene una resistencia de 127 kg/cm<sup>2</sup> se tiene que la relación agua-cemento es de 0.93, este dato se determinó utilizando una programación en Excel que facilitó el cálculo a la vez que lo hacía mucho más exacto. En la figura 14 se puede observar de manera gráfica.



**Figura 14** Relación agua cemento para un mortero tipo S

Fuente: Autores

Así como se hizo el procedimiento para el mortero tipo S, de igual forma se realizó para los morteros tipo M y N; obteniendo las relaciones agua cemento que se ilustran en la tabla 9.

Tabla 9

*Relación agua cemento para cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión		Relación agua- cemento
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
M	17.5	178	0.82
S	12.5	127	0.93
N	7.5	76	1.09

Fuente: Autores

En la tabla 9 se puede observar que cuanto más resistencia se requiera menor es la relación agua cemento, este valor se encuentra para estos tres tipos de mortero y para estas características de los agregados entre 0.82 y 1.09, lo cual indica para este último valor que el mortero debe contener en peso una mayor cantidad de agua que de cemento.

### **Paso 3 Consistencia del mortero**

De acuerdo con los requerimientos, se escoge la consistencia del mortero deseada, en la tabla 10, se muestran diferentes tipos de consistencia.

Tabla 10

#### *Consistencias del mortero*

Consistencia	Porcentaje de flujo
Seca	90%
Plástica	110%
Fluida	130%

Fuente: Autores

Se decide adoptar una consistencia plástica, lo que indica que el porcentaje de flujo es de 110%.

### **Paso 4 Determinación de los factores que influyen en el contenido de agua**

La cantidad de agua de mezclado por unidad de volumen de mortero requerida para producir una consistencia dada depende del requerimiento de agua del cemento y de la

arena. Entre mayor sea la finura del cemento, mayor es la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta de cemento de consistencia normal, en cuanto a la arena, el requerimiento de agua disminuye con la presencia de tamaños gruesos y aumenta con la de finos, pero no de forma lineal, por otra parte, éste aumenta cuando las partículas tienen más angularidad y son más ásperas.

Después de numerosos ensayos se ha demostrado que el requerimiento de pasta de cemento para una consistencia determinada se puede expresar matemáticamente así:

$$A/C = K * e^{bn} \quad ( 5 )$$

Donde:

A/C = Relación agua-cemento.

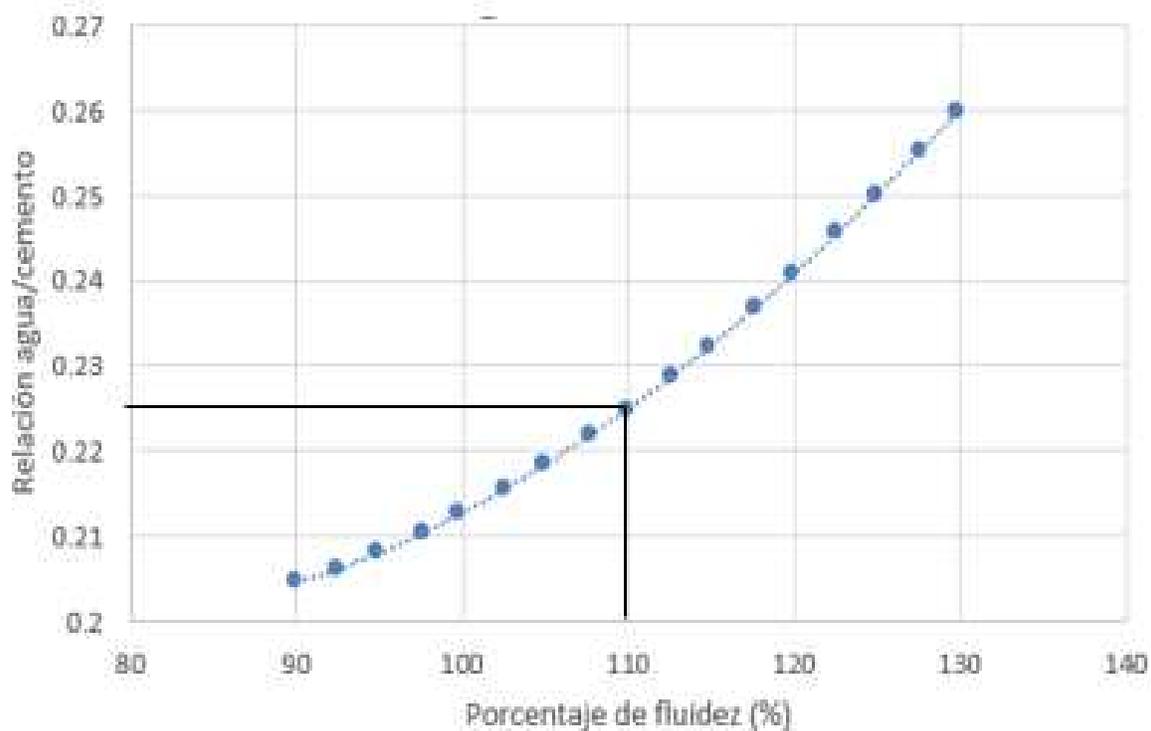
n = Proporción de la mezcla.

b = Factor que relaciona la consistencia requerida, módulo de finura, forma y textura de la arena.

e = Número de Euler (2.7183)

K = Relación agua-cemento para la consistencia en términos de fluidez de la pasta de cemento.

El valor de K puede determinarse con base en la figura 15, la cual tiene en cuenta el porcentaje de fluidez seleccionado para la mezcla.



**Figura 15** Relación entre el porcentaje de fluidez y relación agua-cemento

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que la consistencia seleccionada es fluida, el porcentaje de fluidez correspondiente es del 110% y según la programación realizada en Excel, para este valor, se obtendría un  $K = 0.225$ , tal y como se muestra gráficamente en la figura 15.

El factor  $b$  se determina utilizando los valores de la consistencia, módulo de finura del agregado y el tipo de arena.

A continuación, en la tabla 11 se muestran los valores del factor  $b$  para partículas de forma angular y textura rugosa y partículas de forma redondeada y textura lisa.

Tabla 11

*Valores de b para distintas consistencias y módulos de finura de la arena*

Fluidez (%)	Consistencia	Módulo de finura	Arena redondeada y lisa	Arena angular y rugosa
90	Seca	1.7	0.329	0.322
		2.2	0.311	0.303
		2.7	0.277	0.293
		3.2	0.239	0.249
110	Plástica	1.7	0.324	0.324
		2.2	0.303	0.295
		2.7	0.273	0.288
		3.2	0.237	0.248
130	Fluida	1.7	0.317	0.322
		2.2	0.293	0.300
		2.7	0.269	0.295
		3.2	0.234	0.263

Fuente: Libro Tecnología del concreto

Teniendo en cuenta que el módulo de finura para la arena utilizada es de 2.89, la consistencia es plástica y el tipo de arena es de forma redondeada y textura lisa, utilizando una interpolación lineal, se determinó que el valor de b es de 0.26.

Para un caso donde el valor de  $n = 0$ , es decir, cuando el número de partes de arena por una de cemento es cero o, dicho de otra forma, cuando se tenga una pasta de cemento el valor de  $A/C = K$

### **Paso 5 Determinación de la proporción 1: n**

Para determinar el valor de  $n$  (número de partes de arena por una parte de cemento en peso), se utiliza la siguiente ecuación.

$$n = \frac{\ln(a/c) - \ln(K)}{b} \quad (6)$$

Para el caso particular del mortero tipo S la relación agua-cemento es de 0.93, los valores de  $K$  y  $b$  son independientes de la resistencia, por ende, también lo son del tipo de mortero, así, continuando con el ejemplo del mortero tipo S y reemplazando en la Ecuación 6, se tiene:

$$n = \frac{\ln(0.93) - \ln(0.225)}{0.26}$$

$$n = 5.49$$

En la tabla 12 se muestra el valor calculado de  $n$  para cada tipo de mortero, para lo que se utilizó la Ecuación 6.

Tabla 12

*Valores de  $n$  para cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión		n
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
M	17.5	178	4.97
S	12.5	127	5.49
N	7.5	76	6.07

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla 12, el valor de  $n$  aumenta a medida que la resistencia requerida disminuye, esto quiere decir que se necesita una mayor cantidad de cemento respecto a la cantidad de arena cuando se busca una resistencia mayor.

### Paso 6 Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de cemento para 1 m<sup>3</sup> de mortero se obtiene así:

$$V_c + V_a + A = 1 \quad (7)$$

Donde

$V_c$  = Volumen de cemento (m<sup>3</sup>)

$V_a$  = Volumen de arena (m<sup>3</sup>)

$A$  = Volumen de agua (m<sup>3</sup>)

Pero teniendo en cuenta que el volumen de un material es el cociente entre su masa y densidad, se tendría lo siguiente:

$$\frac{C}{G_c} + \frac{a}{G_a} + A = 1 \quad (8)$$

Donde:

$C$  = Contenido de cemento (kg).

$a$  = Cantidad de arena (kg).

$A$  = Cantidad de agua (kg).

$G_c$  = Peso específico del cemento (g/cm<sup>3</sup>).

$G_a$  = Densidad aparente seca de la arena (g/cm<sup>3</sup>).

Haciendo algunas aclaraciones matemáticas de la ecuación, teniendo en cuenta que:  $a = nC$  y  $A = CKe^{bn}$ , se tiene:

$$\frac{C}{G_c} + \frac{nC}{G_a} + CKe^{bn} = 1000 \quad (9)$$

Ahora teniendo en cuenta que  $Ke^{bn} = A/C$ , despejando la variable de contenido de cemento en la Ecuación 9 se tendría lo siguiente:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{G_c} + \frac{n}{G_a} + A/C} \quad (10)$$

Continuando con el ejemplo de diseño para mortero tipo S, la Ecuación 10 quedaría de la siguiente manera:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{3.03} + \frac{5.49}{2.13} + 0.93}$$

$$C = 260.46 \text{ kg}$$

Tabla 13

*Contenido de cemento para los diferentes tipos de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión		Contenido de cemento kg
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
M	17.5	178	287.54
S	12.5	127	260.46
N	7.5	76	234.61

Fuente: Autores

De la tabla 13 se muestra la cantidad de cemento portland tipo I necesaria para producir de cada tipo de mortero, 1 m<sup>3</sup>; así mismo, es evidente en dicha tabla que el contenido de cemento disminuye a medida que disminuye la resistencia requerida para cada tipo de mortero.

### Paso 7 Determinación del contenido de agua

Conocida la relación agua-cemento del paso 2 y el contenido de cemento del paso anterior, el contenido de agua es:

$$A = (A/C) * C \quad (11)$$

Siguiendo el ejemplo de diseño para el mortero tipo S, se tiene que:

$$A = 0.93 * 260.46$$

$$A = 243.40 \text{ kg}$$

En la tabla 14 se puede observar la cantidad necesaria de agua para producir 1 m<sup>3</sup>, de cada tipo de mortero.

Tabla 14

*Contenido de agua por cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión		Contenido de agua kg
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
M	17.5	178	234.82
S	12.5	127	243.4
N	7.5	76	254.78

Fuente: Autores

Se puede observar en la tabla 14 que el contenido de agua aumenta a medida que disminuye la resistencia a la compresión requerida, este valor para los tipos de mortero y materiales seleccionados está en un rango de 234.84 y 254.78 kg.

### Paso 8 Determinación del contenido de arena

Conocido el valor de  $n$  y el valor del contenido de cemento, el contenido de arena en peso es:

$$a = nC \quad ( 12 )$$

Ahora, el contenido de arena en peso para el mortero tipo S reemplazando en la Ecuación 12, sería:

$$a = 5.49 * 260.46$$

$$a = 1429.22 \text{ kg}$$

A continuación, se muestra el contenido necesario de arena en kilogramos para producir 1 m<sup>3</sup> de cada tipo de mortero:

Tabla 15

*Contenido de arena para cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión		Contenido de arena kg
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
M	17.5	178	1428.47
S	12.5	127	1429.22
N	7.5	76	1423.14

Fuente: Autores

En la tabla 15 se puede observar que el contenido en peso de arena para cada tipo de mortero tiene una variación mínima, teniendo una diferencia de solo 6 kilogramos entre la mayor y la menor cantidad de necesaria.

### **Paso 9 Ajustes por humedad de la arena**

Al igual que en el caso del concreto, puesto que el agua de absorción de la arena no hace parte del agua de mezcla, y la arena presenta algún grado de humedad, se debe hacer el respectivo ajuste.

Primero se calcula el peso húmedo del agregado fino necesario para 1 m<sup>3</sup> de mortero:

$$\text{Peso húmedo (kg)} = \text{Peso seco (kg)} * (1 + \text{Humedad}) \quad (13)$$

Continuando con el ejemplo del mortero tipo S y reemplazando en la Ecuación 13, se tiene que:

$$\text{Peso húmedo} = 1429.22 * (1 + 5.90\%)$$

$$\text{Peso húmedo} = 1513.58 \text{ kg}$$

Ahora, se debe calcular la cantidad de agua que debe adicionarse, teniendo en cuenta que, en este caso la absorción del material es mayor que su humedad, el cálculo pertinente se hace de la siguiente manera:

$$\text{Agua adicional (kg)} = \text{Peso seco de arena (kg)} * (\text{Absorción} - \text{humedad}) \quad (14)$$

Reemplazando en la Ecuación 14 se tiene:

$$\text{Agua adicional} = 1429.22 * (7.34\% - 5.90\%)$$

$$\text{Agua adicional} = 20.49 \text{ kg}$$

De esta forma; la cantidad de agua necesaria para producir 1 m<sup>3</sup> de mortero tipo S, es de 263.89 kg.

Finalmente, se hace este procedimiento para los demás tipos de mortero, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16

*Dosificaciones en peso para cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión (MPa)	Dosificación en peso	Contenido de cemento (kg)	Contenido de arena (kg)	Contenido de agua (kg)
M	17.5	1 : 5.26	287.54	1512.79	255.30
S	12.5	1 : 5.81	260.46	1513.58	263.89
N	7.5	1 : 6.42	234.61	1507.15	275.19

Fuente: Autores

De la tabla 16 puede observarse que, entre mayor sea se la resistencia a la compresión requerida, menor es la proporción de arena y cemento; esto teniendo en cuenta que se necesita mayor cantidad de cemento para mayores resistencias.

### 5.7 Resistencia a la compresión del mortero

Con el fin de verificar que la resistencia a la compresión del mortero sea realmente la establecida en el diseño; se realizan unas muestras con cada uno de los diseños de morteros, el procedimiento para realizar dichas muestras se describe en la NTC-220: Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado (NTC - 220, 2012), y se detalla a continuación:

#### Equipo:

Balanza digital pinzuar Ltda. 2000 series.

Probetas o moldes para pesaje de material.

Moldes de metal con dureza Rockwell.

Mesa de flujo pinzuar Modelo pc-41 serie 112.

Compactador de 13 mm x 25 mm.

Palustre.

Tanque de almacenamiento de agua

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

### **Materiales:**

Arena sin lavar.

Cemento.

Agua

### **Procedimiento:**

Inicialmente deben prepararse los moldes, para esto se debe aplicar al interior de las caras de los moldes y en la placa plana no absorbente un agente desmoldante, que puede ser aceite o grasa, teniendo la precaución de eliminar cualquier exceso de este. Luego se procede a ajustar fijamente las partes de laterales de los moldes entre sí y de la misma forma la placa plana que sirve de base con las laterales (Véase la figura 16).



**Figura 16** Moldes para ensayo de resistencia de mortero

Fuente: Autores

Se debe calcular la cantidad de cada uno de los materiales a utilizar de acuerdo a la dosificación definida, y mezclarlos al mismo tiempo, posteriormente determinar la fluidez, para lo que se utiliza la NTC-111: Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico (NTC 111, 1997), descrita en el capítulo 5.8, y se procede al llenado de los moldes.

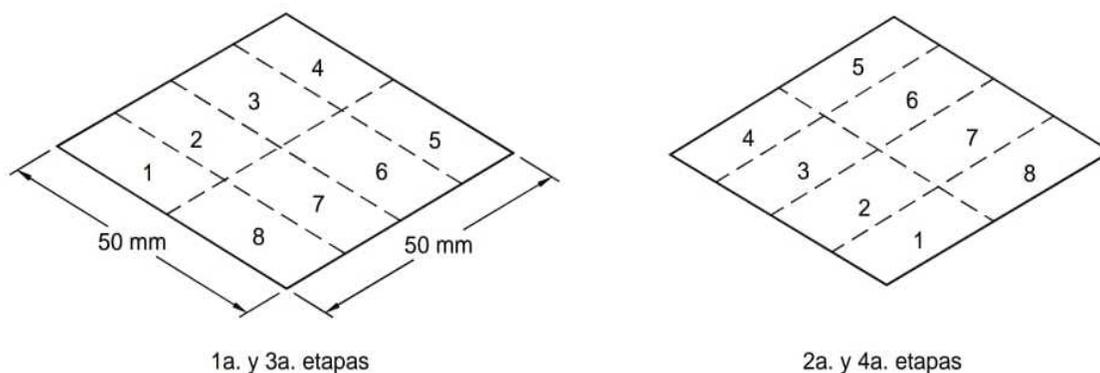
Este se realiza inmediatamente después de finalizado el ensayo de fluidez, se retorna el mortero de la mesa de flujo al recipiente de mezcla; con la espátula se arrastra hacia el fondo del recipiente el mortero adherido a las paredes y se remezcla durante 15 segundos a velocidad media.

Al finalizar el mezclado, debe sacudirse la paleta para remover el exceso de mortero dentro del recipiente de mezcla.

El proceso de llenado de los moldes se debe iniciar antes de 150 segundos desde la terminación de la mezcla inicial del mortero. En cada compartimiento se coloca una capa de mortero de 25 mm (aproximadamente la mitad de la profundidad del molde). Se apisona con 32 golpes del compactador en 10 segundos en 4 etapas de 8 golpes adyacentes, siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior (Véase la figura 17). La presión del compactador

debe ser de forma que asegure un llenado uniforme de los compartimientos. Se deben completar las cuatro etapas de compactación en cada compartimiento antes de seguir con el siguiente.

Una vez terminada la operación anterior, en todos los compartimientos, se llenan con una segunda capa y se apisonan de la misma forma. Durante la compactación de la segunda capa, se introduce en el compartimiento, con ayuda de los dedos, el mortero depositado en los bordes del molde. La superficie de los cubos debe alisarse con el lado plano de éste, una vez en sentido perpendicular a la longitud del mismo y otra en su sentido longitudinal.



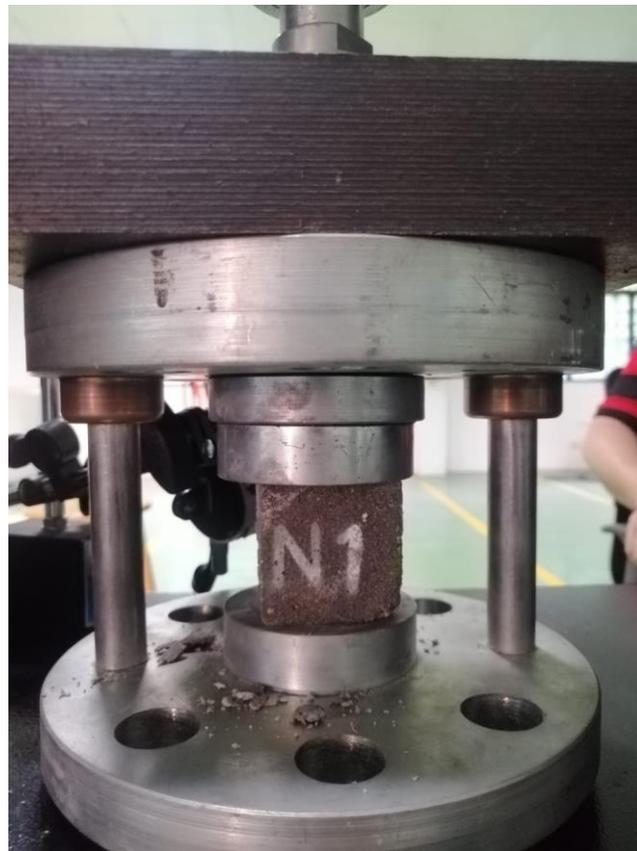
**Figura 17** Orden en que se deben apisonar las capas

Fuente: NTC-220: Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm de lado (NTC - 220, 2012).

Los moldes se conservan dentro de un cuarto húmedo con las caras superiores expuestas al aire húmedo por 24 horas, pasado este tiempo se sumergen en el tanque de curado hasta la fecha de su ensayo. Para este caso la fecha de ensayo fue a los 28 días, por ende, la tolerancia permisible correspondía a 12 horas.

La superficie de los cubos debe secarse; debe comprobarse que las caras sean perfectamente planas, en caso de que tengan una curvatura apreciable deben pulirse hasta obtener superficies planas; si esto no es posible, se debe desechar el cubo.

Se coloca el cubo, teniendo en cuenta que las superficies sobre las que se va a ejercer presión sean las que estuvieron en contacto con las paredes del molde, se centra debajo del bloque superior de la máquina de ensayo y se comprueba que el bloque pueda inclinarse libremente en cualquier dirección (Véase la figura 18).



**Figura 18** Montaje de ensayo

Fuente: Autores

La velocidad de aplicación de la carga debe ser la que haga fallar la muestra en un tiempo comprendido entre 20 s y 80 s. Cuando el cubo esté cediendo antes de la rotura, no debe hacerse ningún ajuste a los controles de la máquina.

### **Cálculos:**

Se registra la carga máxima, indicada por la máquina de ensayo, en el momento de la rotura y se calcula la resistencia a la compresión utilizando la siguiente expresión:

$$f_m = \frac{P}{A} \quad ( 15 )$$

Donde:

$f_m$  = Resistencia a la compresión (MPa)

P = máxima carga total en kN

A = área de la superficie cargada (mm<sup>2</sup>)

Es importante tener en cuenta que, si el área real del cubo varía más del 1,5% de la nominal, la NTC-220: Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado (NTC - 220, 2012), exige realizar el cálculo en función del área real, sin embargo, en todos los casos se utilizó el área real para determinar la resistencia a la compresión de los cubos.

En la tabla 17 se observa la resistencia promedio obtenida del ensayo de compresión, calculada utilizando la Ecuación 15, en comparación con la resistencia esperada para cada tipo de mortero:

Tabla 17

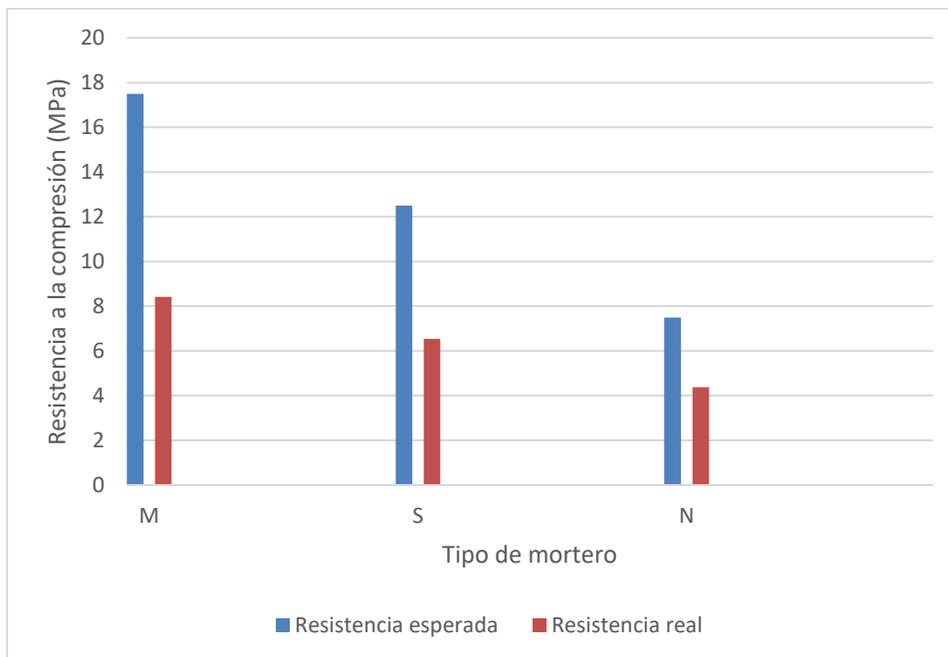
*Datos del ensayo de resistencia a la compresión de morteros*

Tipo de mortero	Resistencia esperada (MPa)	Muestra	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga máxima (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)	Condición
M	17.5	1	2464.77	21.82	8.85	8.41	NO CUMPLE
		2	2478.04	21.48	8.67		
		3	2427.16	20.14	8.30		
		4	2500.97	20.51	8.20		
		5	2473.07	20.56	8.31		
		6	2434.71	19.84	8.15		
S	12.5	1	2543.13	14.52	5.71	6.54	NO CUMPLE
		2	2514.52	17.30	6.88		
		3	2508.00	16.52	6.59		
		4	2544.48	16.55	6.50		
		5	2503.49	16.87	6.74		
		6	2465.51	16.76	6.80		
N	7.5	1	2433.83	11.58	4.76	4.38	NO CUMPLE
		2	2502.49	12.95	5.17		
		3	2414.03	10.64	4.41		
		4	2467.54	10.72	4.34		
		5	2506.50	8.80	3.51		
		6	2439.48	10.01	4.10		

Fuente: Autores

En la tabla 17 se puede observar que la resistencia promedio obtenida para un mortero tipo M fue de 8.41 MPa, para morteros tipo S es de 6.54 MPa y para morteros tipo N de 4.38 MPa;

con lo que se puede concluir que ninguna de las muestras cumplió con la resistencia a la compresión requerida, ya que estas eran de 17.5, 12.5 y 7.5 MPa respectivamente.



**Figura 19** Comparación gráfica entre la resistencia esperada y la resistencia real

Fuente: Autores

En la figura 19 se puede observar la gran diferencia que existe entre la resistencia a la compresión esperada y la obtenida en el ensayo de compresión de mortero.

Por tal motivo se decidió hacer nuevas muestras de mortero con dosificaciones seleccionadas bajo el criterio de un experto en el área, en este caso se hizo con el consejo del ingeniero Nelson Afanador García; en la tabla 18 se muestran las dosificaciones en peso y la relación agua cemento seleccionada para cada tipo de mortero, cabe aclarar que el valor de la relación agua cemento se determinó haciendo pruebas de ajuste hasta obtener una fluidez de  $110\% \pm 5\%$ .

Tabla 18

*Dosificaciones en peso y relación agua cemento para cada tipo de mortero*

Tipo de mortero	Dosificación en peso	Relación agua-cemento
M	1 : 1	0.4
S	1 : 2	0.53
N	1 : 3.25	0.65

Fuente: Autores

En la tabla 18 se observan los nuevos valores de relación agua cemento y dosificación para cada tipo de mortero, dichos valores son de 0.4, 0.53 y 0.65 para los morteros tipo M, S y N respectivamente, en comparación con los valores de relación agua cemento obtenidos bajo el diseño de mezclas que era de 0.82, 0.93 y 1.09. Se hace el procedimiento descrito en el presente capítulo para determinar la resistencia a la compresión, la cual se muestra en la tabla 19.

Tabla 19

*Resistencia a la compresión obtenida de las nuevas dosificaciones*

Tipo de mortero	Resistencia esperada (MPa)	Dosificación en peso	Fluidez (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
M	17.5	1 : 1	102.14	21.94
S	12.6	1 : 2	111.97	14.56
N	7.5	1 : 3.25	105.68	12.95

Fuente: Autores

De la tabla 19 se puede concluir que las resistencias encontradas superan las resistencias necesarias para los morteros tipo M, S y N (17.5 MPa, 12.5 MPa, 7.5 MPa respectivamente), así mismo se da cumplimiento al requisito de la fluidez descrito anteriormente.

### **5.8 Fluidez del mortero**

Cuando se realiza la mezcla del mortero, antes de proceder a llenar los cubos, debe realizarse un ensayo para calcular la fluidez de este; y determinar si su consistencia está dentro del rango establecido en el diseño y/o permitido por la norma en cuestión, para este caso se siguieron los parámetros establecidos en la NTC-111: Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico (NTC 111, 1997), donde indica lo siguiente:

#### **Equipo:**

Mesa de flujo pinzuar Modelo pc-41 serie 112

Calibrador digital Baker con precisión de 0.01 mm

Palustre

Compactador de 13 mm x 25 mm.

#### **Materiales:**

Cemento portland tipo 1

Arena sin lavar

Agua

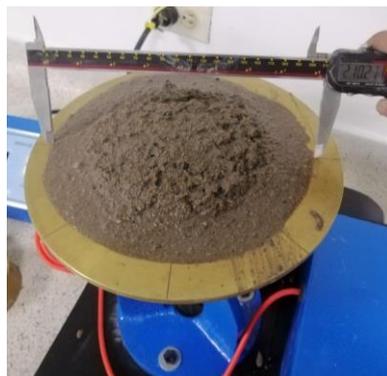
**Procedimiento:**

Se frota la superficie de la mesa de flujo para limpiarla y secarla, y se coloca el molde de flujo en el centro. Se vierte en el molde una primera capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor y se pisa 20 veces con el compactador, con una presión que asegure el llenado uniforme del molde.

Se llena totalmente el molde con una segunda capa de mortero, y se apisona tal y como se hizo en la primera capa, distribuyendo uniformemente los 20 golpes, posteriormente se retira el exceso de mortero de la capa superior y se alisa la superficie utilizando un palustre con un movimiento de sierra a lo largo del borde.

Se limpia y se seca la plataforma, se retira el molde del mortero un minuto después de completar la operación de llenado e inmediatamente se programa la mesa de flujo para que caiga desde una altura de 13 mm, 25 veces en 15 segundos.

Utilizando el calibrador se miden los diámetros del mortero a lo largo de las líneas señaladas en la plataforma; y con ello se determina el diámetro promedio de la muestra (Véase la figura 20).



**Figura 20** Medición del diámetro de la muestra en el ensayo de fluidez

Fuente: Autores.

**Cálculos:**

El porcentaje de fluidez, que es el aumento del diámetro de la muestra expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde, se determina utilizando la siguiente expresión:

$$\%Fluidez = (Diámetro\ promedio - D) * 100/D \quad ( 16 )$$

Donde:

D = Diámetro real del molde (mm), dicho valor es de 100 mm.

En la tabla 19 se encuentra el valor de la fluidez para cada tipo de mortero, ahí se puede observar que la fluidez está en el rango permitido de 100% a 120%.

**5.9 Resistencia a la compresión de los bloques**

Se seguirá el procedimiento descrito en la NTC-4017: Métodos para muestreos y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005). Se utilizarán 5 muestras por cada fabricante para llevar a cabo este ensayo, se detallará el método a continuación:

**Equipo:**

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

Calibrador digital marca BAKER, precisión 0,01mm/0,0005

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

Computador portátil marca HP

Lámina de acero de 320 x 23 x 20 mm

Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. modelo PG 190 serie 151

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

**Materiales:**

5 bloques H10 por cada fabricante, para un total de 20 unidades

Yeso super escayola

Agua

**Procedimiento:**

Se secan los especímenes en el horno (véase la figura 21) a una temperatura de 110 °C a 115 °C.



**Figura 21** Secado de bloques en el horno.

Fuente: Autores

Se retiran las muestras del horno y se dejan enfriar colocándolas individualmente, sin apilarlas durante 4 horas a una temperatura de  $24\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta que la temperatura de la superficie sea máximo  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  diferente a la del ambiente.

Se miden el alto (Véase la figura 22), el ancho y el largo de cada uno de los bloques H10.



**Figura 22** Medición del alto de los bloques

Fuente: Autores

Se hace el refrentado de cada uno de los bloques en las caras de carga y apoyo. Se prepara una mezcla de agua y yeso escayola, utilizando el nivel, la llana, espátula, reglas metálicas y soportes de hierro, seguidamente se procede a nivelar la superficie de refrentado (Véase la figura 23).



**Figura 23** Implementos para el refrentado de los bloques

Fuente: Autores.

Se esparce dicha mezcla sobre la superficie nivelada y se enrasa con ayuda de la llana hasta que la superficie quede perfectamente lisa (Véase la figura 24).



**Figura 24** Enrasado de bloques

Fuente: Autores

Por último, una vez se halla secado la cara refrentada se hace el mismo procedimiento en la cara opuesta; este se repite para el total de muestras (Véase la figura 25)



**Figura 25** Bloques totalmente refrentados

Fuente: Autores

Los especímenes se deben ensayar al menos 24 h después de refrentados. Al momento de ensayarlos deben ubicarse en una posición tal que la carga sea aplicada en la dirección de su uso común.

Los especímenes se colocan sobre una lámina de acero con espesor de 2 cm, (Véase la figura 26) posteriormente se aplica la fuerza con la máquina universal de ensayos, donde esta a su vez se encuentra conectada a un computador que traduce la información en datos gráficos y numéricos. La máquina de ensayo debe tener una precisión de  $\pm 1,0\%$  de la carga aplicada, y se debe tener en cuenta una velocidad de carga que garantice que el ensayo a compresión del espécimen no dure menos de 60 segundos ni más de 120 segundos, hasta que este falle (Véase la figura 26).



**Figura 26** Montaje de bloques sobre la lámina de acero

Fuente: Autores

Realizado completamente este procedimiento se procede a iniciar las operaciones necesarias para determinar la compresión máxima del bloque; y, a continuación, se detallan los cálculos realizados.

## Cálculos

Para calcular la resistencia a la compresión se utiliza la Ecuación 17.

$$C = \frac{W}{A} \quad (17)$$

C = Resistencia del espécimen a la compresión en kN/m<sup>2</sup>

W = Carga máxima de rotura, en kN

A = Promedio de las áreas brutas de la superficie e inferior del espécimen en m<sup>2</sup>

Los resultados obtenidos del ensayo a compresión en unidades de bloques H-10 para cada fabricante se muestran a continuación en la tabla 20.

Tabla 20

### *Resistencia a la compresión de los bloques*

Fabricante	Espécimen	Área promedio m <sup>2</sup>	Carga máxima kN	Resistencia a la compresión kN/m <sup>2</sup>	Resistencia promedio kN/m <sup>2</sup>	Desviación estándar	Coefficiente de variación %
1	1	0.029	86.9	2996.55	2810.18	80.99	2.88%
	2	0.030	79.81	2660.33			
	3	0.030	82.76	2758.67			
	4	0.030	80.03	2667.67			
	5	0.030	89.03	2967.67			
2	1	0.029	67.01	2310.69	1992.35	168.15	8.44%
	2	0.028	52.13	1861.79			
	3	0.029	43.21	1490.00			
	4	0.028	56.64	2022.86			
	5	0.028	63.74	2276.43			
3	1	0.031	108.26	3492.26	2542.82	313.89	12.34%

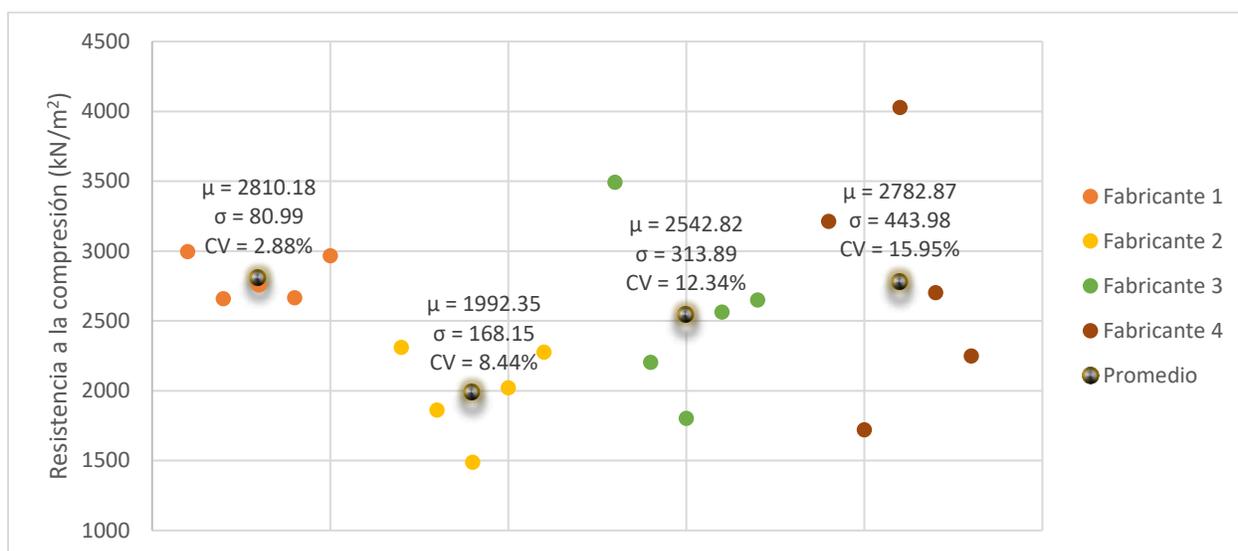
Fabricante	Espécimen	Área promedio m <sup>2</sup>	Carga máxima kN	Resistencia a la compresión kN/m <sup>2</sup>	Resistencia promedio kN/m <sup>2</sup>	Desviación estándar	Coefficiente de variación %
	2	0.032	70.5	2203.13			
	3	0.031	55.89	1802.90			
	4	0.031	79.52	2565.16			
	5	0.030	79.52	2650.67			
	1	0.028	89.97	3213.21			
	2	0.027	46.48	1721.48			
4	3	0.028	112.79	4028.21	2782.87	443.98	15.95%
	4	0.028	75.66	2702.14			
	5	0.028	62.98	2249.29			
Promedio total					2532.06	251.75	9.90%

Fuente: Autores

En la tabla 20 se puede observar que los bloques que tienen mayor resistencia a la compresión son los del fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta, con una resistencia promedio de 2.81 MPa (2810.18 kPa), por otro lado, los bloques con menor resistencia son los del fabricante 2, que corresponde a la Ladrillera Ocaña, cuya resistencia es en promedio de 1.99 MPa.

También se puede observar que se presenta una mayor desviación estándar en los bloques del fabricante 4 correspondiente a la ladrillera El Zulia y, por el contrario, en los bloques del fabricante 1, es decir, la ladrillera Colcúcuta, existe una menor desviación estándar.

A continuación, se muestra un gráfico de los datos de resistencia a la compresión por cada fabricante.



**Figura 27** Resistencia a la compresión por fabricante

Fuente: Autores

En la figura 27 se observa que el coeficiente de variación para las unidades del fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta es de 2.88% lo que indica que los datos no tienen una dispersión significativa, caso contrario ocurre con el fabricante 4 que tiene un coeficiente de variación de 15.95% lo que indica que de los cuatro fabricantes este es el que tiene mayor dispersión en los datos.

### 5.10 Tasa de absorción inicial de bloques

Para la realización de este ensayo se llevará a cabo el procedimiento descrito en la NTC-4017: Métodos para muestreos y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005). Se utilizarán 5 muestras por cada fabricante para llevar a cabo este ensayo, se detallará el método a continuación:

**Equipo:**

Bandeja o contenedor, de profundidad interior mínima de 13 mm, su relación longitud - ancho debe permitir contar con una superficie de agua no inferior a 2000 cm<sup>2</sup>.

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

Nivel de burbuja

Medidor de profundidad

Calibrador digital de 300 mm marca BAKER, Reading 0,01mm/0,0005

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

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

Termómetro

Cronómetro digital

Paño húmedo

**Materiales:**

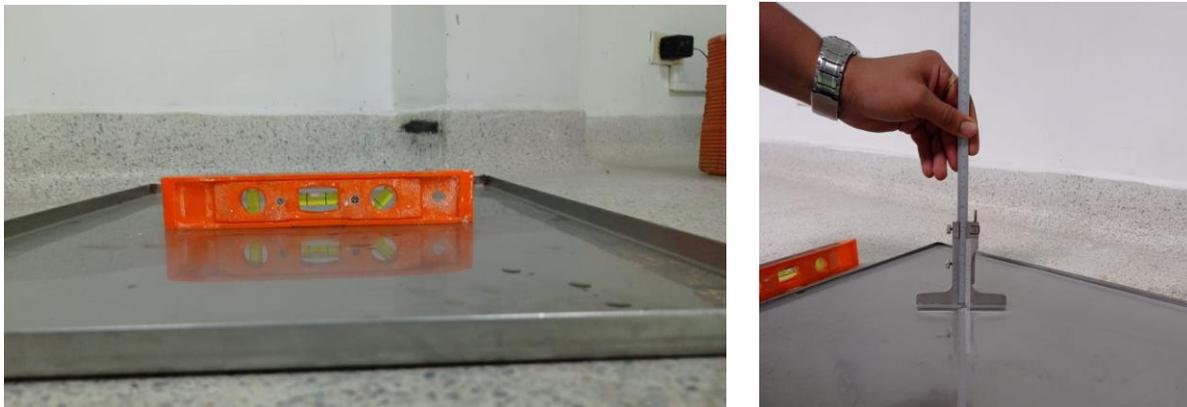
20 bloques H-10

Agua

**Procedimiento:**

Se determina el área de la superficie de la pieza que debe estar en contacto con el agua, luego se ajusta la posición de la bandeja, de manera que la superficie del fondo este nivelada

cuando se verifica con un nivel de burbuja y se agrega agua en la bandeja hasta que el nivel de esta sea de 3.2 mm por encima de la parte superior de los soportes (Véase la figura 28).



**Figura 28** Nivelación de bandeja medición de la altura de la lámina de agua.

Fuente: Autores

Posteriormente, se determina la masa del espécimen con aproximación de 0.5 g (Véase la figura 29).



**Figura 29** Pesaje de unidad de mampostería

Fuente: Autores

Colocar el espécimen del ensayo teniendo en cuenta que la capacidad de succión se mide sobre la cara de la pieza que debe estar en contacto con el mortero. Durante el periodo de contacto (60 seg) el nivel del agua se mantiene dentro de los límites prescritos agregando más agua cuando sea necesario. Al finalizar este periodo se retira el espécimen, se seca la superficie con un paño húmedo y se determina la masa nuevamente con precisión de 0.5 g; la limpieza debe realizarse en los primeros 10 segundos y el pesaje en los primeros 120 segundos después de retirado del agua.

**Cálculos:**

La diferencia en gramos entre la determinación inicial y final de la masa, es la masa en gramos del agua absorbida por el espécimen durante 60 seg de contacto con el agua. La tasa inicial de absorción se calcula con la siguiente ecuación:

$$TIA = \frac{G}{A/min} \quad ( 18 )$$

Donde:

TIA = Tasa inicial de absorción (g/cm<sup>2</sup>/min)

G = Diferencia en gramos entre los pesajes inicial y final por cada minuto (g/min)

A = Área neta en contacto con el agua

En la tabla 21 se muestran los valores de la tasa inicial de absorción para cada fabricante, obtenidos utilizando la Ecuación 18.

Tabla 21

*Datos del ensayo de tasa de absorción inicial*

FABRICANTE	ESPÉCIMEN	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	PESO SECO (g)	PESO FINAL (g)	RESTA (g)	TIA (g/cm <sup>2</sup> /min)	PROMEDIO TIA (g/cm <sup>2</sup> /min)
1	1	293.58	100.96	3851.00	3896.00	45.00	0.15	0.09
	2	296.22	100.93	3848.00	3883.00	35.00	0.12	
	3	295.57	100.01	3852.00	3875.00	23.00	0.08	
	4	293.58	100.30	3858.00	3866.00	8.00	0.03	
	5	296.41	101.42	3921.00	3946.00	25.00	0.08	
2	1	295.28	95.90	4604.00	4661.00	57.00	0.20	0.21
	2	292.39	95.22	4840.00	4895.00	55.00	0.20	
	3	295.90	94.68	4672.00	4730.00	58.00	0.21	
	4	294.56	95.19	4577.00	4669.00	92.00	0.33	
	5	299.13	96.80	4674.00	4711.00	37.00	0.13	
3	1	300.12	103.92	4189.00	4204.00	15.00	0.05	0.05
	2	300.60	104.10	4247.00	4249.00	2.00	0.01	
	3	296.80	103.06	4261.00	4265.00	4.00	0.01	
	4	297.30	104.69	4203.00	4232.00	29.00	0.09	
	5	297.26	104.54	4219.00	4250.00	31.00	0.10	
4	1	288.83	98.13	3420.00	3436.00	16.00	0.06	0.05
	2	290.92	97.32	3462.00	3479.00	17.00	0.06	
	3	285.66	96.26	3507.00	3517.00	10.00	0.04	
	4	286.76	97.43	3470.00	3486.00	16.00	0.06	
	5	287.28	98.53	3477.00	3492.00	15.00	0.05	

Fuente: Autores

De acuerdo con la tabla 1, el fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña no se encuentra dentro del rango establecido por la norma NTC-4205: Unidades de mampostería de arcilla cocida (NTC 4205, 2009), ya que el valor promedio de TIA es de 0.212 g/cm<sup>2</sup>/min, superando por más de dos veces al permitido, se podría asumir que esta situación se presenta por una falta de cocción en los bloques, o por un porcentaje insuficiente de arcillas y limos, generando que haya mucho material granular que causa perforaciones en el interior y finalmente, que se absorba más cantidad de agua. A continuación, se muestra la tabla 22, que contiene la desviación estándar y el coeficiente de variación del ensayo de tasa de absorción inicial para cada uno de los fabricantes.

Tabla 22

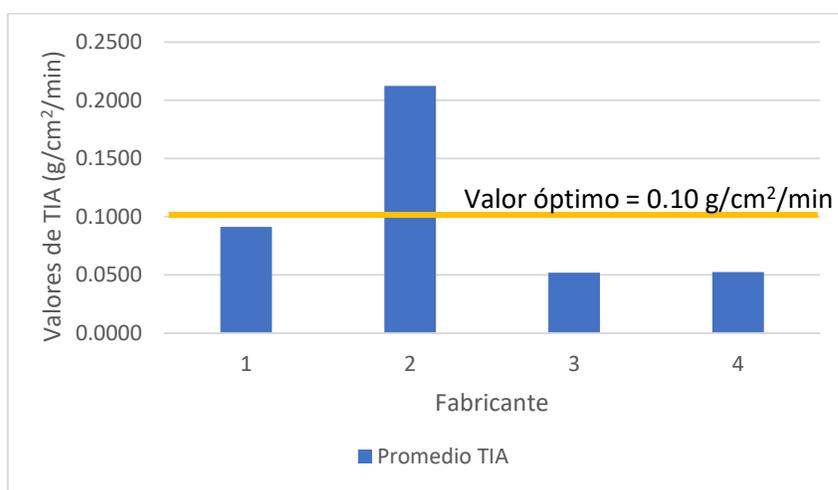
*Análisis de datos del ensayo de tasa de absorción inicial*

FABRICANTE	ESPÉCIMEN	TIA	PROMEDIO (TIA)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
1	1	0.152	0.091	0.023	25.50%
	2	0.117			
	3	0.078			
	4	0.027			
	5	0.083			
2	1	0.201	0.212	0.036	17.03%
	2	0.198			
	3	0.207			
	4	0.328			
	5	0.128			
3	1	0.048	0.052	0.022	41.81%

FABRICANTE	ESPÉCIMEN	TIA	PROMEDIO (TIA)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
	2	0.006			
	3	0.013			
	4	0.093			
	5	0.100			
	1	0.056			
	2	0.060			
4	3	0.036	0.053	0.005	9.02%
	4	0.057			
	5	0.053			

Fuente: Autores

En la tabla 22 se puede observar que los datos que estuvieron más dispersos son los del fabricante 3, correspondientes al tejar la Estrella; por otro lado, los datos que estuvieron más cercanos entre si corresponden al fabricante 4, es decir, ladrillera el Zulia.



**Figura 30** Valor óptimo de TIA

Fuente: Autores

En la figura 30 se observa que el valor de tasa inicial de absorción del fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña, se encuentra por encima del valor óptimo para un prehumedecimiento de 5 minutos, y el fabricante 1 correspondiente a la ladrillera Colcúcuta es el que tiene un valor más cercano al óptimo.

### **5.11 Absorción final de bloques**

Para la realización de este ensayo se llevará a cabo lo descrito en la NTC-4017: Métodos para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005). A continuación, se detalla el procedimiento:

#### **Equipo:**

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

Tanque de almacenamiento de agua

Horno mufla, digital de precisión Pinzuar Ltda. modelo PG 190 serie 151

#### **Materiales:**

20 bloques H10

Agua

#### **Procedimiento:**

Se secan los bloques en el horno a una temperatura de 110°C, y luego se enfrían los especímenes de ensayo hasta que sean manejables, se pesa cada uno de ellos y se sumergen secos

y fríos en agua limpia, entre 15.5°C y 30°C durante 24 horas. Se retira el espécimen, se seca el exceso de agua con un paño húmedo, se pesan (Véase la figura 31); el pesaje se debe hacer antes de que pasen 300 segundos de retirado del agua



**Figura 31** Pesaje de los bloques saturados

Fuente: Autores

### Cálculos:

Para determinar la absorción final de cada espécimen se utiliza la siguiente ecuación

$$\%Abs = \frac{W_{SS} - W_S}{W_S} * 100 \quad (19)$$

Donde:

%Abs = Absorción final (%)

$W_{SS}$  = Masa sumergida en agua del espécimen saturado luego de inmersión en agua fría (g)

$W_S$  = Masa seca del espécimen antes de inmersión (g)

A continuación, en la tabla 23 se muestran los datos del ensayo de absorción y los resultados obtenidos de la Ecuación 19.

Tabla 23

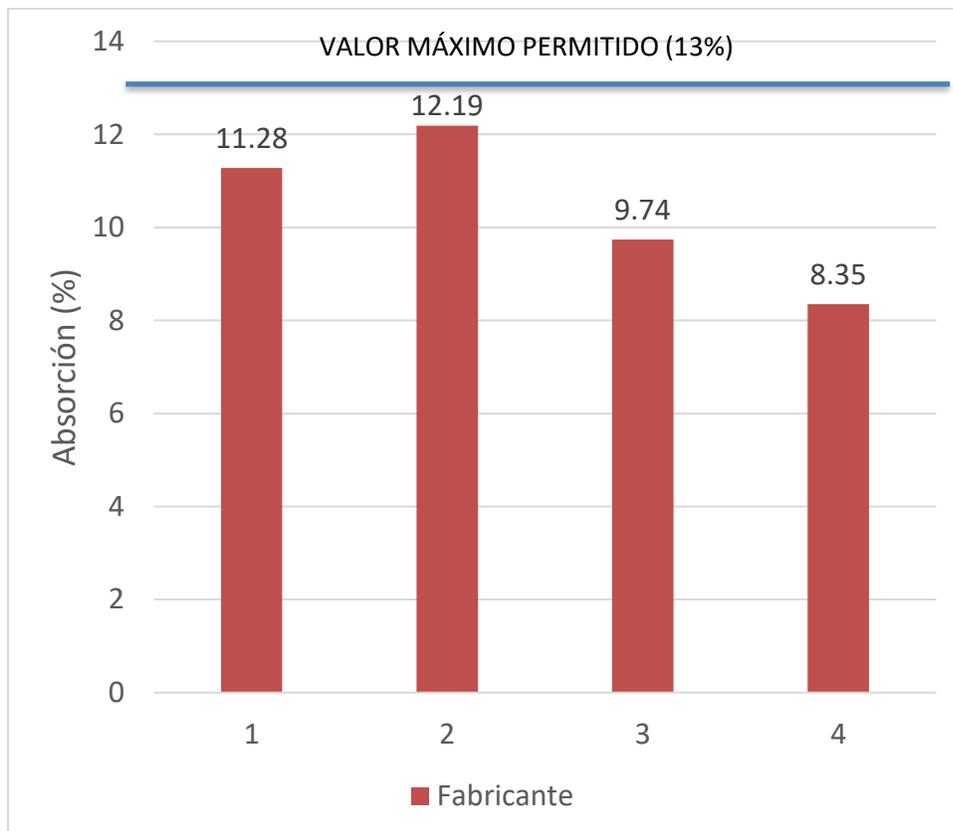
*Datos del ensayo de absorción*

FABRICANTE	ESPÉCIMEN	PESO SECO (g)	PESO SATURADO (g)	ABS. (%)	PROMEDIO ABSORCIÓN (%)	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN
1	1	3851	4256	10.52	11.28	0.24	2.13%
	2	3848	4283	11.30			
	3	3888	4325	11.24			
	4	3858	4314	11.82			
	5	3868	4313	11.50			
2	1	4691	5251	11.94	12.19	0.10	0.79%
	2	4840	5435	12.29			
	3	4720	5302	12.33			
	4	4577	5128	12.04			
	5	4674	5252	12.37			
3	1	4189	4596	9.72	9.74	0.28	2.87%
	2	4247	4693	10.50			
	3	4261	4652	9.18			
	4	4200	4588	9.24			
	5	4279	4709	10.05			
4	1	3422	3785	10.61	8.35	1.17	14.06%
	2	3433	3808	10.92			
	3	3445	3648	5.89			
	4	3532	3755	6.31			
	5	3451	3727	8.00			

Fuente: Autores

En la tabla 23 se puede observar que en promedio las muestras que mostraron mayor dispersión de los datos fueron las del fabricante 4, correspondiente a la ladrillera el Zulia, por

otra parte, los datos que tienen un menor coeficiente de variación son las del fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña.



**Figura 32** Tasa de absorción final por fabricante.

Fuente: Autores.

De acuerdo con la figura 32, podemos concluir que todos los fabricantes cumplen con las condiciones definidas en la tabla 2, ya que el porcentaje máximo promedio de absorción es de 12.19%, y el mayor valor para una unidad es de 12.37%, ambas situaciones presentadas para el fabricante 2, que corresponde a la ladrillera Ocaña.

## 5.12 Medición de tamaño de bloques

Para la realización de este ensayo se utilizan los equipos y materiales indicados en la NTC - 4017: Método para muestreo y ensayos de unidades de mampostería y otros productos de arcilla (NTC 4017, 2005), y el procedimiento descrito en dicha norma es detallado a continuación:

### **Equipo:**

Calibrador digital marca BAKER, con precisión de 0,01mm/0,0005

### **Materiales:**

40 bloques H10

### **Procedimiento:**

La longitud se mide tanto a lo largo de ambas superficies de colocación como en las caras desde el punto central de los bordes de las unidades, estas cuatro mediciones se registran con aproximación de 1 mm y se registra el promedio con aproximación a 0.5 mm. De manera análoga se miden el ancho y la altura.

A continuación, se muestran los datos obtenidos del ensayo de medición de tamaño para el fabricante 1.

Tabla 24

*Datos de medición de tamaño para el fabricante 1*

BLOQUE	Largo promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)
M 1-1	297.42	100.48	194.80
M 1-2	295.80	100.70	198.53
M 1-3	299.00	100.32	197.68
M 1-4	295.17	100.75	198.25
M 1-5	297.50	100.90	198.40
M 1-6	295.53	99.39	196.58
M 1-7	297.36	101.15	195.44
M 1-8	293.34	101.12	198.70
M 1-9	297.73	100.34	199.28
M 1-10	295.78	100.31	197.98
PROMEDIO	296.46	100.55	197.56
Desviación estándar (mm)	0.54	0.17	0.49
Coefficiente de Variación	0.18%	0.17%	0.25%

Fuente: Autores

De la tabla 24 se puede observar que la mayor desviación estándar y coeficiente de variación se presentan en la medida del alto y tienen un valor de 0.49 y 0.25% respectivamente. sin embargo, no son valores que reflejen una diferencia significativa.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de medición de tamaño para el fabricante 2:

Tabla 25

*Datos de medición de tamaño para el fabricante 2*

BLOQUE	Largo promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)
M 2-1	295.82	96.76	191.91
M 2-2	307.64	96.00	195.00
M 2-3	296.16	95.15	195.58
M 2-4	288.56	94.48	194.23
M 2-5	298.09	96.37	192.23
M 2-6	296.90	98.52	189.10
M 2-7	292.99	95.37	195.34
M 2-8	299.42	95.82	195.00
M 2-9	299.47	94.47	189.62
M 2-10	295.33	95.96	194.39
PROMEDIO	297.04	95.89	193.24
Desviación estándar (mm)	1.64	0.40	0.80
Coefficiente de Variación	0.55%	0.41%	0.41%

Fuente: Autores

De la tabla 25 se puede observar, que para el fabricante 2, la mayor desviación estándar y coeficiente de variación se presentan en la medida del largo, tendiendo un valor de 1.64 y 0.55%.

Por otra parte, el coeficiente de variación de la medida del ancho y el alto es el mismo, a pesar de que la desviación estándar no lo es.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de medición de tamaño para el fabricante 3:

Tabla 26

*Datos de ensayo de medición de tamaño para el fabricante 3*

BLOQUE	Largo promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)
M 3-1	294.35	103.52	198.82
M 3-2	301.08	103.43	202.00
M 3-3	300.97	103.69	190.23
M 3-4	292.74	104.15	201.22
M 3-5	300.75	104.77	200.78
M 3-6	302.89	102.39	201.92
M 3-7	301.89	104.36	199.99
M 3-8	299.26	105.06	200.47
M 3-9	300.34	103.13	202.80
M 3-10	295.78	100.31	198.72
PROMEDIO	299.01	103.48	199.70
Desviación estándar (mm)	1.15	0.46	1.19
Coefficiente de Variación	0.39%	0.44%	0.60%

Fuente: Autores

Se puede apreciar en la tabla 26 que para el fabricante 3 la mayor desviación estándar corresponde a la medida del alto, siendo de 1.19, sucede igual con el coeficiente de variación que es del 0.60%.

También se observa que en la medida del ancho la desviación estándar es menor que en la medida del largo, pero no sucede lo mismo con el coeficiente de variación, que es mayor en la

medida del ancho, indicando así, que no siempre ambas características serán las más críticas en el mismo lado del bloque.

A continuación, se muestran los valores obtenidos del ensayo de medición de tamaño para el fabricante 4:

Tabla 27

*Datos de ensayo de medición de tamaño del fabricante 4*

BLOQUE	Largo promedio (mm)	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)
M 4-1	291.77	99.00	193.59
M 4-2	291.95	98.43	192.87
M 4-3	287.04	95.65	187.16
M 4-4	285.26	96.16	191.57
M 4-5	290.23	96.33	189.15
M 4-6	286.45	97.85	191.32
M 4-7	286.73	95.48	191.06
M 4-8	287.97	97.84	189.28
M 4-9	289.42	97.89	188.34
M 4-10	288.84	97.10	188.98
PROMEDIO	288.57	97.17	190.33
Desviación	0.76	0.40	0.69
Coef. Variación	0.26%	0.42%	0.36%

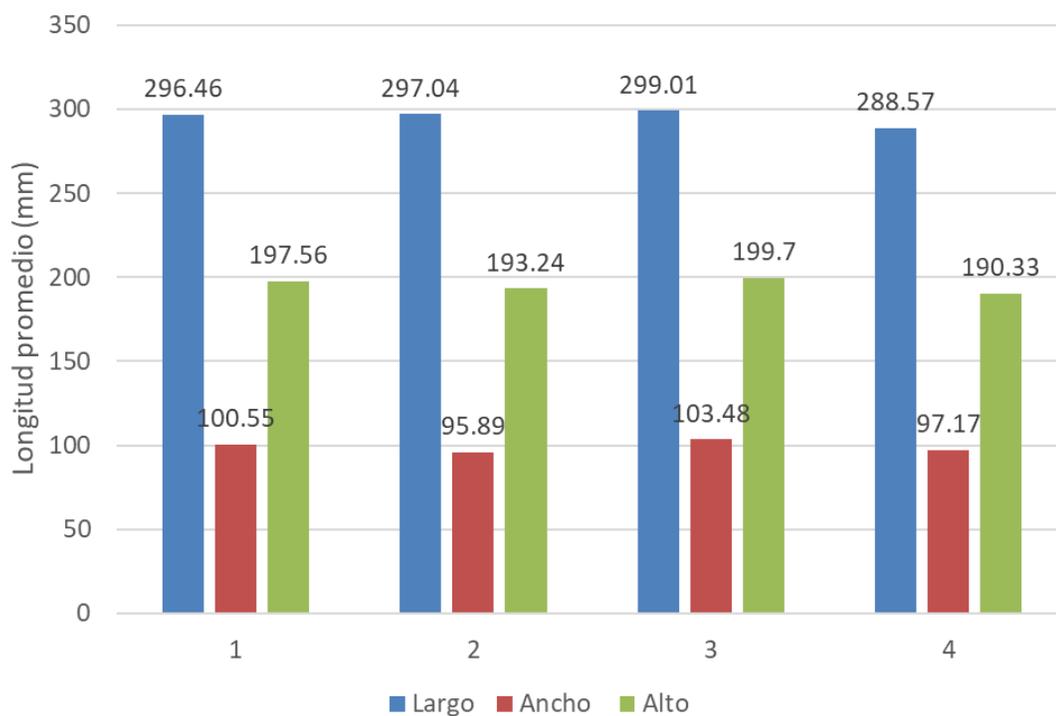
Fuente: Autores

Para el fabricante 4, se puede observar en la tabla 27 que la mayor desviación estándar se presenta en la medida del largo, con un valor de 0.76 y el coeficiente de variación más alto se da en la medida del ancho, siendo éste de 0.42%.

Esto porque se trata de dimensiones distintas en cada uno de los lados y las variaciones respectivas con respecto a las medidas teóricas.

A continuación, en la figura 33 se muestra gráficamente los promedios de cada uno de los lados para los diez bloques de cada fabricante.

:



**Figura 33** Tamaño de bloques por fabricante

Fuente: Autores

Se puede observar en la figura 33 que el fabricante 3, correspondiente al tejar La Estrella, para las dimensiones del largo y el alto, es el que está más cerca a los valores teóricos, que son 300 mm y 200 mm, respectivamente. Con respecto a la medida del ancho, es el fabricante 1, que corresponde a la ladrillera Colcúcuta quien se encuentra más cerca de la dimensión definida teóricamente, que es de 100 mm.

A continuación, en la tabla 28 se muestran a modo de resumen los datos de desviación estándar promedio y el coeficiente de variación promedio para cada uno de los fabricantes con los que se trabajó.

Tabla 28

*Datos promedio para cada fabricante.*

Fabricante	Desviación estándar promedio (mm)	Coeficiente de variación promedio
1	0.40	0.20%
2	0.95	0.46%
3	0.93	0.35%
4	0.62	0.35%

Fuente: Autores

De la tabla 28 se puede inferir que los datos tienen una mayor dispersión para el fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña, y la menor desviación estándar se presenta en el fabricante 1, que corresponde a la ladrillera Colcúcuta; sin embargo, en todos los casos, el

coeficiente de variación promedio es relativamente bajo, encontrándose en un rango de 0.20% a 0.46%.

La relación entre la desviación estándar y el promedio de las mediciones es igual para los fabricantes 3 y 4; aun sabiendo que tanto la desviación estándar como el promedio son diferentes para cada uno de ellos.

### **5.13 Resistencia a la flexión en la unión mortero-bloque**

Para la realización de este ensayo se llevará a cabo el procedimiento descrito en la norma ASTM-1072, Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength, dicho procedimiento se detalla a continuación:

#### **Equipo:**

Máquina de ensayo Pinzuar PC-13 serie 101

Balanza digital Pinzuar Ltda. 2000 series

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

#### **Materiales:**

Bloques H10

Cemento hidráulico tipo 1

Arena lavada

Agua

**Procedimiento:**

Se Sumerge parcialmente el bloque de arcilla en agua, para que la cara en donde se colocará el mortero este saturada y así evitar que se produzca una pérdida de agua por absorción haciendo que se aumente el calor de hidratación y por ende se produzca un fraguado apresurado. Se fabrica el mortero con las características adecuadas, se hace el cálculo de fluidez y se toma una pequeña muestra para hacer cubos de mortero que sirvan para verificar que la mezcla usada en los prismas cumple con la resistencia a la compresión para la cual fue diseñada.

Se agrega una capa de mortero sobre la primera unidad de mampostería y se coloca sobre dicha capa de mortero la segunda unidad de mampostería, procurando que en toda la sección la altura de la junta de mortero sea aproximadamente 10 mm (Véase la figura 34).



**Figura 34** Capa de mortero sobre unidad de mampostería y medición de su altura.

Fuente: Autores

Se golpea hasta que el bloque quede fijo con ayuda de un martillo de goma y con una plomada se hace un ajuste respectivo en las dos unidades de mampostería por dos de sus caras para asegurar su verticalidad y perfecta colocación (Véase la figura 35).



**Figura 35** Aplomado de prismas

Fuente: Autores

Se realiza el curado de los prismas dos veces al día durante una semana (Véase la figura 36).



**Figura 36** Curado de prismas

Fuente: Autores

Luego de haber fabricado los prismas y realizado el curado durante los primeros 8 días desde su fabricación, al tener una edad de 21 días aproximadamente se procede a cortarlos utilizando una pulidora de disco para que su largo sea de 280 mm aproximadamente (Véase la figura 37), con el fin de poderlos introducir en la máquina de ensayo; luego de esto, se calibra la máquina de ensayo.



**Figura 37** Cortado de prismas

Fuente: Autores

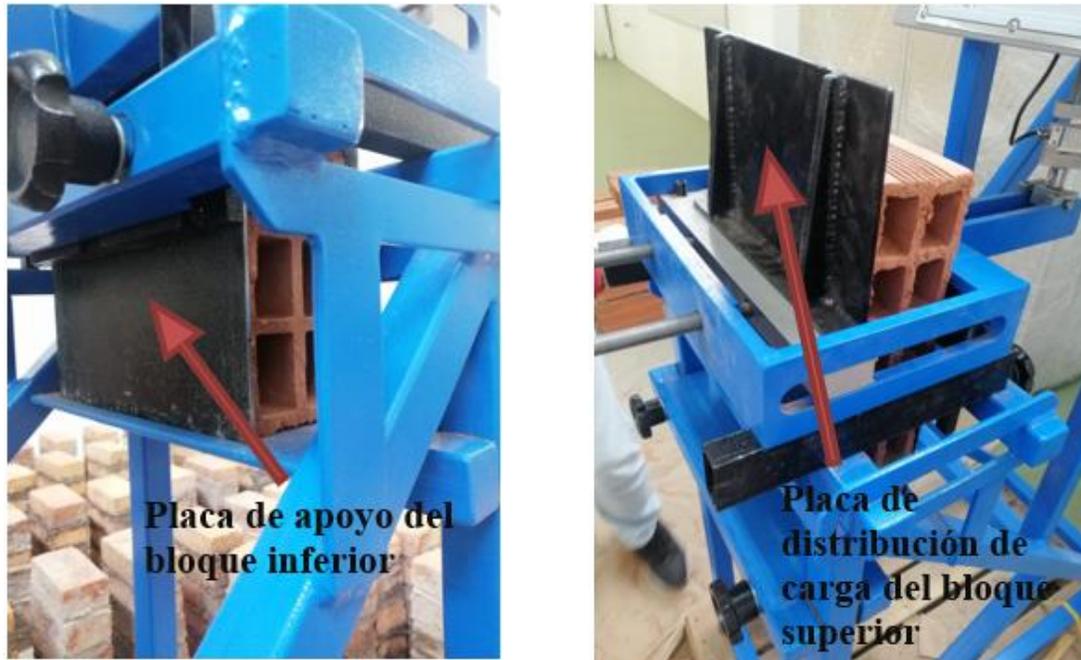
Se procede a medir la altura a la que quedará la base de apoyo del prisma, teniendo en cuenta que la unión de mortero quede exactamente en el medio de los soportes superior e inferior y asegurando que dicha de base de apoyo quede perfectamente nivelada (Véase la figura 38).



**Figura 38** Soportes de apoyo y nivelación de la base de apoyo del bloque inferior.

Fuente: Autores

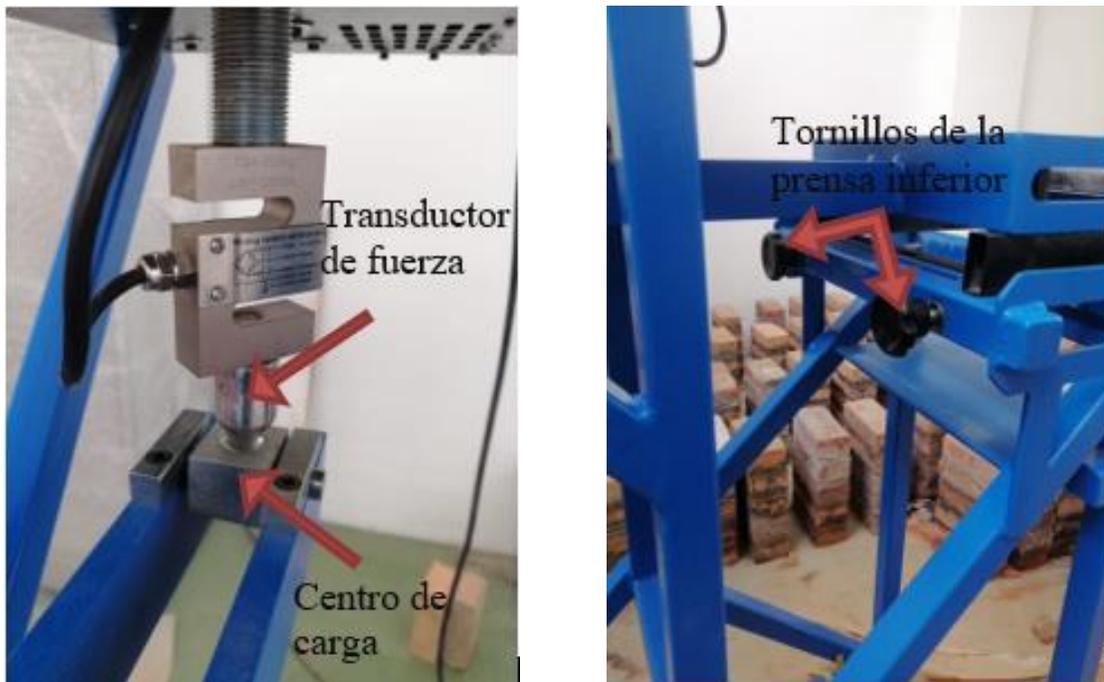
Se introduce el bloque, y se insertan las placas de 3 mm de espesor que sirven de apoyo al bloque inferior y se coloca la placa de distribución de carga del bloque superior en el brazo de carga de la máquina de ensayo (Véase la figura 39).



**Figura 39** Placa de apoyo del bloque inferior y placa de distribución de carga.

Fuente: Autores

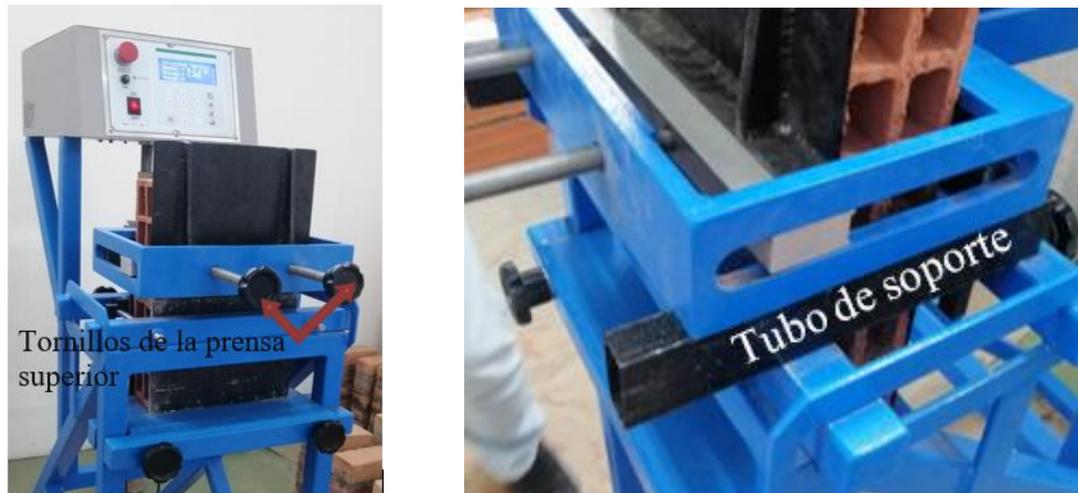
Se ajusta el brazo de carga para que el centro de carga quede alineado bajo el transductor de fuerza, para esto se utiliza un martillo y con unos suaves golpes se hace el respectivo ajuste. Se ajustan los tornillos de la prensa inferior, que sujetan el prisma al soporte ajustable impidiendo su desplazamiento (Véase la figura 40).



**Figura 40** Ajuste del centro de carga

Fuente: Autores

Se ajustan los tornillos superiores, con una fuerza suficiente para que estos contengan el peso de la prensa superior, pero sin excederse en dicha fuerza para evitar la fractura del bloque y se retiran los tubos de soporte del brazo de carga para que este pueda desplazarse libremente (Véase la figura 41).



**Figura 41** Tornillos de la prensa superior

Fuente: Autores

Se ajusta la velocidad de carga pulsando la tecla Menú, luego, muestra (2), se digita el nuevo valor de la velocidad en mm/min, por último, se confirma con la tecla Enter. Según la norma ASTM-1072, Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength, la velocidad deber ser la que produzca la falla del prisma entre 1 y 3 minutos (Véase la figura 42).



**Figura 42** Ajuste de velocidad de carga

Fuente: Autores

Se inicia el ensayo, y se espera hasta que se produzca la falla, y se registra el valor de carga máxima y el tiempo que tardó en fallar (Véase la figura 43).



**Figura 43** Falla del prisma

Fuente: Autores

### Cálculos:

Para determinar la resistencia a la flexión en la unión de mampostería se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_g = \frac{6(PL + P_l L_l)}{bd^2} - \frac{(P + P_l)}{bd} \quad (20)$$

Donde:

$F_g$  = Resistencia a la tracción por flexión del área bruta (MPa)

$P$  = Carga máxima aplicada (N)

$L$  = Distancia desde el centro del prisma hasta el punto de carga (mm)

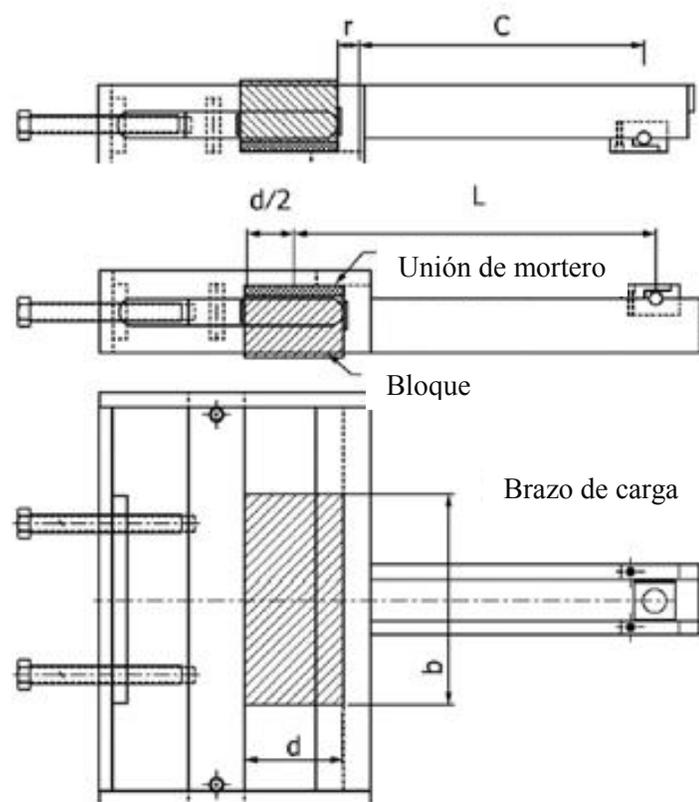
$P_l$  = Peso del brazo de carga (N)

$L_l$  = Distancia desde el centro del prisma al centroide del brazo de carga (mm)

$b$  = Ancho de la sección transversal del área de mortero, perpendicular al brazo de carga del soporte de sujeción superior (mm)

$d$  = Profundidad de la sección transversal del área con lecho de mortero, medida paralela al brazo de carga del soporte de sujeción superior (mm)

Para entender mejor cada una de las medidas que involucra la Ecuación 20, a continuación, se muestra la figura 44.



**Figura 44** Medidas del brazo de carga y el prisma

Fuente: ASTM-1072, Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength

En la figura 44 se puede observar que los valores  $r$  y  $C$  son constantes, por tratarse de medidas del brazo de carga, por lo que para conocer el valor de  $L$  se hace necesario conocer estas medidas (Véase las figura 45); las longitudes  $r$  y  $C$  son: 51.03 mm y 264.91 mm respectivamente.



**Figura 45** Medición de las longitudes  $C$  y  $r$ .

Fuente: Autores

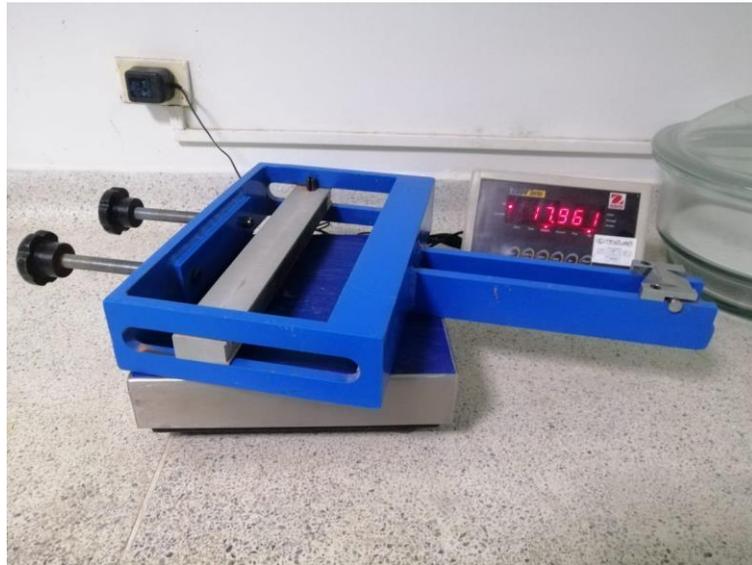
Así, la longitud  $L$ , está determinada por la siguiente ecuación:

$$L = C + r + \frac{d}{2} \quad ( 21 )$$

Teniendo en cuenta la ecuación X2.1 del apartado X2.1.1 de la ASTM-1072, Métodos de prueba estándar para la medición de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería, en inglés, Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength, se tiene que:

$$L_l = r + \frac{d}{2} \quad ( 22 )$$

Ahora, el peso del brazo de carga se obtiene del producto entre el valor de la masa y la aceleración de la gravedad, por lo que se procede a obtener este primer valor (Véase la figura 46).



**Figura 46** Pesaje del brazo de carga

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta el valor observado en la figura 46 (17.961 kg) y tomando el valor de la gravedad como  $9.81 \text{ m/s}^2$ . Se tiene que el peso del brazo de carga es de 176.21 N.

A modo de ejemplo se realiza el procedimiento llevado a cabo para la determinación de la resistencia a la flexión en la unión de mampostería del prisma 3M5, dicha nomenclatura se compone de la siguiente manera:

El primer número corresponde a la identificación dada a cada fabricante, siendo así el prisma 3M5, se fabricó con bloques hechos por el fabricante 3.

La letra luego del primer número indica el tipo de mortero que se utilizó para la fabricación del prisma, en este caso sería el mortero tipo M, cuya resistencia es de 17.5 MPa.

Finalmente, la cifra ubicada en el tercer lugar hace referencia al número de la muestra.

Se pesan los prismas en la balanza en la balanza y se registra la información (Véase la figura 47)



**Figura 47** Pesaje de los prismas

Fuente: Autores

De la figura 47 se obtiene que la masa del prisma es de 8455 g, es importante aclarar que el dato del peso no tiene ninguna influencia en el cálculo de la resistencia a la flexión en la unión.

Se mide las dimensiones  $b$  y  $d$ , utilizando un calibrador Baker con precisión de 0.01 mm (Véase la figura 48); para la muestra 3M5 las dimensiones  $b$  y  $d$  son: 274.99 mm y 97.46 mm respectivamente.



**Figura 48** Medición de las dimensiones b y d.

Fuente: Autores

Luego de pesar y medir el bloque se procede a introducirlo en la máquina de ensayo, se realizan todos los ajustes descritos anteriormente, se espera que este falle (Véase la figura 49), y se registran los datos de fuerza máxima y el tiempo que la muestra tardó en fallar.



**Figura 49** Muestra en proceso de carga.

Fuente: Autores.

Para la muestra del ejemplo; la fuerza máxima fue de 463.2 N y el tiempo que tardó en fallar fueron 2 minutos y 5 segundos. Finalmente, se retira el prisma de la máquina de ensayo y se verifica el tipo de falla presentada (Véase la figura 50).



**Figura 50** Falla presentada en el prisma 3M5.

Fuente: Autores.

En la figura 50 se observa que el prisma 3M5 presentó la falla en la unión de mortero, ya que esta se despegó completamente del bloque superior.

Ahora, reemplazando en la Ecuación 21 se tiene que:

$$L = 264.91 + 51.03 + \frac{97.46}{2}$$

$$L = 364.67 \text{ mm}$$

Luego se calcula la longitud  $L_l$ , reemplazando los valores en la Ecuación 22.

$$L_l = 51.03 + \frac{97.46}{2}$$

$$L_t = 99.76 \text{ mm}$$

Por último, se reemplazan todos los datos en la Ecuación 20, para obtener la resistencia a la flexión en la unión de la mampostería.

$$F_g = \frac{6(463.20 * 364.70 + 176.21 * 99.76)}{274.99 * 97.46^2} - \frac{(463.20 + 176.21)}{274.99 * 97.46}$$

$$F_g = 0.40 \text{ MPa}$$

Se realiza este mismo procedimiento para todas las muestras.

Es importante aclarar que no todas las muestras ensayadas fallaron por la junta; ya que se presentaron diversas circunstancias; cuando se ensayaron los primeros prismas, la máquina de ensayo no tenía las placas de apoyo del bloque inferior, lo que provocó la falla en 9 de los prismas ensayados, en 6 casos se aplicó un exceso de presión por los tornillos superiores, provocando la falla inmediata del bloque, además de esto se presentaron 2 situaciones en las cuales los prismas presentaron una falla por la unión de mortero, sin embargo, la máquina de ensayo no registró la fuerza máxima, al momento de cortarse los bloques se dañaron 13 prismas, finalmente 32 presentaron una falla en el bloque manteniendo intacta la unión de mortero. De un total de 164 muestras, 102 fallaron por la unión de mortero, de esas, fueron 69 las que fallaron en un tiempo comprendido entre 1 y 3 minutos. Siendo estos, los requisitos necesarios para tomar en consideración el resultado de la muestra.

A continuación, en la tabla 29 se muestran los datos de entrada correspondientes a dichas muestras:

Tabla 29

*Datos usados del ensayo de flexión*

Nombre de la muestra	P	Velocidad de carga	Tiempo de falla	Peso	b	d
	N	mm/min	min: seg	G	mm	mm
1 M 1	271.5	4.00	0:12	7954	279.76	100.52
1 M 7	310.7	8.00	2:06	7840	277.84	101.13
1 M 11	398.0	8.00	1:45	7975	278.18	100.07
1 M 12	298.5	8.00	1:25	7795	276.18	101.10
1 S 2	227.5	4.00	1:24	7792	276.54	100.03
1 S 7	342.9	7.50	2:32	7994	278.60	100.35
1 S 10	281.3	8.00	1:45	7939	279.89	102.52
1 S 11	288.1	7.50	2:10	8608	282.00	94.62
1 S 12	289.4	7.50	1:25	7898	279.33	100.33
1 N 2	156.8	4.00	1:46	7802	279.34	101.33
1 N 3	143.7	4.50	1:03	7878	279.81	101.37
1 N 6	182.9	7.50	2:06	8028	282.14	99.93
1 N 7	219.6	7.50	2:26	7962	283.33	100.64
1 N 10	239.7	4.00	2:20	7961	276.76	100.66
1 N 12	171.7	8.00	1:18	7962	277.99	98.60
1 N 13	265.1	7.50	1:47	7977	276.90	100.46
1 N 14	274.6	7.00	2:40	7966	277.60	100.18
1 N 15	278.6	8.00	1:12	8006	279.47	101.59
1 N 17	313.5	8.00	2:31	7894	281.50	98.38
2 M 1	211.7	8.00	2:35	9349	278.54	101.89
2 M 4	493.5	8.00	2:45	9327	279.46	97.74
2 M 11	119.1	8.00	1:45	9521	283.95	101.31

Nombre de la muestra	P	Velocidad de carga	Tiempo de falla	Peso	b	d
	N	mm/min	min: seg	G	mm	mm
2 S 2	300.3	8.00	2:04	9427	279.67	94.37
2 S 3	217.3	8.00	2:36	9527	280.64	97.68
2 S 5	283.9	7.50	2:14	9390	280.93	96.55
2 S 7	259.3	8.00	2:43	9456	280.79	100.64
2 S 11	258.6	7.80	2:35	9469	283.04	98.95
2 N 2	275.6	7.50	2:03	9345	278.56	97.67
2 N 5	189.2	8.00	2:00	9526	283.01	102.45
2 N 6	208.6	7.50	2:20	9327	278.72	97.46
2 N 7	165.7	7.50	1:27	9326	279.60	98.54
2 N 9	230.6	8.00	2:10	9385	282.21	97.19
2 N 10	401.0	8.00	2:39	9486	280.00	100.29
2 N 13	257.6	7.50	1:15	9407	287.14	94.10
2 N 15	383.8	7.50	2:40	9544	282.68	94.96
2 N 17	223.7	7.50	1:40	9462	283.43	95.35
3 M 2	148.2	8.00	1:02	8419	281.90	102.59
3 M 3	315.4	8.00	2:38	8345	278.56	101.23
3 M 5	419.7	8.00	2:15	8455	279.55	102.56
3 M 6	345.6	8.00	1:35	8465	279.85	102.34
3 M 11	478.5	8.00	1:20	8562	279.87	103.22
3 M 12	368.6	8.00	1:08	8406	275.50	104.53
3 S 1	302.6	7.80	1:39	8359	279.48	102.33
3 S 2	170.8	5.00	1:30	7984	276.81	104.29
3 S 4	277.8	5.00	1:38	8554	280.34	107.20
3 S 7	159.0	7.80	1:10	8446	276.67	105.34
3 S 9	259.9	8.00	1:42	8527	279.43	103.79

Nombre de la muestra	P	Velocidad de carga	Tiempo de falla	Peso	b	d
	N	mm/min	min: seg	G	mm	mm
3 S 10	269.0	8.00	1:27	8592	280.89	102.32
3 S 12	244.3	7.80	1:17	8572	278.48	103.80
3 N 2	265.4	7.50	2:10	8444.8	279.17	104.50
3 N 5	168.2	8.00	1:05	8472	276.79	102.15
3 N 7	178.5	7.50	2:43	8475	278.56	101.23
3 N 11	206.7	8.00	1:38	8526	281.32	102.36
3 N 12	276.4	7.50	2:20	8557	278.66	105.85
3 N 13	226.0	3.00	2:30	8618	280.34	100.56
3 N 15	217.6	7.50	2:48	8549	283.29	103.99
3 N 16	439.4	8.00	2:20	8366	278.52	103.33
4 M 2	502.5	8.00	2:14	7346	280.45	97.85
4 M 5	463.2	8.00	2:05	7840	274.99	97.46
4 M 10	295.3	8.00	1:27	7286	273.54	97.73
4 S 1	238.0	4.00	2:50	7253	275.73	98.04
4 S 2	274.8	5.00	1:19	7286	283.88	98.43
4 S 7	390.9	8.00	2:42	7505	284.95	98.07
4 S 12	188.4	7.80	1:58	7182	277.54	98.21
4 N 1	193.9	8.00	1:20	7162	276.32	97.83
4 N 2	158.9	4.00	3:00	7384	273.23	97.47
4 N 10	153.8	8.00	2:25	7358	277.56	99.64
4 N 11	223.9	8.00	2:36	7408	281.55	97.83
4 N 14	443.7	8.00	2:22	7456	282.93	97.99
4 N 17	203.1	7.50	2:48	7423	279.56	98.67

Fuente: Autores.

En la tabla 29 se puede observar la cantidad de muestras de cada tipo de fabricante y mortero que fallaron por la junta y, además lo hicieron en un tiempo comprendido entre 1 y 3 minutos. Se observa que hay distintas velocidades de deformación que varían en un rango de 3.00 mm/min a 8.00 mm/min, ya que la norma no establece una velocidad de deformación, por ende, tuvo que realizarse ensayos de ajuste con el fin de que el prisma fallara en el tiempo establecido. Luego de realizar varios ensayos se definió que la velocidad de deformación para los morteros tipo M de debía ser de 8 mm/min, para los tipo S de 7.8 mm/min y para los tipo N de 7.5 mm/min, sin embargo, para los dos últimos tipos de mortero algunas veces el tiempo de ensayo sobrepasaba los 3 minutos, por lo que finalmente se tomó la determinación de tomar todas las velocidades de deformación de 8 mm/min; seguidamente se registra el tiempo que duraron los prismas en producir la falla; y por último se muestran las columnas correspondientes al peso, la longitud y ancho del prisma, valores obtenidos realizando las respectivas mediciones.

Para el caso del fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta hubo un total de 19 datos, 4 para el mortero tipo M, 5 para el mortero tipo S y 10 para el portero tipo N; para el primero los valores estuvieron en un rango de 271.5 N y 398 N, para el segundo oscilaron entre 227.5 N y 342.9 N y para el tercero el rango estuvo entre 143.7 N y 313.5 N. Para el caso del fabricante 2, que corresponde a la ladrillera Ocaña hubo un total de 17 datos, 3 para el mortero tipo M, 5 para el mortero tipo S y 9 para el portero tipo N; para el primero los valores estuvieron en un rango de 493.5 N y 119.1 N, para el segundo oscilaron entre 217.3 N y 300.3 N y para el tercero el rango estuvo entre 165.7 N y 401.0 N. Para el caso del fabricante 3, correspondiente al tejear La Estrella hubo un total de 21 datos, 6 para el mortero tipo M, 7 para el mortero tipo S y 8 para el portero tipo N; para el primero los valores estuvieron en un rango de 148.2 N y 478.5 N,

para el segundo oscilaron entre 159.0 N y 302.6 N y para el tercero el rango estuvo entre 168.2 N y 439.4 N. Para el caso del fabricante 4, correspondiente a la ladrillera El Zulia hubo un total de 13 datos, 3 para el mortero tipo M, 4 para el mortero tipo S y 6 para el portero tipo N; para el primero los valores estuvieron en un rango de 295.3 N y 502.5 N, para el segundo oscilaron entre 188.4 N y 390.9 N y para el tercero el rango estuvo entre 153.8 N y 443.7 N. Realizando el mismo proceso que para el prisma 3M5 descrito en el presente capítulo, se obtienen los valores de la resistencia a la flexión en la unión de mortero ( $F_g$ ) utilizando la Ecuación 20, y se observan los resultados en la tabla 30 para cada uno de los prismas que cumplen las condiciones de tiempo y tipo de falla, además, se muestra el promedio de dichas resistencias, la desviación estándar y el coeficiente de variación que se muestra a continuación:

Tabla 30

*Resultados del ensayo de flexión en la unión de mampostería*

Nombre	P	F <sub>g</sub>	Promedio de F <sub>g</sub>	Desviación estándar	Coeficiente de variación
	N	MPa	MPa	MPa	%
1 M 7	310.70	0.26			
1 M 11	398.00	0.33	0.28	0.02	7.19%
1 M 12	298.50	0.25			
1 S 2	227.50	0.20			
1 S 7	342.90	0.29	0.25	0.02	6.64%
1 S 10	281.30	0.23			
1 S 11	288.10	0.27			

Nombre	P	Fg	Promedio de Fg	Desviación estándar	Coefficiente de variación
	N	MPa	MPa	MPa	%
1 S 12	289.40	0.25			
1 N 2	156.80	0.15			
1 N 3	143.70	0.14			
1 N 6	182.90	0.17			
1 N 7	219.60	0.19			
1 N 10	239.70	0.21	0.20	0.02	7.55%
1 N 12	171.70	0.17			
1 N 13	265.10	0.23			
1 N 14	274.60	0.24			
1 N 15	278.60	0.23			
1 N 17	313.50	0.27			
2 M 1	211.70	0.18			
2 M 4	493.50	0.42	0.24	0.11	46.79%
2 M 11	119.10	0.12			
2 S 2	300.30	0.29			
2 S 3	217.30	0.20			
2 S 5	283.90	0.26	0.24	0.02	6.91%
2 S 7	259.30	0.22			
2 S 11	258.60	0.23			
2 N 2	275.60	0.25			
2 N 5	189.20	0.16			
2 N 6	208.60	0.20	0.24	0.02	9.90%
2 N 7	165.70	0.16			
2 N 9	230.60	0.21			

Nombre	P	Fg	Promedio de Fg	Desviación estándar	Coefficiente de variación
	N	MPa	MPa	MPa	%
2 N 10	401.00	0.33			
2 N 13	257.60	0.25			
2 N 15	383.80	0.35			
2 N 17	223.70	0.22			
3 M 2	148.20	0.14			
3 M 3	315.40	0.26			
3 M 5	419.70	0.33	0.28	0.04	12.80%
3 M 6	345.60	0.28			
3 M 11	478.50	0.37			
3 M 12	368.60	0.29			
3 S 1	302.60	0.25			
3 S 2	170.80	0.15			
3 S 4	277.80	0.21			
3 S 7	159.00	0.14	0.20	0.02	8.15%
3 S 9	259.90	0.21			
3 S 10	269.00	0.22			
3 S 12	244.30	0.20			
3 N 2	265.40	0.21			
3 N 5	168.20	0.34			
3 N 7	178.50	0.16			
3 N 11	206.70	0.18	0.23	0.03	11.71%
3 N 12	276.40	0.22			
3 N 13	226.00	0.20			
3 N 15	217.60	0.18			

Nombre	P	Fg	Promedio de Fg	Desviación estándar	Coefficiente de variación
	N	MPa	MPa	MPa	%
3 N 16	439.40	0.34			
4 M 2	502.50	0.42			
4 M 5	463.20	0.40	0.37	0.06	16.19%
4 M 10	295.30	0.27			
4 S 1	238.00	0.22			
4 S 2	274.80	0.24	0.24	0.04	15.06%
4 S 7	390.90	0.33			
4 S 12	188.40	0.18			
4 N 1	193.90	0.19			
4 N 2	158.90	0.16			
4 N 10	153.80	0.15	0.21	0.04	17.44%
4 N 11	223.90	0.21			
4 N 14	443.70	0.37			
4 N 17	203.15	0.19			

Fuente: Autores.

En la tabla 30 se observan los valores promedio de la resistencia a la flexión en la unión del mortero para cada mortero y fabricante. Para el fabricante 1 los datos presentaron una desviación estándar similar, el coeficiente de variación es mayor para el mortero tipo N, con un valor de 7.55% y menor para el mortero tipo S siendo de 6.64%. Para el fabricante 2, la mayor desviación estándar se presenta para el mortero tipo M, al igual que el coeficiente de variación que es del 46.79%. Para el fabricante 3 la desviación estándar es similar para los 3 tipos de mortero, sin embargo, este valor es un poco mayor para el mortero tipo M, al igual que

el coeficiente de variación, cuyo valor es de 12.80%. Finalmente, el fabricante 4 tiene una desviación estándar más alta para el mortero tipo M, correspondiente a 0.06 y el coeficiente de variación más elevado pertenece al mortero tipo N, con un valor de 17.44%.

A continuación, en las tablas 31 y 32, se observan los promedios de resistencia a la flexión, desviación estándar y coeficiente de variación, de cada tipo mortero por fabricante, y de cada fabricante por tipo de mortero, respectivamente.

Tabla 31

*Datos promedio de resistencia a la flexión para cada tipo de mortero por fabricante*

Fabricante	Tipo de mortero	Resistencia	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación
		MPa	MPa	MPa	%
1	M	0.282	0.243	0.029	12.06%
	S	0.249			
	N	0.199			
2	M	0.240	0.239	0.002	0.67%
	S	0.240			
	N	0.236			
3	M	0.277	0.234	0.028	12.13%
	S	0.198			
	N	0.228			
4	M	0.366	0.274	0.058	21.15%
	S	0.243			
	N	0.211			

Fuente: Autores

En la tabla 31 se puede observar que, para el fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña el coeficiente de variación es de 0.67% lo que indica que independientemente del tipo de mortero la resistencia en la junta fue muy similar. Mientras que para el fabricante 4, se observa que el coeficiente de variación fue del 21.15%, es el mayor presentado en los 4 tipos de fabricantes, lo que quiere decir, que el tipo de mortero utilizado afectó en gran proporción la resistencia a la flexión en la unión, que es lo que se espera.

Tabla 32

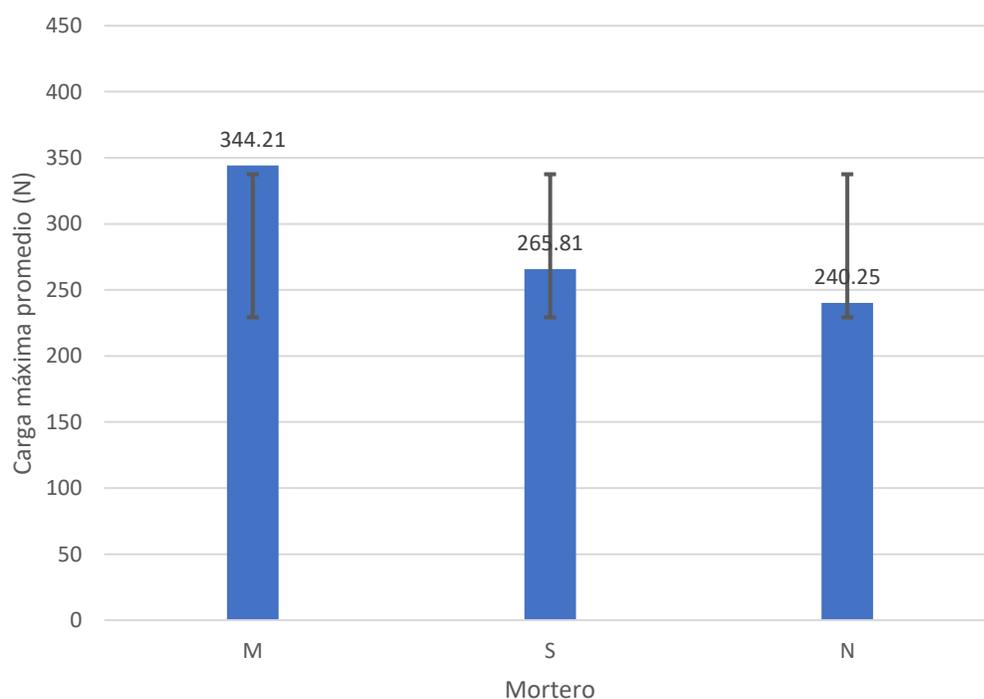
*Resistencia a la flexión promedio por fabricante para cada tipo de mortero*

Mortero	Fabricante	Resistencia MPa	Promedio MPa	Desviación estándar MPa	Coefficiente de variación %
M	1	0.282	0.291	0.031	10.56%
	2	0.240			
	3	0.277			
	4	0.366			
S	1	0.249	0.232	0.014	5.85%
	2	0.240			
	3	0.198			
	4	0.243			
N	1	0.199	0.219	0.010	4.35%
	2	0.236			
	3	0.228			
	4	0.211			

Fuente: Autores.

En la tabla 32 se observa que el menor coeficiente de variación presentado para los tres tipos de mortero corresponde al tipo N, situación que se presenta porque para este tipo de mortero se tuvieron en consideración mayor cantidad de datos, caso contrario a lo que ocurre con el mortero tipo M, donde, para los fabricantes 1, 2 y 4 sólo se contó con 3 muestras que cumplían los requisitos de tiempo y tipo de falla, lo que generó una mayor dispersión en los datos.

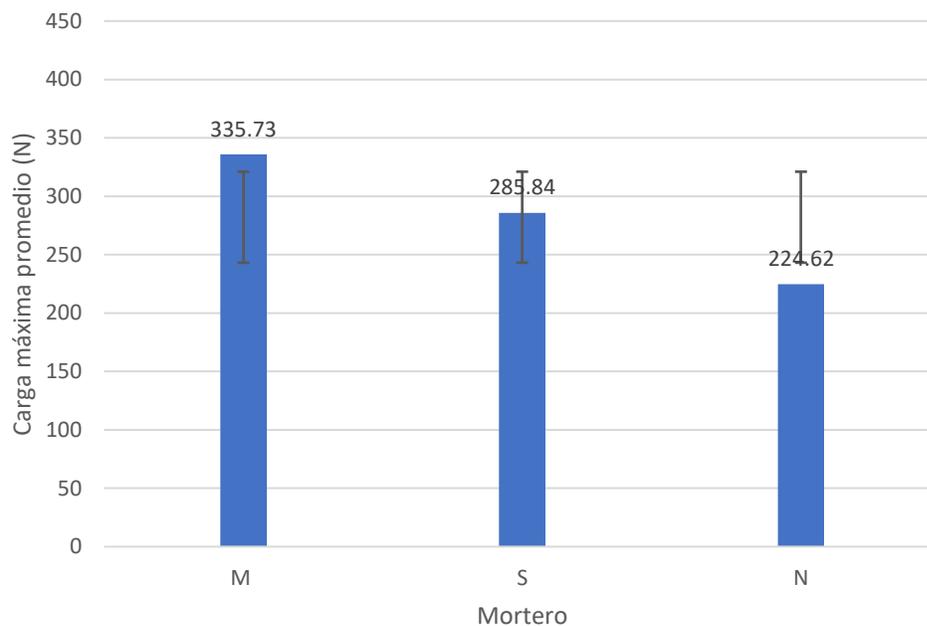
De las tablas 30, 31 y 32 se pueden obtener una serie de figuras que se muestran y detallan a continuación:



**Figura 51** Carga máxima promedio para todos los fabricantes por tipo de mortero

Fuente: Autores

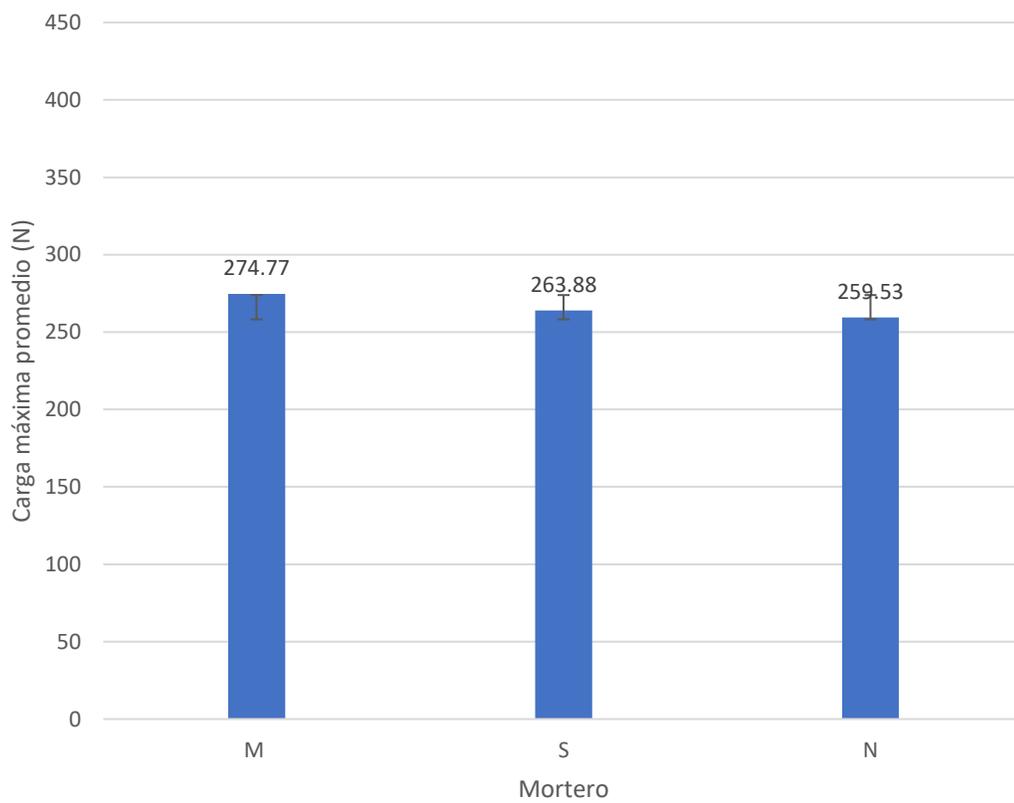
En la figura 51 se observa la carga máxima promedio en la junta para todos los fabricantes por tipo de mortero, se puede evidenciar que esta disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace.



**Figura 52** Carga máxima promedio para el fabricante 1

Fuente: Autores

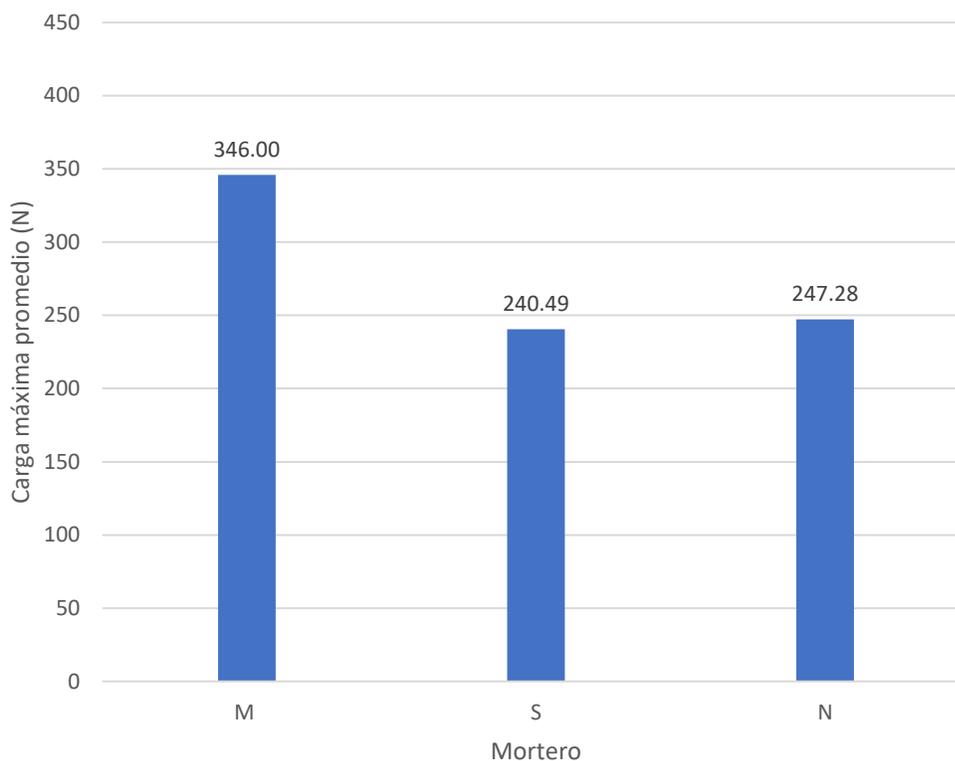
En la figura 52 se observa la carga máxima promedio en la junta por tipo de mortero para el fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta; se puede evidenciar que esta disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace.



**Figura 53** Carga máxima promedio para el fabricante 2

Fuente: Autores

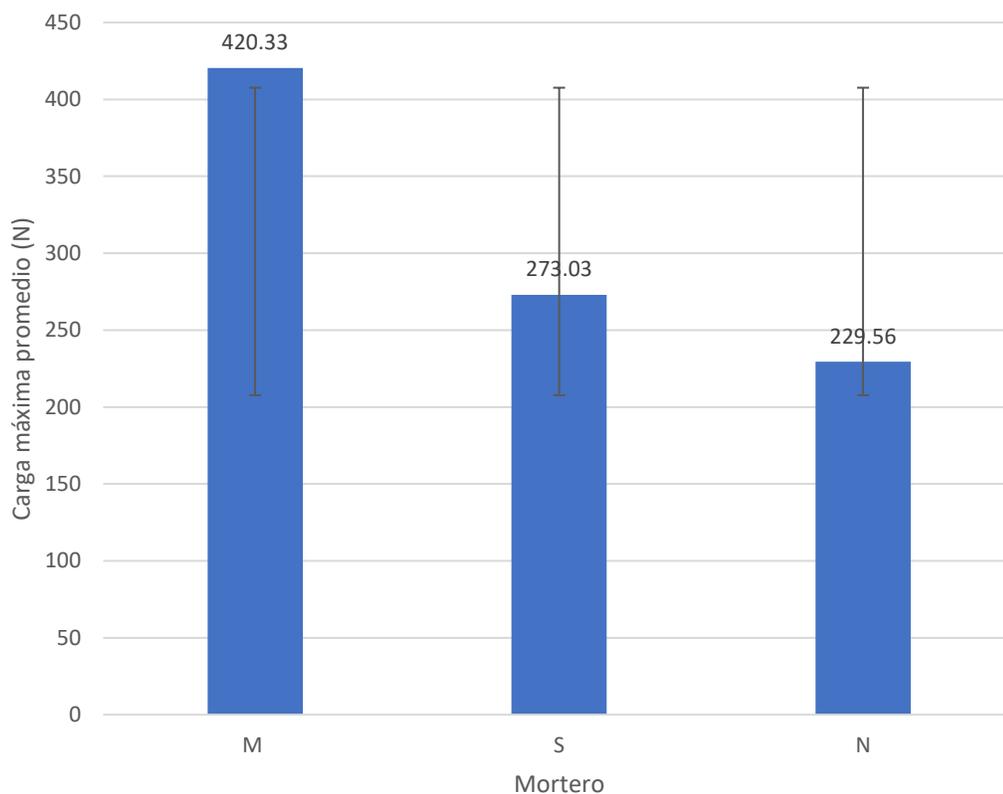
En la figura 53 se puede observar la carga máxima promedio en la unión bloque-mortero para cada uno de los tipos de mortero para el fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña; se puede notar que dicha carga disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace.



**Figura 54** Carga máxima promedio para el fabricante 3

Fuente: Autores

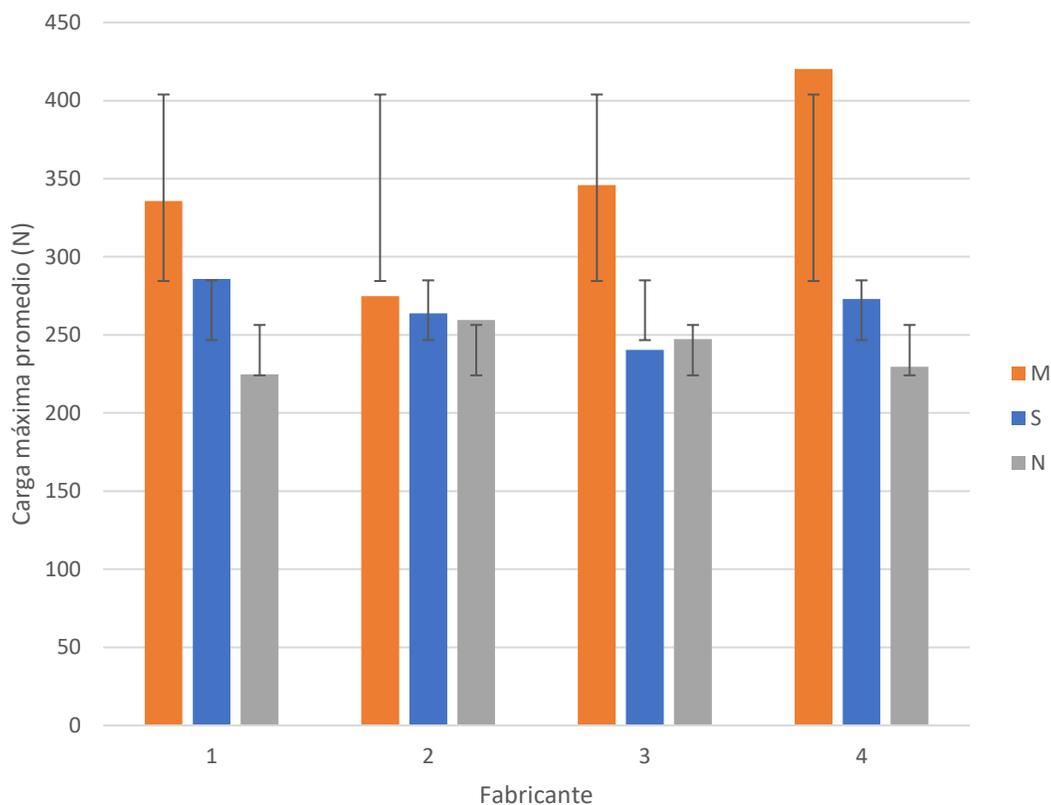
En la figura 54 se puede observar la carga máxima promedio en la unión bloque-mortero para cada uno de los tipos de mortero y el fabricante 3, correspondiente al tejar La Estrella; se puede notar que dicha carga es menor para el mortero tipo S y mayor para los morteros tipo M y N, lo que refleja que no hay una relación proporcional entre la resistencia del mortero y la resistencia de la junta.



**Figura 55** Carga máxima promedio para el fabricante 4

Fuente: Autores

En la figura 55 se puede observar la carga máxima promedio en la unión bloque-mortero para cada uno de los tipos de mortero y el fabricante 4, correspondiente a la ladrillera El Zulia; se puede notar que dicha carga presenta un comportamiento similar a los fabricantes 1 y 2, ya que disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace, sin embargo, la disminución entre los tipos de mortero M y S es mayor a la que se da entre los morteros tipo S y N.



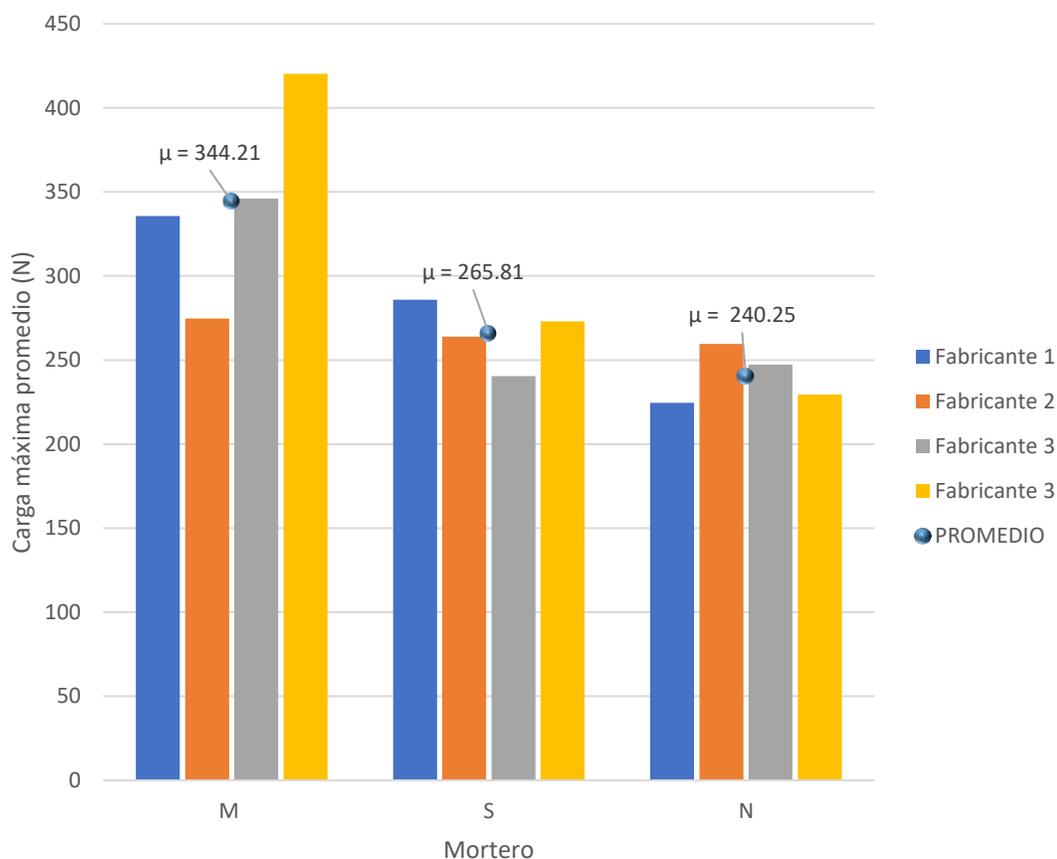
**Figura 56** Carga máxima promedio para cada tipo de fabricante

Fuente: Autores

En la figura 56 se observan agrupados los valores de fuerza máxima para todos los tipos de mortero y fabricantes.

Es evidente que el mortero tipo M es mayor para todos los fabricantes respecto a los otros tipos. Para el caso de los fabricantes 2 y 3, correspondientes a la ladrillera Ocaña y al tejar La Estrella respectivamente en el caso de los morteros tipo N y S se tiene un valor de resistencia en la junta muy similar entre ellos. Para el caso de los fabricantes 1 y 4 correspondientes a la ladrillera Colcúcuta y ladrillera El Zulia, la resistencia en la junta disminuye a medida que lo hace la resistencia del mortero. Finalmente, que para el fabricante 2, correspondiente a la

ladrillera Ocaña, la resistencia en la junta es muy similar independientemente de la resistencia del mortero.



**Figura 57** Carga máxima promedio por tipo de mortero

Fuente: Autores

En la figura 57 se observa que el fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta presenta una menor resistencia en la junta a medida que la resistencia del mortero también disminuye.

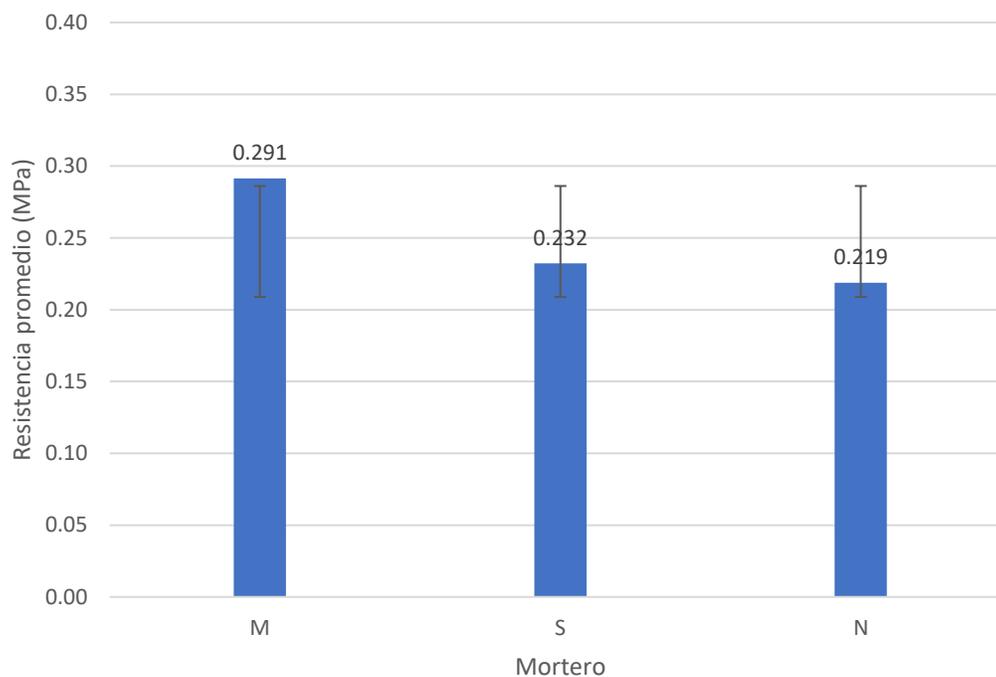
Para el caso del fabricante 2, que corresponde a la ladrillera Ocaña se puede apreciar que independientemente de la resistencia del mortero, la resistencia en la junta es bastante similar.

Para el fabricante 3, que corresponde al tejar La Estrella, se evidencia que para el mortero tipo M la resistencia en la junta es mayor que para los otros tipos de morteros, sin embargo, para prismas del mortero tipo N se presenta una mayor resistencia en la junta que para los prismas del mortero tipo S, situación contraria a lo esperado.

Para el fabricante 4, correspondiente a la ladrillera El Zulia ocurre algo similar con el fabricante 1, es decir, que a medida que se presenta una disminución en la resistencia del mortero, también se reduce la resistencia en la junta, sin embargo, en este caso la reducción entre los morteros tipo M y S es mucho mayor a la que se da entre los morteros tipo S y N.

Teniendo en cuenta la ecuación con la que calculamos la resistencia a la tracción por flexión, se puede intuir que los gráficos de dicha resistencia tendrán un comportamiento muy similar a los gráficos de la fuerza máxima registrada; ya que los valores  $P1$  y  $L1$  son constantes, los valores de  $b$  y  $d$  varían en un rango muy pequeño, ya que el primero en todos los casos es muy cercano a 280 mm y el segundo se encuentra alrededor de 100 mm.

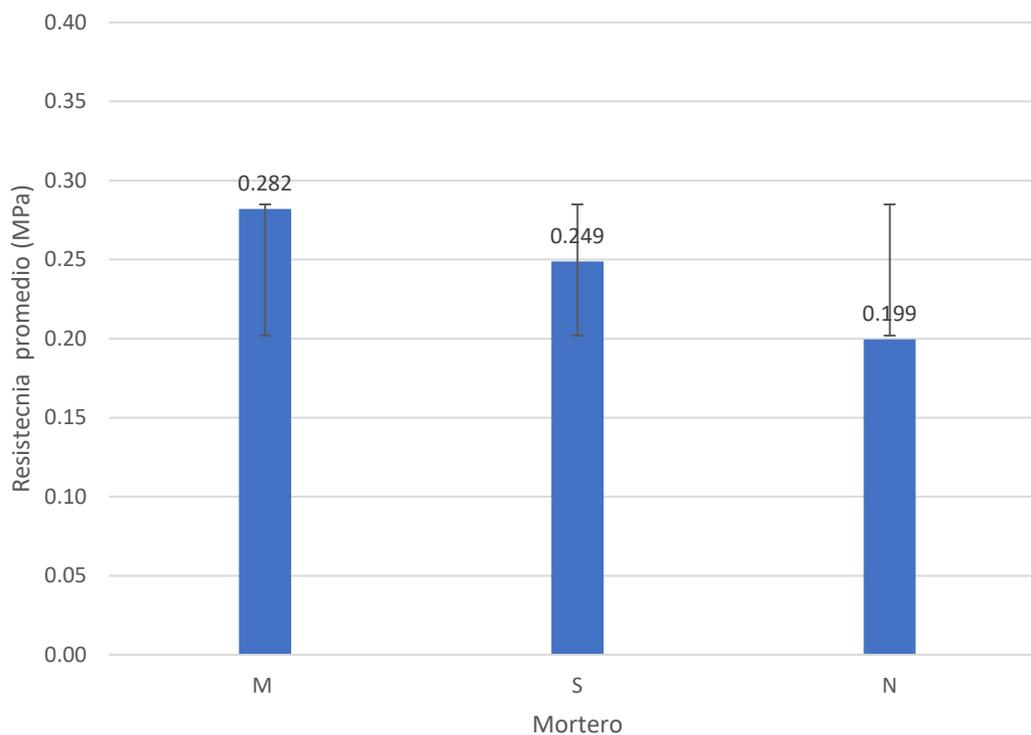
Finalmente, el valor de  $L$  depende del valor de  $d$ , lo que indica que su variación tampoco es demasiado considerable, por todo esto se puede observar en las siguientes figuras el comportamiento de la resistencia a la flexión en la unión para todos los fabricantes y tipos de mortero.



**Figura 58** Resistencia a la flexión máxima promedio para todos los fabricantes por tipo de mortero

Fuente: Autores

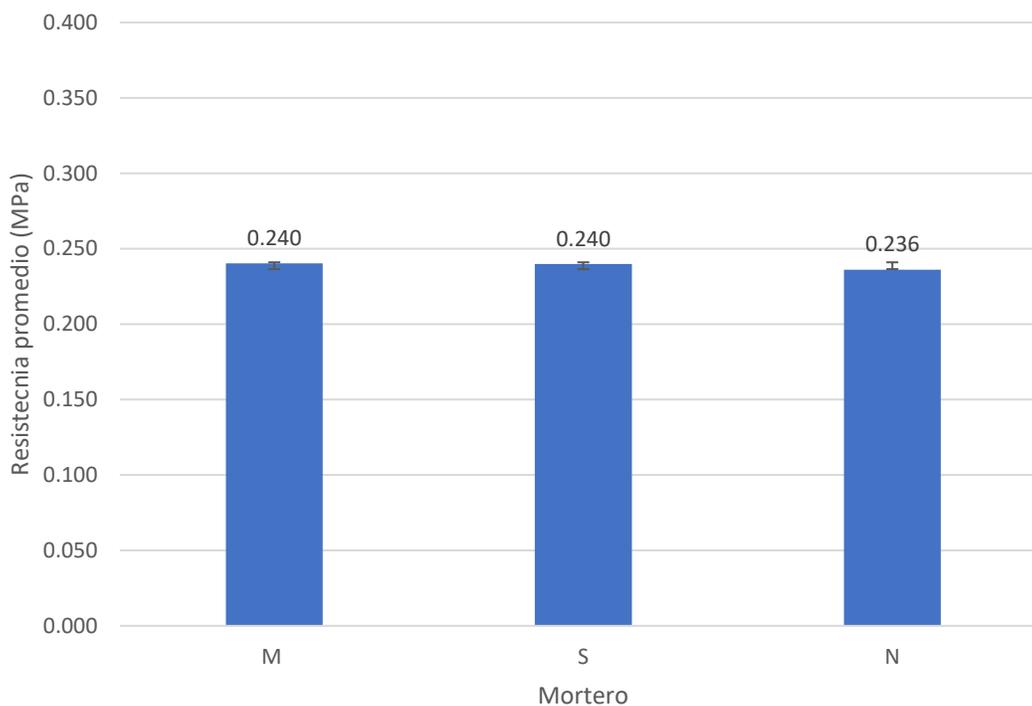
En la figura 58 se observa la resistencia a la flexión máxima en la junta para todos los fabricantes por tipo de mortero, se puede evidenciar que esta disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace.



**Figura 59** Resistencia a la flexión máxima promedio para el fabricante 1

Fuente: Autores

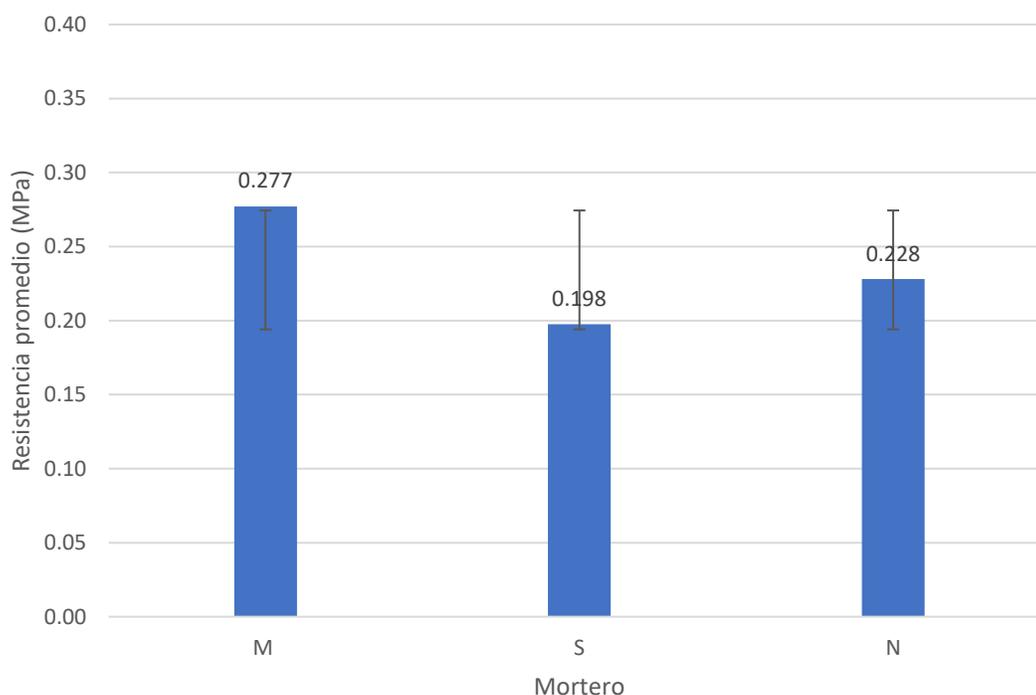
En la figura 59 se observa la resistencia a la flexión máxima en la junta para el fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta; se puede evidenciar que esta disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace.



**Figura 60** Resistencia a la flexión promedio para el fabricante 2

Fuente: Autores

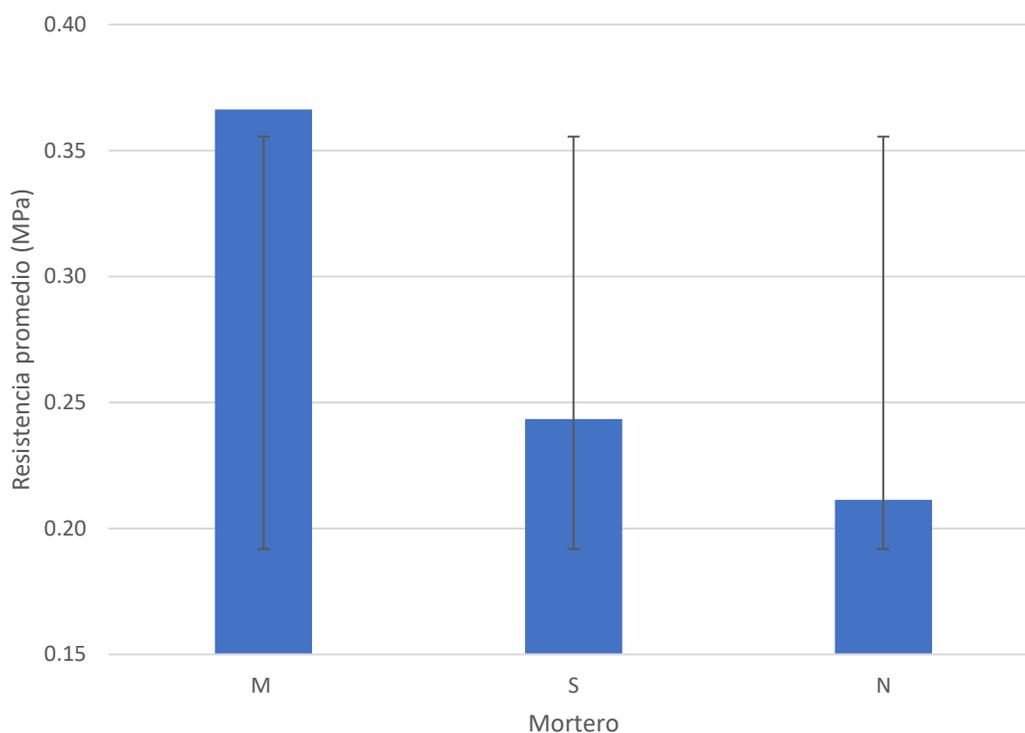
En la figura 60 se puede observar la resistencia a la flexión máxima en la junta para cada uno de los tipos de mortero para el fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña; se puede notar que dicha resistencia es bastante similar independientemente del mortero que se haya utilizado.



**Figura 61** Resistencia promedio para el fabricante 3

Fuente: Autores

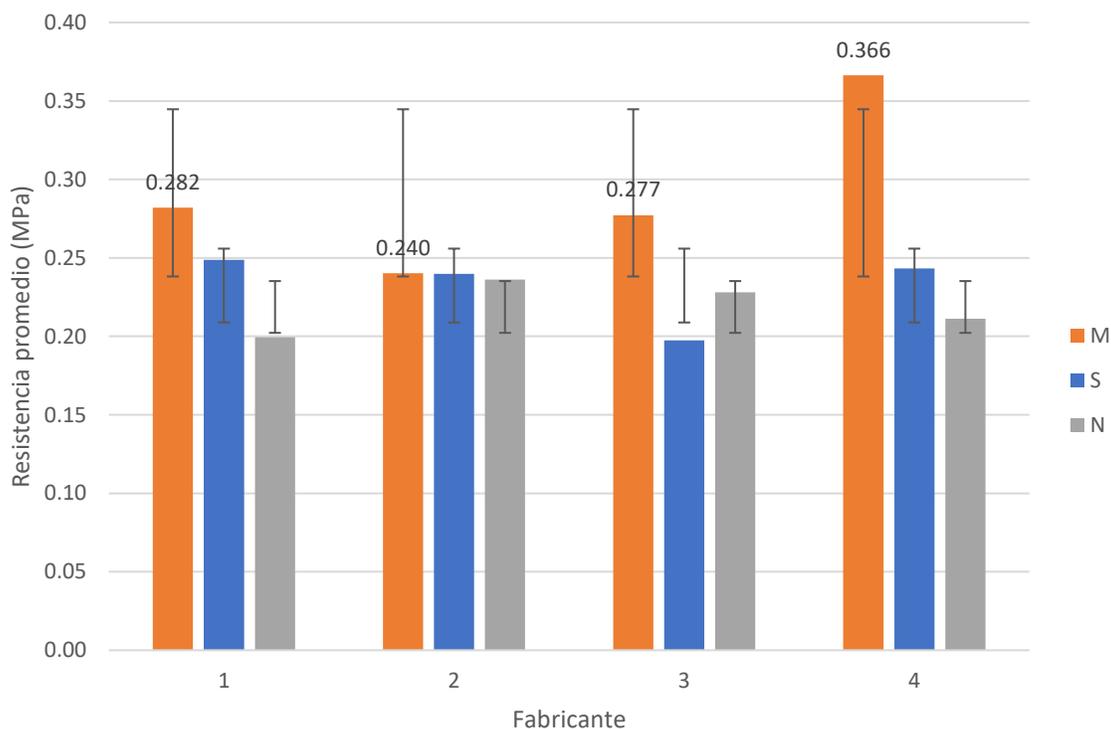
En la figura 61 se puede observar la resistencia a la flexión máxima en la unión bloque-mortero para cada uno de los tipos de mortero y el fabricante 3, correspondiente al tejar La Estrella; se puede notar que dicha resistencia es menor para el mortero tipo S y mayor para los morteros tipo M y N, lo que refleja que no hay una relación proporcional entre la resistencia del mortero y la resistencia de la junta.



**Figura 62** Resistencia a la flexión promedio para el fabricante 4

Fuente: Autores

En la figura 62 se puede observar la resistencia a la flexión máxima en la unión bloque-mortero para cada uno de los tipos de mortero y el fabricante 4, correspondiente a la ladrillera El Zulia; se puede notar que dicha resistencia disminuye a medida que la resistencia del mortero también lo hace, sin embargo, la disminución entre los tipos de mortero M y S es mayor a la que se da entre los morteros tipo S y N.



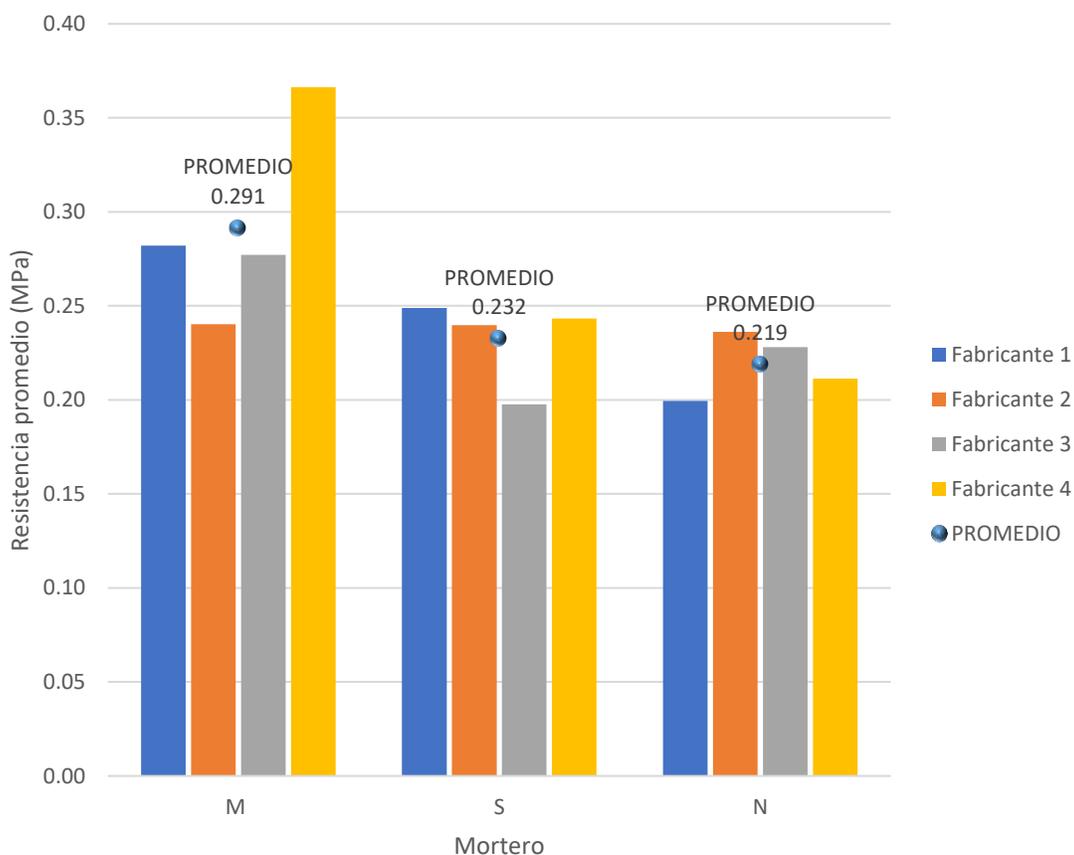
**Figura 63** Resistencia a la flexión promedio para cada tipo de fabricante

Fuente: Autores

En la figura 63 se observan agrupados los valores de resistencia para todos los tipos de mortero y fabricantes.

Es evidente que para el mortero tipo M la resistencia en la junta es mayor que para los otros tipos de morteros, en todos los fabricantes. Para el caso del fabricante 2, correspondiente a la ladrillera Ocaña la resistencia en la junta es muy similar independientemente de la resistencia del mortero. En el caso del fabricante 3, correspondiente al tejar La Estrella, la resistencia de la junta del mortero tipo N es mayor que la del mortero tipo S, situación contraria a lo esperado, ya la resistencia del mortero tipo S supera por 5 MPa a la del mortero tipo N. Para el caso del

fabricante 4 hay una disminución elevada en la resistencia entre los morteros tipo M y S, y una más pequeña entre los morteros tipo S y N.

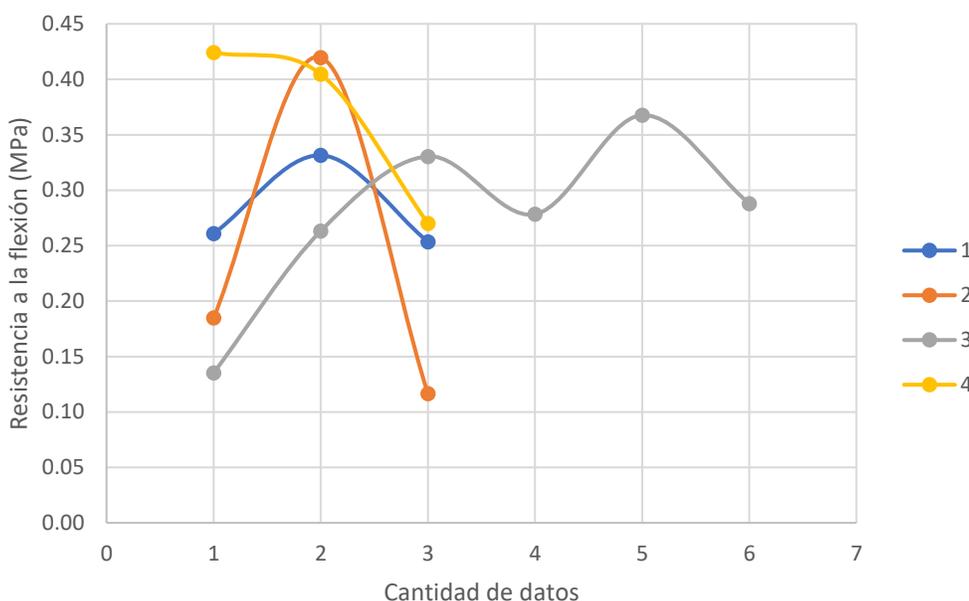


**Figura 64** Resistencia a la flexión promedio por tipo de mortero

Fuente: Autores

En la figura 64 se muestra el promedio de la resistencia a la flexión por tipo de mortero, para los fabricantes 1 y 4, a medida que la resistencia del mortero disminuye también lo hace la de la junta, para el fabricante 2, los valores de la resistencia en la junta son similares independientemente de la resistencia del mortero, por último el fabricante 3, presenta una

característica distinta a la esperada ya que la resistencia en la junta del mortero tipo N es mayor a la del tipo S, aun cuando este último tiene mayor resistencia a la compresión que el anterior.

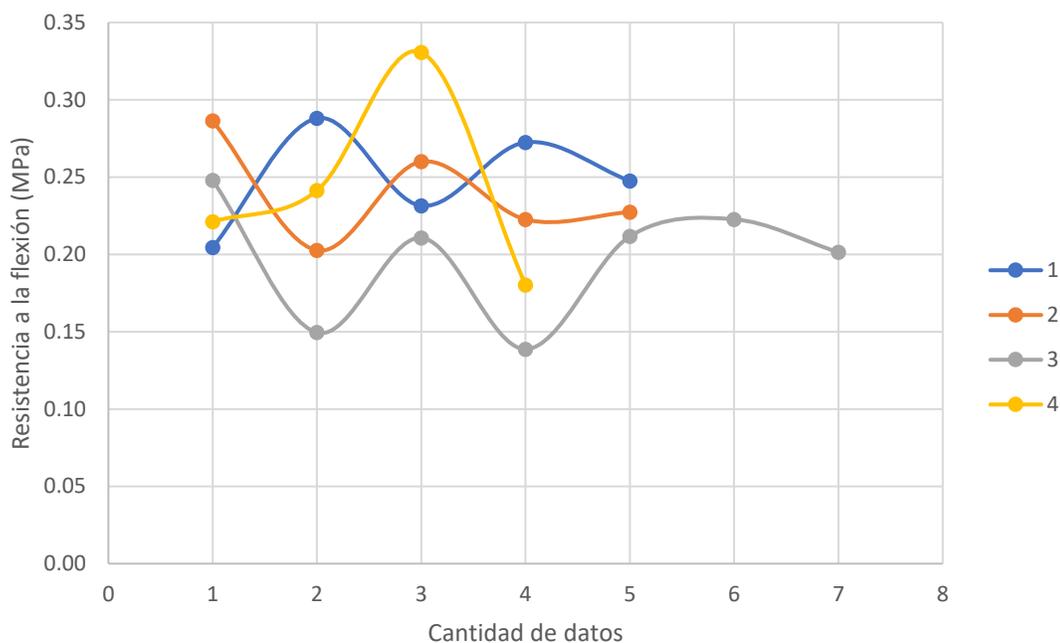


**Figura 65** Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo M para cada tipo de fabricante.

Fuente: Autores.

En la figura 65 se observa un gráfico de dispersión donde se muestra la resistencia de los ensayos de cada uno de los fabricantes y el mortero tipo M. Se evidencia que hay mayor cantidad de datos para el fabricante tipo 3, correspondiente al tejear La Estrella, ya que, para este, mayor cantidad de muestras cumplieron con las condiciones establecidas de tipo y tiempo de falla.

El fabricante 4 presenta una mayor resistencia en la junta con este tipo de mortero; y el fabricante 2 es el menor en promedio; como lo muestra la figura 63; a pesar que en la figura 65 se observa que uno de sus datos es el mayor para este tipo de mortero.

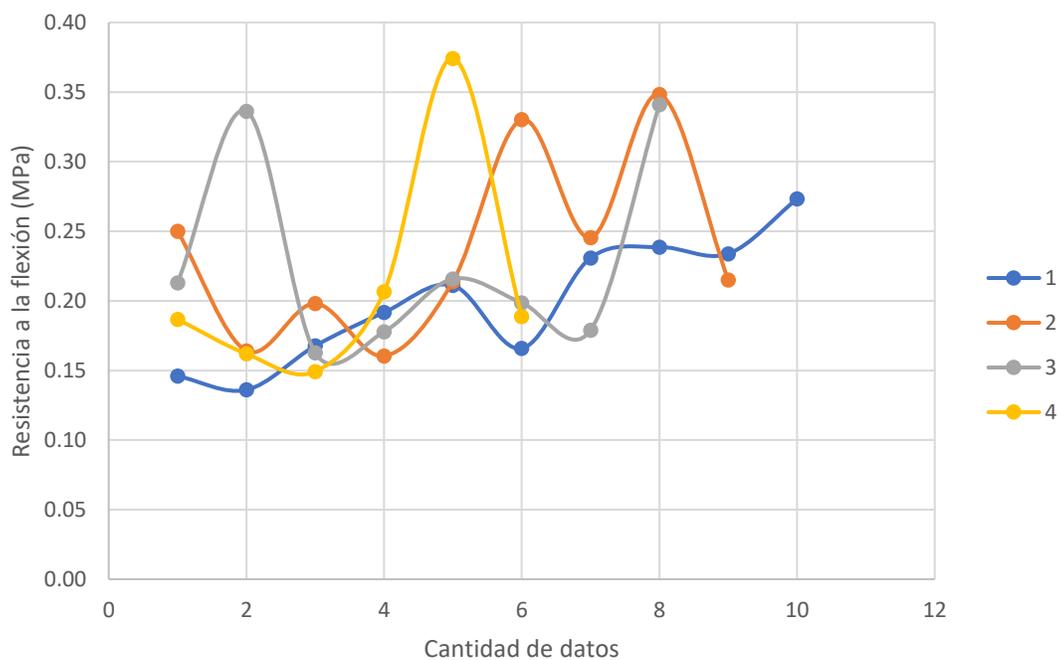


**Figura 66** Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo S para cada tipo de fabricante

Fuente: Autores

En la figura 66 se observa un gráfico de dispersión donde se muestra la resistencia de los ensayos de cada uno de los fabricantes y el mortero tipo S. Se puede notar que hay mayor cantidad de datos para el fabricante tipo 3, que corresponde al tejar La Estrella, ya que, para este, las muestras cumplieron con las condiciones establecidas de tipo y tiempo de falla fueron más.

Se observa que la mayoría de datos correspondientes al fabricante 3 permanecieron por debajo de los demás, lo que permite inferir que para este fabricante el promedio de resistencia en la unión de mortero es el menor de los cuatro fabricantes. Por otra parte, se observa que los datos de los fabricantes 1, 2 y 4 son similares entre sí, lo que indica que para este tipo de mortero; el tipo de bloque utilizado no es un factor determinante para el valor de la resistencia en la unión.



**Figura 67** Resistencia a la flexión máxima para el mortero tipo N para cada tipo de fabricante

Fuente: Autores

En la figura 67 se observa un gráfico de dispersión donde se muestra la resistencia de los ensayos de cada uno de los fabricantes y el mortero tipo N. De los morteros tipo M y S se realizaron 12 muestras por cada uno de los fabricantes, pero en el caso del mortero tipo N esta cantidad fue de 17, por este motivo hay una mayor cantidad de prismas disponibles que cumplen con los requisitos de tipo y tiempo de falla.

Se observa que en el caso del fabricante 1, la mayoría de muestras se encuentran por debajo de las de los demás fabricantes, lo que permite inferir que, en promedio, la resistencia en la junta de este con el mortero N es menor.

Tomando como referencia el artículo llamado adhesión ladrillo-mortero y resistencia a la compresión de mampostería, en inglés, Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength publicado por G. Sarangapani, BV Venkatarama Reddy, y KS Jagadish, se tendrán en cuenta los morteros tipo CM1 y CM2 para hacer una comparación con los resultados obtenidos, ya que dichos tipos de mortero son lo que presentan un resistencia a la compresión similar a la de los morteros tipo S y N respectivamente de este proyecto. A continuación, en la tabla 33 se muestran los valores de resistencia a la compresión del mortero y resistencia en la unión, para los morteros CM1 y CM2.

Tabla 33

*Parámetros de los morteros CM1 y CM2.*

Designación de mortero	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
CM1	10.57	0.205
CM2	7.32	0.088

Fuente: Artículo adhesión ladrillo-mortero y resistencia a la compresión de mampostería, en inglés, Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength

En la tabla 34 se muestran los datos que se obtuvieron luego de realizar el ensayo de resistencia a la compresión de una muestra del mortero utilizado para la fabricación de los prismas, dicho mortero se ensayó simultáneamente con los prismas, al cumplirse los 28 días desde su fabricación. Además, se muestran los valores promedio de resistencia en la unión para los cuatro fabricantes de cada tipo de mortero.

Tabla 34

*Datos de resistencias para los morteros tipo M, S y N*

Resistencia a la compresión bloque-mortero		
Designación de mortero	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)
M	18.07	0.291
S	13.81	0.232
N	7.24	0.219

Fuente: Autores

A continuación, en la tabla 35 se realiza la comparación entre los morteros tipo S y CM1.

Tabla 35

*Comparación de los morteros tipo S y CM1*

Mortero	S	CM1	Variación
Resistencia a la compresión (MPa)	13.81	10.57	23.46%
Resistencia a la flexión en la unión (MPa)	0.232	0.205	11.64%

Fuente: Autores.

Puede observarse en la tabla 35 que a pesar de que el porcentaje de variación de la resistencia a la compresión de los dos tipos de mortero es del 23.46%, la variación con respecto a la resistencia a la flexión en la unión es mucho menor, exactamente de un 11.64%, lo que se debe

en gran parte a que los ensayos realizados en el artículo citado corresponden a prismas fabricados con ladrillo macizo y en este caso, dichos prismas se realizaron con bloque.

A continuación, en la tabla 36 se realiza la comparación entre los morteros tipo N y CM2.

Tabla 36

*Comparación de los morteros tipo N y CM2.*

Mortero	N	CM2	Variación
Resistencia a la compresión (MPa)	7.24	7.32	1.10%
Resistencia a la flexión en la unión (MPa)	0.219	0.088	59.82%

Fuente: Autores

En la tabla 36 se puede observar, en contraste con la tabla 35, que el porcentaje de variación de la resistencia a la compresión es muy pequeño, por lo que se puede decir que los valores son muy similares, por otra parte, el porcentaje de variación del ensayo de resistencia a la flexión en la unión es de 59.82%, un valor que refleja que un dato es más del doble que el otro.

## Conclusiones

Los bloques que tienen mayor resistencia a la compresión son los del fabricante 1, correspondiente a la ladrillera Colcúcuta, con una resistencia promedio de 2.81 MPa (2810.18 kPa), por otro lado, los bloques con menor resistencia son los del fabricante 2, que corresponde a la Ladrillera Ocaña, cuya resistencia es en promedio de 1.99 MPa.

Los cuatro tipos de bloques con los que se trabajó cumplieron con el porcentaje máximo de absorción final establecidos en la NTC – 4205 (NTC 4205, 2009), y para la tasa de absorción inicial los fabricantes 1, 3 y 4, correspondientes a la Ladrillera Colcúcuta, tejar La Estrella y Ladrillera el Zulia, respectivamente, cumplieron con el requisito en la NTC – 4205, por lo que se puede afirmar que se trabajó con especímenes ideales que siguen la normatividad.

Se realizaron los ensayos necesarios para determinar las características físicas y mecánicas de los agregados, con el fin realizar satisfactoriamente el diseño de los morteros, sin embargo, la resistencia a la compresión obtenida no fue la esperada, por lo que fue necesario hacer un nuevo diseño, con morteros de diferente dosificación siguiendo el consejo de un experto.

El fabricante que obtuvo una mayor resistencia la flexión con prismas fabricados con mortero tipo M fue la ladrillera El Zulia, de igual forma para prismas fabricados con el mortero tipo S y N, lo fueron la ladrillera Colcúcuta y la ladrillera Ocaña, respectivamente.

Definiendo el comportamiento esperado como el hecho de que a mayor resistencia a la compresión del mortero, mayor es resistencia a la flexión en la unión, se puede decir que las ladrilleras Colcúcuta y El Zulia lo tuvieron, por otra parte en el caso de la ladrillera Ocaña, la resistencia a la flexión en la unión se puede considerar independiente de la resistencia del mortero, ya que para los tres tipos de mortero este valor fue similar, finalmente el tejar La

Estrella presentó un comportamiento inapropiado ya que la resistencia en la unión fue mayor para el mortero tipo N que para el tipo S, cuando sus resistencias a la compresión son de 7.5 MPa y 12.5 MPa, respectivamente.

No fue posible establecer un valor estadístico que relacionara la resistencia en la unión y los tipos de mortero y fabricante, ya que la cantidad de datos en algunos casos era limitada (de 3 a 5 muestras), lo que no permitía crear una línea de tendencia confiable. Sin embargo, se determinaron valores promedio de resistencia en la unión para cada tipo de mortero y fabricante.

## **Recomendaciones**

Calibrar y nivelar la máquina de ensayo que determina la fuerza máxima a flexión en la unión de mortero, así como también, limitar el exceso de fuerza en los tornillos superiores, para evitar que se produzca una falla en alguno de los bloques.

Investigar acerca de la influencia que puede tener en la resistencia a la flexión en juntas de mortero con bloques a los que previamente se le hagan pequeñas incisiones que aumenten la rugosidad del bloque y por ende su adherencia con el mortero.

Realizar una investigación donde se muestre el comportamiento de la unión entre el mortero y bloque aplicando altas cargas en pequeños lapsos de tiempo, simulando lo que ocurre durante un sismo.

Fabricar mayor cantidad de prismas con el fin de tener una cantidad de datos mayor para todas las combinaciones posibles de fabricante y tipo de mortero, para establecer un valor estadístico confiable.

## Referencias

- Alcaldía Municipal de Ocaña. (2020). *Nuestro municipio*. Obtenido de <http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Anefa. (22 de 01 de 2010). *Los áridos*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37082-Los-aridos.html>
- ARDISA. (20 de Junio de 2019). *Bloque H-10*. Obtenido de <https://www.ardisa.com/ladrillos/ladrillo-h10>
- ASTM 1072. (13 de Abril de 1999). Standard Test Methods for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength. ASTM International.
- Cabrera, J. (28 de Septiembre de 2011). *Civilgeeks.com*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>
- Dcnetwork. (21 de Enero de 2018). *Historia de la mampostería - Del Siglo V al Siglo XIX*. Obtenido de [http://dcnetwork.com.mx/rec/Mamp/Wiki/Historia\\_de\\_la\\_Mamposter%C3%ADa/Del\\_Siglo\\_V\\_al\\_Siglo\\_XIX.html](http://dcnetwork.com.mx/rec/Mamp/Wiki/Historia_de_la_Mamposter%C3%ADa/Del_Siglo_V_al_Siglo_XIX.html)
- Dcnetwork. (21 de Enero de 2018). *Historia de la mampostería - Egipto y Grecia*. Obtenido de [http://dcnetwork.com.mx/rec/Mamp/Wiki/Historia\\_de\\_la\\_Mamposter%C3%ADa/Egipto\\_y\\_Grecia.html](http://dcnetwork.com.mx/rec/Mamp/Wiki/Historia_de_la_Mamposter%C3%ADa/Egipto_y_Grecia.html)
- Diccionario de Arquitectura y Construcción. (2017). *Resistencia de Rotura*. Obtenido de <https://www.parro.com.ar/definicion-de-resistencia+de+rotura>

- Espinel Blanco, E., Velásquez Pérez, T., & Pallares, C. (2016). Propiedades físicas y mecánicas de bloques cerámicos H10 y su relación con la temperatura durante el proceso de cocción. *Revista Prospect*, 11.
- Fenarq. (1 de Julio de 2019). *Mortero | ¿Que es? Tipos y Clasificación*. Obtenido de <https://www.fenarq.com/2019/07/mortero.html>
- Gobernación de Norte de Santander. (2020). *Información General Norte de Santander*. Obtenido de <http://www.nortedesantander.gov.co/Gobernaci%C3%B3n/Nuestro-Departamento/Informaci%C3%B3n-General-Norte-de-Santander>
- Laura Huanca, S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Puno, Perú.: Universidad Nacional del Altiplano.
- NSR. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente - Título A*. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- NSR. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente - Título D*. Bogotá, D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- NTC - 220. (12 de Diciembre de 2012). Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50.8 mm de lado. Bogotá DC: ICONTEC.
- NTC - 221. (28 de Julio de 1999). Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Bogotá DC: ICONTEC.
- NTC 111. (26 de Febrero de 1997). Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico. Bogotá DC: ICONTEC.
- NTC 174. (21 de Junio de 2000). Especificaciones de los agregados para concreto. Bogotá DC: ICONTEC.

NTC 1776. (19 de Octubre de 1994). Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. Bogotá DC: ICONTEC.

NTC 237. (29 de Noviembre de 1995). Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado fino. Bogotá DC: ICONTEC.

NTC 4017. (30 de Noviembre de 2005). Métodos para muestreo y ensayo de unidades de mampostería y otros productos de arcilla. Bogotá DC: ICONTEC.

NTC 4205. (18 de Noviembre de 2009). Unidades de mampostería de arcilla cocida. Bogotá DC: ICONTEC.

NTC 77. (26 de Septiembre de 2007). Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y grueso. Bogotá DC: ICONTEC.

Sanchez de Guzmán, D. (1986). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

Sarangapani, G., Venkatarama Reddy, B., & Jagadish, K. (2005). Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength.

Soriano, N. (2014). *Ensayo de flexión*. Obtenido de <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/>

Tuandco. (2018 de Noviembre de 2018). *Tipos de cementos y morteros*. Obtenido de <https://www.tuandco.com/aprendeymejora/tipos-de-cementos-y-morteros/>

Venumadhava , R., Venkatarama , R., & Jagadish, K. (1995). Influence of flexural bond strength on the compressive. *INDIA*. Obtenido de INDIA

## Apéndice



**Figura 68** Falla de las muestras 1S9 y 1S12.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 68 se evidencia una falla por la unión de mortero, a pesar de que los bloques no se hayan separado totalmente de este.



**Figura 69** Falla de las muestras 2M10 y 4N1.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 69 se observa una falla por la unión de mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 70** Falla de las muestras 4N14 y4S8.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 70 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 71** Falla de las muestras 4S12 y 4N1.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 71 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 72** Falla de las muestras N9 y 4M7.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 72 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 73** Falla de las muestras 2S9 y 3M8.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 73 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos no se separaron completamente.



**Figura 74** Falla de las muestras 4S11 y 4S12.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 74 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 75** Falla de las muestras 1S12 y 3M6.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 75 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos no se separaron completamente.



**Figura 76** Falla de las muestras 3M9 y 3N14.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 76 se observa una falla por el bloque y en el prisma 3M9 es evidente que se presentaban fallas en el bloque.



**Figura 77** Falla de las muestras 3M4 y 2N4.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 77 se observa una falla por el bloque, y se evidencia que la unión de bloque mortero permanece intacta.



**Figura 78** Falla de las muestras 1M7 y 2M11.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 78 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 79** Falla de las muestras 2M4 y 3N11.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 79 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, a pesar de que los elementos no se separaron completamente.



**Figura 80** Falla de las muestras 3N5 y 1M10.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 80 se observa una falla por la unión de bloque y mortero, donde los elementos se separaron completamente.



**Figura 81** Falla de las muestras 2M6 y 2N8.

Fuente: Autores.

En los prismas de la figura 81 se observa una grieta producida por un exceso de presión en los tornillos superiores de la máquina de ensayo.

A continuación, se muestra la tabla que contiene los datos y observaciones de cada una de las muestras:

Tabla 37

*Total de datos del ensayo de resistencia a la flexión.*

Nombre	Carga máxima N	Velocidad de carga mm/min	Tiempo Min: seg	Peso G	Observaciones del prisma
1 M 1	271.5	4.00	0:12	7954	Falló el bloque
1 M 2	-		-	-	Se dañó al cortarse.
1 M 3	-		-	-	Se dañó al cortarse.
1 M 4	409.8	8.00	0:25	7880	Falló por la junta
1 M 5	258.6	4.00	0:38	7884	Falló por la junta
1 M 6	168.8	8.00	0:45	7304	Falló por la junta
1 M 7	310.7	8.00	2:06	7840	Falló por la junta
1 M 8	448.9	4.00	3:45	7890	Falló por la junta
1 M 9	340	8.00	1:21	7884	Falló el bloque.
1 M 10	285.1	8.00	0:45	7892	Falló por la junta
1 M 11	398	8.00	1:45	7975	Falló por la junta
1 M 12	298.5	8.00	1:25	7795	Falló por la junta
1 S 1	88.35	4.00	0:38	7828	Falló por la junta
1 S 2	227.5	4.00	1:24	7792	Falló por la junta
1 S 3	277.8	4.00	3:35	7812	Falló por la junta
1 S 4	364.4	6.00	3:12	7936	Falló por la junta
1 S 5	255.3	3.00	4:55	7954	Falló por la junta
1 S 6	345	3.00	1:59	7856	Falló el bloque.
1 S 7	342.9	7.50	2:32	7994	Falló por la junta
1 S 8	286	7.50	2:51	7962	Falló el bloque.

Nombre	Carga	Velocidad	Tiempo	Peso	Observaciones del prisma
	máxima	de carga	Min: seg	G	
	N	mm/min			
1 S 9	292.9	6.00	3:22	7927	Falló por la junta
1 S 10	281.3	8.00	1:45	7939	Falló por la junta
1 S 11	288.1	7.50	2:10	8608	Falló por la junta
1 S 12	289.4	7.50	1:25	7898	Falló por la junta
1 N 1	-	-	-	8000	Se dañó en la montura.
1 N 2	156.8	4.00	1:46	7802	Falló por la junta
1 N 3	143.7	4.50	1:03	7878	Falló por la junta
1 N 4	361.1	7.00	2:31	8022	Falló el bloque.
1 N 5	259.9	4.00	3:42	7952	Falló por la junta
1 N 6	182.9	7.50	2:06	8028	Falló por la junta
1 N 7	219.6	7.50	2:26	7962	Falló por la junta
1 N 8	-	-	-	7982	Se dañó en la montura.
1 N 9	432.7	8.00	2:07	7985	Falló el bloque.
1 N 10	239.7	4.00	2:20	7961	Falló por la junta
1 N 11	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
1 N 12	171.7	8.00	1:18	7962	Falló por la junta
1 N 13	265.1	7.50	1:47	7977	Falló por la junta
1 N 14	274.6	7.00	2:40	7966	Falló por la junta
1 N 15	278.6	8.00	1:12	8006	Falló por la junta
1 N 16	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
1 N 17	313.5	8.00	2:31	7894	Falló por la junta
2 M 1	211.7	8.00	2:35	9349	Falló por la junta
2 M 2	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
2 M 3	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
2 M 4	493.5	8.00	2:45	9327	Falló por la junta
2 M 5	268	8.00	2:00	9301	Falló el bloque.

Nombre	Carga	Velocidad	Tiempo	Peso	Observaciones del prisma
	máxima	de carga	Min: seg	G	
	N	mm/min			
2 M 6	-	-	-	9427	Se dañó en la montura.
2 M 7	-	-	-	9387	Se dañó en la montura.
2 M 8	278.8	8.00	2:10	9381	Falló el bloque.
2 M 9	319.6	8.00	3:45	9420	Falló por la junta
2 M 10	-	-	-	-	Se dañó en la montura
2 M 11	119.1	8.00	1:45	9521	Falló por la junta
2 M 12	99.1	8.00	1:26	9523	Falló el bloque.
2 S 1	306.9	8.00	2:38	9405	Falló el bloque.
2 S 2	300.3	8.00	2:04	9427	Falló por la junta
2 S 3	217.3	8.00	2:36	9527	Falló por la junta
2 S 4	186.3	8.00	1:07	9448	Falló el bloque.
2 S 5	283.9	7.50	2:14	9390	Falló por la junta
2 S 6	313	8.00	4:50	9348	Falló el bloque.
2 S 7	259.3	8.00	2:43	9456	Falló por la junta
2 S 8	136.8	8.00	0:50	9368	Falló el bloque.
2 S 9	235.6	7.80	3:26	9511	Falló por la junta
2 S 10	253	7.50	4:26	9358	Falló por la junta
2 S 11	258.6	7.80	2:35	9469	Falló por la junta
2 S 12	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
2 N 1	78.5	8.00	0:25	9384	Falló el bloque.
2 N 2	275.6	7.50	2:03	9345	Falló por la junta
2 N 3	160.4	8.00	0:47	9427	Falló el bloque.
2 N 4	447.6	8.00	6:00	9327	Falló el bloque.
2 N 5	189.2	8.00	2:00	9526	Falló por la junta
2 N 6	208.6	7.50	2:20	9327	Falló por la junta
2 N 7	165.7	7.50	1:27	9326	Falló por la junta

Nombre	Carga máxima N	Velocidad de carga mm/min	Tiempo Min: seg Min: seg	Peso G	Observaciones del prisma
2 N 8	271	8.00	3:31	9467	Falló por la junta
2 N 9	230.6	8.00	2:10	9385	Falló por la junta
2 N 10	401	8.00	2:39	9486	Falló por la junta
2 N 11	263.2	8.00	3:26	9330	Falló por la junta
2 N 12	369.7	7.50	3:31	9494	Falló el bloque.
2 N 13	257.6	7.50	1:15	9407	Falló por la junta
2 N 14	210.4	4.00	2:19	9558	Falló el bloque.
2 N 15	383.8	7.50	2:40	9544	Falló por la junta
2 N 16	387.5	8.00	3:22	9424	Falló por la junta
2 N 17	223.7	7.50	1:40	9462	Falló por la junta
3 M 1	-	-	-	8346	Se dañó en la montura
3 M 2	148.2	8.00	1:02	8419	Falló por la junta
3 M 3	315.4	8.00	2:38	8345	Falló por la junta
3 M 4	24.5	8.00	0:14	8562	Falló el bloque.
3 M 5	419.7	8.00	2:15	8455	Falló por la junta
3 M 6	345.6	8.00	1:35	8465	Falló por la junta
3 M 7	-	8.00	-	8459	La máquina no registró la fuerza, pero falló por la junta.
3 M 8	-	-	-	8410	Se dañó en la montura.
3 M 9	363.2	8.00	1:56	8474	Falló el bloque.
3 M 10	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
3 M 11	478.5	8.00	1:20	8562	Falló por la junta
3 M 12	368.6	8.00	1:08	8406	Falló por la junta
3 S 1	302.6	7.80	1:39	8359	Falló por la junta
3 S 2	170.8	5.00	1:30	7984	Falló por la junta
3 S 3	-	-	-	7846	Se dañó en la montura.

Nombre	Carga	Velocidad	Tiempo	Peso	Observaciones del prisma
	máxima	de carga			
	N	mm/min	Min: seg	G	
3 S 4	277.8	5.00	1:38	8554	Falló por la junta
3 S 5	-	-	-	8526	Se dañó en la montura.
3 S 6	209.7	4.30	3:08	8544	Falló por la junta
3 S 7	159	7.80	1:10	8446	Falló por la junta
3 S 8	-	-	-	8540	Se dañó en la montura.
3 S 9	259.9	8.00	1:42	8527	Falló por la junta
3 S 10	269	8.00	1:27	8592	Falló por la junta
3 S 11	231.8	8.00	0:55	8497	Falló por la junta
3 S 12	244.3	7.80	1:17	8572	Falló por la junta
3 N 1	-	-	-	-	Falló en la montura.
3 N 2	265.4	7.50	2:10	8444.8	Falló por la junta
3 N 3	-	-	-	8540	Falló en la montura.
3 N 4	280	4.50	3:23	8506	Falló por la junta
3 N 5	168.2	8.00	1:05	8472	Falló por la junta
3 N 6	-	-	-	8425	Falló en la montura.
3 N 7	178.5	7.50	2:43	8475	Falló por la junta
3 N 8	-	-	-	-	Falló al cortarse.
3 N 9	106.2	7.50	0:40	8502	Falló por la junta
3 N 10	218.8	8.00	1:45	8610	Falló el bloque.
3 N 11	206.7	8.00	1:38	8526	Falló por la junta
3 N 12	276.4	7.50	2:20	8557	Falló por la junta
3 N 13	226	3.00	2:30	8618	Falló por la junta
3 N 14	328.5	7.50	2:27	8629	Falló el bloque.
3 N 15	217.6	7.50	2:48	8549	Falló por la junta
3 N 16	439.4	8.00	2:20	8366	Falló por la junta
3 N 17	-	-	-	-	Falló al cortarse.

Nombre	Carga máxima N	Velocidad de carga mm/min	Tiempo Min: seg	Peso G	Observaciones del prisma
4 M 1	42.8	4.00	0:51	7310	Falló el bloque.
4 M 2	502.5	8.00	2:14	7346	Falló por la junta
4 M 3	22.8	8.00	0:22	7402	Falló el bloque.
4 M 4	208.8	8.00	0:30	7200	Falló el bloque.
4 M 5	463.2	8.00	2:05	7840	Falló por la junta
4 M 6	289.9	8.00	1:58	7464	Falló el bloque.
4 M 7	656.2	8.00	5:53	7508	Falló por la junta
4 M 8	634.5	8.00	3:34	7301	Falló por la junta
4 M 9	279.5	8.00	2:17	7216	Falló el bloque.
4 M 10	295.3	8.00	1:27	7286	Falló por la junta
4 M 11	30.2	9.00	0:30	7290	Falló el bloque.
4 M 12	546.6	8.00	5:40	7377	Falló por la junta
4 S 1	238	4.00	2:50	7253	Falló por la junta
4 S 2	274.8	5.00	1:19	7286	Falló por la junta
4 S 3	235.7	7.80	2:35	7342	Falló el bloque.
4 S 4	644.7	7.80	4:46	7352	Falló por la junta
4 S 5	426.8	5.00	3:26	7318	Falló el bloque.
4 S 6	542.1	8.00	3:15	7426	Falló por la junta
4 S 7	390.9	8.00	2:42	7505	Falló por la junta
4 S 8	562.1	8.00	4:54	7586	Falló por la junta
4 S 9	462.4	7.80	3:09	7468	Falló por la junta
4 S 10	386.1	8.00	2:18	7364	Falló el bloque.
4 S 11	540.9	7.80	3:05	7559	Falló por la junta
4 S 12	188.4	7.80	1:58	7182	Falló por la junta
4 N 1	193.9	8.00	1:20	7162	Falló por la junta
4 N 2	158.9	4.00	3:00	7384	Falló por la junta

Nombre	Carga máxima N	Velocidad de carga mm/min	Tiempo Min: seg Min: seg	Peso G	Observaciones del prisma
4 N 3	327.9	8.00	3:11	7368	Falló por la junta
4 N 4	80.1	8.00	0:15	7496	Falló el bloque.
4 N 5	25	8.00	0:50	7212	Falló el bloque.
4 N 6	-	-	-	7322	Se dañó en la montura
4 N 7	122.5	7.50	3:15	7458	Falló por la junta
4 N 8	-	-	-	7227	Se daño en la montura.
4 N 9	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
4 N 10	153.8	8.00	2:25	7358	Falló por la junta
4 N 11	223.9	8.00	2:36	7408	Falló por la junta
4 N 12	636.3	8.00	4:15	7424	Falló el bloque.
4 N 13	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
4 N 14	443.7	8.00	2:22	7456	Falló por la junta
4 N 15	-	-	-	-	Se dañó al cortarse.
4 N 16	410.8	7.50	4:51	7520	Falló por la junta
4 N 17	203.15	7.50	2:48	7423	Falló por la junta

Fuente: Autores.