

	<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>08-07-2021</b>	<b>B</b>
Dependencia	Aprobado	Pág.		
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>	<b>i(382)</b>		

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTORES</b>	Natalia Andrea Carrascal Galván Maira Alejandra Rodríguez Manrique		
<b>FACULTAD</b>	Ingenierías		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	Ingeniería Civil		
<b>DIRECTOR</b>	Francisco Alfonso Durán Castro		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	Importancia de la utilización del mortero de construcción para pañetes de edificaciones, mediante el uso de residuos de construcción y demolición (RCD)		
<b>TITULO EN INGLES</b>	Importance of the use of construction mortar for plastering buildings, through the use of construction and demolition waste (CDW)		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras)			
<p>En Colombia y en el mundo el uso de morteros de albañilería ha sido variado y común en la construcción, especialmente en el caso de la mampostería. Dada la importancia y la amplia gama de posibilidades que revisten los morteros. (Sánchez de Guzmán, 2001)., la presente monografía pretende plantear los diferentes conceptos, propiedades y parámetros de estos y finalmente indicar las principales metodologías aplicadas en la producción de morteros de construcción para pañetes de edificaciones mediante la utilización de residuos de construcción y demolición (RCD).</p>			
<b>RESUMEN EN INGLES</b>			
<p>In Colombia and in the world, the use of masonry mortars has been varied and common in construction, especially in the case of masonry. Given the importance and the wide range of possibilities that mortars have. (Sánchez de Guzmán, 2001)., this monograph aims to present the different concepts, properties, and parameters of mortars and finally to indicate the main methodologies applied in the production of construction mortars for building masonry using construction and demolition waste (CDW).</p>			
<b>PALABRAS CLAVES</b>	Mortero, Pañete, Residuos de construcción y demolición (RCD), Hormigón, Ladrillo, Concreto, Vidrio y Poliestireno Expandido (EPS).		
<b>PALABRAS CLAVES EN INGLES</b>	Mortar, Plastering, Construction and demolition waste (CDW), Concrete, Brick, Concrete, Glass and Expanded Polystyrene (EPS).		
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 382</b>	<b>PLANOS: 0</b>	<b>ILUSTRACIONES: 102</b>	<b>CD-ROM: 1</b>



IMPORTANCIA DE LA UTILIZACIÓN DEL MORTERO DE CONSTRUCCIÓN PARA  
PAÑETES DE EDIFICACIONES, MEDIANTE EL USO DE RESIDUOS DE  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Autoras

NATALIA ANDREA CARRASCAL GALVÁN  
MAIRA ALEJANDRA RODRÍGUEZ MANRIQUE

Trabajo de grado modalidad monografía presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil

Director

Ing. FRANCISCO ALFONSO DURÁN CASTRO  
Especialista en Interventoría de Obras Civiles y en Práctica Docente Universitaria

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Agosto, 2021

**Nota**

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0049 de fecha 18 de noviembre de 2020, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes **Haidee Yulady Jaramillo** y **Jesús David Márquez Montejo**.

## *Agradecimientos*

*En primer lugar, a DIOS, por su inmensa bondad, porque me dio fuerzas, entendimiento y sabiduría para culminar victoriosa esta etapa profesional. Acompañándome siempre en cada momento de mi vida.*

*A mis padres JORGE AUGUSTO CARRASCAL GARCÍA y SAMIRA DEL CARMEN GALVÁN PEÑARANDA, quienes siempre se preocupan por mi crecimiento personal y académico. Con su amor, esfuerzo, paciencia, comprensión y apoyo hicieron posible que finalizaré mi carrera universitaria y obtuviera un título profesional de INGENIERA CIVIL.*

*Al Esp. FRANCISCO ALFONSO DURÁN CASTRO, quien fue el director de este proyecto de grado, deseo expresar mi afectuoso agradecimiento, por la dedicación y apoyo permanente en el transcurso de la investigación.*

*A mi compañera MAIRA ALEJANDRA RODRÍGUEZ MANRIQUE, por su compromiso y dedicación en el desarrollo de este proyecto.*

*A mi familia, amigos, compañeros, docentes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y todas aquellas personas que estuvieron acompañándome y motivándome durante mi carrera universitaria y en la realización de la presente investigación.*

*Natalia Andrea Carrascal Galván.*

## *Agradecimientos*

*Primero que todo quiero darle gracias a Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida, también por qué me permitió rodearme de personas que aportaron mucho en este proceso brindándome un crecimiento personal y un crecimiento en cuanto conocimientos.*

*Darle gracias al especialista Francisco Alfonso Duran por todo el apoyo durante el desarrollo de este proyecto y por su dedicación como director de este proyecto.*

*Maira Alejandra Maestre Manrique*

## ***Dedicatoria***

*A DIOS, por ser “el ANCLA que SOSTIENE mi ALMA” (Hebreos 6:19).*

*A mis padres JORGE AUGUSTO CARRASCAL GARCÍA y SAMIRA DEL CARMEN GALVÁN PEÑARANDA, quienes son mi más grande bendición, mis orientadores y educadores de vida, a ellos le debo todo lo que soy. Su ejemplo de perseverancia, valentía, constancia y compromiso hicieron posible la terminación de mis estudios. Los amo y me siento orgullosa y privilegiada de ser su hija, dos personas llenas del amor de Dios.*

*A mis abuelos maternos JESÚS EMIRO GALVÁN GUERRERO y ANA DILIA ROSA PEÑARANDA PÉREZ (YIYA), Mis segundos padres terrenales, por ser mis guías espirituales, su amor, ternura, consejos y ejemplo de vida son mi mayor tesoro, les debo gran parte de la mujer en la que me he convertido y este título universitario no hubiese sido posible sin sus orientaciones y acompañamiento en mis estudios preescolar, básica y media. Su recuerdo de Amor en mi corazón estará por siempre.*

*A mis abuelos paternos JORGE EMIRO CARRASCAL MÁRQUEZ y LETICIA GARCÍA ROCHEL, quienes han hecho parte de mi proceso de formación y se interesaron por verme lograr cada uno de mis logros.*

*A mis hermanos, LEIDY ALEJANDRA CARRASCAL GALVÁN y JORGE ALEJANDRO CARRASCAL GALVÁN, compañeros del alma, de vida y de corazón. Quienes con su apoyo y motivación han acompañado cada triunfo de mi vida, me siento afortunada de tenerlos y contar con su amor.*

*Natalia Andrea Carrascal Galván*

## ***Dedicatoria***

*Una de las mejores satisfacciones del ser humano es ver el resultado de los objetivos propuestos en nuestro proyecto de vida, bien dicen que todo esfuerzo siempre tiene su recompensa y hoy hago un recordis de todo lo que he tenido que hacer para estar donde estoy y sin lugar a dudas me siento muy orgullosa de mi misma y sé que las personas que me consideran importante en su vida, también lo están.*

*Después de una formación académica en la que pasé por pruebas, obstáculos y emociones que por algún momento pensé en desfallecer, pero afortunadamente Dios me dio la sabiduría e inteligencia para siempre tomar la mejor decisión, puedo decir lo logré!!!. Por eso, hoy quiero dedicar este logro a mis padres, mi hermano, mi sobrino, mi abuelo, mi ángel terrenal, amigos (a) y especialmente a mi ángel del cielo Zoila Arias Orellano (Q.E.P.D) por todo el amor que brindó, pero más que eso por todas y cada una de sus oraciones, abuelita sé que desde el cielo te sientes muy orgullosa de mí, te amo y te amaré siempre, esto va por tíiii.*

*Maira Alejandra Maestre Manrique*

## Índice

Glosario.....	xxiii
Introducción .....	xxvii
<b>Capítulo I. Marco referencial .....</b>	<b>1</b>
1.1. Marco conceptual.....	1
1.2. Marco teórico .....	9
1.2.1. ¿Qué es mortero de albañilería convencional? .....	9
1.2.2. ¿Qué es mortero de albañilería reciclado? .....	10
1.2.3. Propiedades de los morteros .....	12
1.3. Marco histórico .....	31
1.3.1. Historia del manejo o gestión de los RCD en el mundo .....	31
1.3.2. Antecedentes históricos del uso de RCD en actividades de albañilería.....	38
1.4. Marco legal .....	43
1.4.1. Normatividad Jurídica.....	43
1.4.2. Normatividad Colombiana para la elaboración de ensayos para mortero. ....	49
<b>Capítulo II. Importancia de la implementación de residuos de construcción y demolición (RCD) en morteros de construcción.....</b>	<b>56</b>
2.1. Estrategias para la recolección de residuos de construcción y demolición (RCD).....	56
2.2. Mortero de construcción reciclado para fines no estructurales, una metodología aplicada que busca disminuir el impacto ambiental.....	64

<b>Capítulo III. Influencia de la incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) en el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería.</b> .....	73
3.1. Morteros para construcción fabricados con un porcentaje de reemplazo de árido reciclado de hormigón.....	73
3.1.1. RCD proveniente de hormigón como agregado para la elaboración de morteros. ....	73
3.1.2. Morteros de construcción compuestos con hormigón triturado de RCD como agregado fino. ....	80
3.1.3. Afectación en las propiedades del mortero fabricado con agregados provenientes de RCD, bajo la implementación y exposición de cloruros.....	84
3.1.4. Análisis de diferentes residuos utilizados como agregados, para la implementación del mortero reciclado. ....	93
3.1.5. Estudio de las propiedades del mortero de albañilería con la adición de agregados provenientes de la trituración de escombros de hormigón.....	99
3.1.6. Comportamiento físico mecánico del mortero reciclado con residuos de hormigón.	107
3.1.7. Comportamiento de la relación agua-cemento y prestaciones en los morteros frescos bajo la influencia de material reciclado procedente de hormigón. ....	115
3.1.8. Materiales de innovación para una construcción sostenible. ....	121
3.2. Morteros para albañilería elaborados empleando un porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado.....	122
3.2.1. Propiedades mecánicas (resistencia a compresión y porcentaje de absorción) de un mortero a base de agregados fino con ladrillo triturado. ....	122
3.2.2. Afectación del mortero de albañilería con el aporte de polvillo de ladrillo como material complementario de cemento. ....	148
3.2.3. Uso de RCD de ladrillo para morteros de albañilería en busca de una construcción sostenible.....	167
3.3. Morteros de albañilería elaborados con un porcentaje de reemplazo de áridos reciclados mixtos.....	185

3.3.1. Efecto de los agregados finos procedentes de escombros mixtos en las prestaciones mecánicas de los morteros de construcción .....	185
3.3.2. Análisis de las propiedades de un mortero de albañilería empleando agregados finos de reciclaje, procedentes de la trituración de escombros y tamizado directamente el RCD seleccionado.....	197
3.4. Morteros de construcción empleando un porcentaje de reemplazo de vidrio triturado reciclado.....	208
3.4.1. Residuos de vidrio reciclado como agregado fino en mortero de construcción y su efecto en las propiedades físico mecánicas en especial a temperaturas altas. ....	208
3.4.2. Sustitución del agregado fino convencional por agregado reciclado de vidrio y su afectación en las propiedades del mortero .....	221
3.5. Mortero de albañilería producidos mediante el empleo de un porcentaje de reemplazo de cerámica de arcilla roja reciclada.....	240
3.5.1. Morteros de albañilería implementando el uso de áridos reciclados como agregado fino.....	240
<b>Capítulo IV. Experiencias encontradas con referencia a la alternativa de utilización de morteros de construcción para pañetes, mediante el uso de áridos reciclados procedentes de (RCD) .....</b>	<b>248</b>
4.1. Mortero de construcción para pañete, utilizando agregado reciclado procedente de la línea de reciclaje mixto.....	248
4.1.1. Estudio de mortero para friso o pañete elaborado mediante el uso de áridos provenientes de residuos sólidos de materiales cerámicos mixtos recolectados en la demolición de construcciones. ....	248
4.1.2. Características físico - mecánicas de un mortero con agregados proveniente de la trituración de RCD mixto.....	256
4.2. Mortero de construcción para pañete, aligerado con partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje.....	283

4.2.1. Análisis de las prestaciones mecánicas (térmicas y acústicas) del mortero de revestimiento con la influencia del uso de poliestireno expandido como aligerante.....	283
4.3. Mortero de construcción para pañete, empleando residuos de ladrillo reciclado como agregado fino. ....	289
4.3.1. Influencia del residuo de ladrillo triturado como material de agregado fino en la fabricación de morteros para pañete .....	289
<b>Capítulo V. Comparación técnica del mortero de construcción para pañete convencional y el mortero elaborado mediante el uso de residuos de construcción y demolición. ....</b>	<b>304</b>
Conclusiones.....	320
Referencias.....	326
Apéndices.....	336

## Listado de tablas

<b>Tabla 1</b> Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación .....	13
<b>Tabla 2</b> <i>Escurrimiento en función de la densidad en fresco del mortero</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> Cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) en toneladas, de algunos países del mundo.....	32
<b>Tabla 4</b> Cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) en toneladas, de algunos países del mundo.....	36
<b>Tabla 5</b> Norma técnica Colombiana 77.....	50
<b>Tabla 6</b> Norma Técnica Colombiana 92 .....	51
<b>Tabla 7</b> Norma Técnica Colombiana 237 .....	52
<b>Tabla 8</b> Norma Técnica Colombiana 1776 .....	53
<b>Tabla 9</b> Norma Técnica Colombiana 221 .....	53
<b>Tabla 10</b> Norma Técnica Colombiana 110 .....	54
<b>Tabla 11</b> Norma Técnica Colombiana 220 .....	54
<b>Tabla 12</b> Norma técnica colombiana (INV E -324).....	55
<b>Tabla 13</b> Análisis granulométrico del agregado natural .....	74
<b>Tabla 14</b> Análisis granulométrico del agregado reciclado.....	74
<b>Tabla 15</b> Análisis físico del agregado natural y agregado reciclado.....	75
<b>Tabla 16</b> Dosificación de morteros empleados en los laboratorios .....	76
<b>Tabla 17</b> Dosificación utilizada para la elaboración de los ensayos .....	81
<b>Tabla 18</b> Análisis granulométrico del árido de reciclaje (% que pasa).....	81
<b>Tabla 19</b> Resistencia a la flexión y compresión.....	82
<b>Tabla 20</b> Resistencia a la adherencia de las dosificaciones ensayadas .....	83
<b>Tabla 21</b> Resultado densidad del cemento.....	85
<b>Tabla 22</b> Resultado consistencia del cemento.....	86
<b>Tabla 23</b> Resultados resistencia a la compresión del cemento .....	86
<b>Tabla 24</b> Resultado del análisis granulométrico RCD .....	87
<b>Tabla 25</b> Resultados de densidad y absorción de los áridos de RCD .....	88
<b>Tabla 26</b> Resultados de masa unitaria suelta y compactada del árido .....	89
<b>Tabla 27</b> Mortero con una sustitución de 0% de arena RCD.....	90
<b>Tabla 28</b> Mortero con una sustitución de 16.7% de arena RCD.....	90
<b>Tabla 29</b> Mortero con una sustitución de 33.3% de arena RCD.....	90
<b>Tabla 30</b> Mortero con una sustitución de 50% de arena RCD.....	91
<b>Tabla 31</b> Resultados de resistencia a la compresión.....	91
<b>Tabla 32</b> Característica de las fibras .....	95
<b>Tabla 33</b> Dosificación en la elaboración de mezclas de mortero.....	96
<b>Tabla 34</b> Característica de los áridos .....	97

<b>Tabla 35</b>	Resistencia de 6 muestras de árido de reciclaje .....	101
<b>Tabla 36</b>	Características físico mecánicas del cemento .....	102
<b>Tabla 37</b>	Característica del árido fino reciclado .....	103
<b>Tabla 38</b>	Dosificación del mortero.....	104
<b>Tabla 39</b>	Resultados de consistencia, resistencia a la flexión y compresión .....	105
<b>Tabla 40</b>	Caracterización de mortero tipo M5 y mortero 75/25 .....	106
<b>Tabla 41</b>	Propiedades físicas de los áridos utilizados .....	109
<b>Tabla 42</b>	Características de los morteros .....	110
<b>Tabla 43</b>	Propiedades de los morteros en estado fresco.....	112
<b>Tabla 44</b>	Propiedades mecánica de los morteros a los 28 días de curado.....	112
<b>Tabla 45</b>	Propiedades físicas de los áridos naturales y áridos de reciclaje .....	117
<b>Tabla 46</b>	Dosificación de materiales.....	118
<b>Tabla 47</b>	Contenido de humedad para agregado fino .....	124
<b>Tabla 48</b>	Contenido de humedad para ladrillo triturado .....	125
<b>Tabla 49</b>	Análisis Granulométrico para ladrillo triturado.....	126
<b>Tabla 50</b>	Análisis Granulométrico de agregado fino .....	127
<b>Tabla 51</b>	Contenido de humedad total de los agregados.....	128
<b>Tabla 52</b>	Peso unitario del agregado fino.....	128
<b>Tabla 53</b>	Peso unitario de la cerámica triturada.....	129
<b>Tabla 54</b>	Gravedad específica y absorción del agregado fino .....	130
<b>Tabla 55</b>	Gravedad específica y absorción del ladrillo triturado .....	130
<b>Tabla 56</b>	Peso Específico del Cemento Hidráulico (Frasco le Chatelier).....	131
<b>Tabla 57</b>	Consistencia del cemento Andino Portland tipo V .....	132
<b>Tabla 58</b>	Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0% ....	133
<b>Tabla 59</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 10%.....	133
<b>Tabla 60</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 20% .....	134
<b>Tabla 61</b>	Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0% ....	135
<b>Tabla 62</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 10% .....	136
<b>Tabla 63</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 20% .....	136
<b>Tabla 64</b>	Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0% ....	138
<b>Tabla 65</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado – dosificación al 10% .....	138
<b>Tabla 66</b>	Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado – dosificación al 20%.....	139
<b>Tabla 67</b>	Resumen especímenes al (0%-10%).....	141
<b>Tabla 68</b>	Resumen especímenes al (0%-20%).....	142

<b>Tabla 69</b>	Promedio de absorción general.....	147
<b>Tabla 70</b>	Valores de distribución granulométrica del RM a diferentes tiempos de molienda ..	151
<b>Tabla 71</b>	Condiciones de diseño experimental para optimización de reemplazo de RM en morteros .....	154
<b>Tabla 72</b>	Composición química del cemento de uso general (CG) y cemento sin adición (CA) .....	155
<b>Tabla 73</b>	Valores de distribución granulométrica de los dos cementos Portland (CG y CA)...	156
<b>Tabla 74</b>	Composición química del residuo de mampostería .....	157
<b>Tabla 75</b>	Propiedades químicas y física de las puzolanas de acuerdo con la norma ASTM C618 .....	160
<b>Tabla 76</b>	Relación entre los porcentajes de residuos provenientes de mampostería utilizados y cemento Portland .....	162
<b>Tabla 77</b>	Prueba Post-Anova empleando el método Tukey .....	164
<b>Tabla 78</b>	Resultados de absorción, densidad y porosidad de acuerdo con la norma ASTM C642 .....	165
<b>Tabla 79</b>	Composición química y finura Blaine de materiales pasando el tamiz ASTM No.170 .....	169
<b>Tabla 80</b>	Proporciones de la mezcla de pasta .....	171
<b>Tabla 81</b>	Proporciones de mezcla de mortero .....	172
<b>Tabla 82</b>	Absorción, porosidad y características mecánicas de los ladrillos .....	174
<b>Tabla 83</b>	Resumen de características de áridos reciclados .....	188
<b>Tabla 84</b>	Análisis químico de RA .....	189
<b>Tabla 85</b>	Proporciones de mezclas de mortero .....	190
<b>Tabla 86</b>	Resultados de la fuerza de unión y la contracción .....	195
<b>Tabla 87</b>	Propiedades físicas mecánicas del cemento utilizado .....	199
<b>Tabla 88</b>	Propiedades físicas de los áridos y el filler calizo utilizados .....	201
<b>Tabla 89</b>	Análisis químico de los áridos reciclados y el filler calizo .....	201
<b>Tabla 90</b>	Morteros estudiados .....	202
<b>Tabla 91</b>	Composición química (% en peso) del vidrio empleado .....	210
<b>Tabla 92</b>	Composición por componentes de cada una de las dosificaciones empleadas .....	211
<b>Tabla 93</b>	Composición química de los 3 tipos de morteros y composición tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C .....	214
<b>Tabla 94</b>	Composición mineralógica de los 3 tipos de morteros a temperatura ambiente y tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C .....	214
<b>Tabla 95</b>	Resultados obtenidos de calor específico (Cp), difusividad térmica ( $\alpha$ ) y conductividad térmica ( $q$ ) a 30°C .....	217
<b>Tabla 96</b>	Resultado medios obtenidos de los ensayos de resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> ) .....	219
<b>Tabla 97</b>	matriz del diseño Unifactorial experimental .....	222
<b>Tabla 98</b>	Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 1 .....	224
<b>Tabla 99</b>	Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 2 .....	225

<b>Tabla 100</b>	Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 3 .....	226
<b>Tabla 101</b>	Módulo de Fineza (Prueba 1, 2,3), Norma: ASTM C 136 (TNP 400.012) .....	226
<b>Tabla 102</b>	Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 1 .....	227
<b>Tabla 103</b>	Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 2 .....	228
<b>Tabla 104</b>	Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 3 .....	228
<b>Tabla 105</b>	Módulo de Fineza (Prueba 1, 2,3) del vidrio de desecho, Norma: ASTM C 136 (TNP 400.012) .....	229
<b>Tabla 106</b>	Método de Ensayo para la determinación del Peso Específico de Agregados Finos, ASTM C 128 (NTP 400.022).....	230
<b>Tabla 107</b>	Método de Ensayo para la determinación de la Densidad de Agregados Finos (Prueba 1, 2,3), ASTM C 128 (NTP 400.022) .....	230
<b>Tabla 108</b>	Resultados de humedad de Agregado Fino para la Muestra de Arena Gruesa, ASTM C 566 (NTP 339.185).....	231
<b>Tabla 109</b>	Resistencia a la Compresión de Morteros (MPA) .....	232
<b>Tabla 110</b>	Absorción de Agua (%) .....	234
<b>Tabla 111</b>	Clasificación según la absorción del agua que tiene un material cerámico .....	236
<b>Tabla 112</b>	Densidad Global o Bulk (g/cm <sup>3</sup> ) .....	237
<b>Tabla 113</b>	Contenido máximo de finos en los áridos.....	242
<b>Tabla 114</b>	Características de las arenas obtenidas del reciclaje .....	242
<b>Tabla 115</b>	Resistencia a la adherencia .....	246
<b>Tabla 116</b>	Granulometría RCDmix.....	249
<b>Tabla 117</b>	Granulometría de los áridos utilizados en % que pasa acumulado .....	258
<b>Tabla 118</b>	Tabla densidades aparentes y absorción de los áridos utilizados .....	259
<b>Tabla 119</b>	Contenido de finos de los áridos utilizados para fabricar los morteros .....	260
<b>Tabla 120</b>	Análisis químico de los diferentes áridos utilizados.....	261
<b>Tabla 121</b>	Relaciones en peso de los morteros utilizados en construcción .....	262
<b>Tabla 122</b>	Dosificación de los morteros según Pliego Condiciones de la Dirección General de Arquitectura .....	262
<b>Tabla 123</b>	Distribución del árido en los morteros estudiados .....	263
<b>Tabla 124</b>	Dosificaciones morteros de referencia Tipo D .....	265
<b>Tabla 125</b>	Propiedades físicas y mecánica mortero referencia Tipo D.....	265
<b>Tabla 126</b>	Dosificaciones del mortero base y del mortero de referencia.....	266
<b>Tabla 127</b>	Dosificaciones del mortero de diseño con árido reciclado hormigón y mortero de diseño con árido reciclado mixto .....	267
<b>Tabla 128</b>	Relación agua/cemento de los morteros prescritos .....	269
<b>Tabla 129</b>	Porosimetría de intrusión de mercurio MIP .....	275
<b>Tabla 130</b>	Absorción por capilaridad de los morteros y altura de penetración.....	277
<b>Tabla 131</b>	Variaciones de las resistencias mecánicas. Ensayo Kesternich .....	279
<b>Tabla 132</b>	Comprobación organoléptica morteros sometidos ciclos humedad-sequedad .....	281
<b>Tabla 133</b>	Resultados de % de fluidez con presencia de poliestireno .....	284

<b>Tabla 134</b> Comparativos del esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad de las formulaciones después de 14 y 28 días de curado .....	288
<b>Tabla 135</b> Distribución del tamaño de partícula de los agregados (Promedio de tres muestras) .....	290
<b>Tabla 136</b> Densidad de los constituyentes del mortero (Promedio de tres muestras).....	291
<b>Tabla 137</b> Mezcla de agua necesaria para lograr la trabajabilidad objetivo y los resultados respectivos de la prueba de consistencia (Promedio de tres muestras de mortero) .....	292
<b>Tabla 138</b> Resultados de las pruebas realizadas antes y después de los ciclos de envejecimiento (promedio de tres muestras de mortero) .....	299
<b>Tabla 139</b> Comparación técnica del mortero convencional y el elaborado con residuos RCD. 305	
<b>Tabla 140</b> Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción .....	337
<b>Tabla 141</b> Requisitos para especificación por propiedades <sup>A</sup> .....	339
<b>Tabla 142</b> Guía para la selección de morteros de mampostería <sup>A</sup> .....	340
<b>Tabla 143</b> Guía de selección para mortero de reparación y acabado .....	341
<b>Tabla 144</b> Especificaciones técnicas de los tipos de mortero S y N .....	342
<b>Tabla 145</b> Usos de los morteros de cemento .....	343
<b>Tabla 146</b> Cemento para mampostería.....	345
<b>Tabla 147</b> Porcentajes de los componentes químicos que intervienen en el cemento portland	345
<b>Tabla 148</b> Clasificación de los agregados según su tamaño .....	347
<b>Tabla 149</b> Granulometría de los agregados finos.....	348

## Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Gestión integral tradicional de RCD.....	60
<i>Figura 2.</i> Grafica comparativa de relación A/C vs Fluidez.....	77
Figura 3. Grafica comparativa de la retención de agua obtenida según el tipo de mortero.....	78
Figura 4. Grafica comparativo de las resistencias a la compresión obtenidas a los 7 y 28 días de curado respectivamente. ....	78
Figura 5. Grafica comparativo de resistencias a la adherencia obtenida a los 28 días de curado. ....	79
Figura 6. Curva de gradación de los áridos de RCD. ....	88
Figura 7. Grafica de curva de resistencia a la compresión según el tiempo de curado. ....	92
Figura 8. Grafica de velocidad de corrosión para cada tipo de mezcla. ....	93
Figura 9. Grafica de curva granulométrica. ....	97
Figura 10. Grafica contracción para morteros de 1:3. ....	98
Figura 11. Grafica contracción para morteros de 1:4. ....	99
Figura 12. Recolección de escombros y trituración. ....	101
Figura 13. Curva granulométrica de la muestra FRH-6. ....	103
Figura 14. Porcentaje de absorción según el porcentaje de sustitución de árido reciclado. ....	105
Figura 15. Curvas granulométricas. ....	108
Figura 16. Absorción capilar de los áridos a ensayar.....	113
Figura 17. Grafica resistividad eléctrica de los morteros a los 28 días de curado. ....	114
Figura 18. Ensayos de laboratorio y resultados obtenidos.....	116
Figura 19. Dosificación por volumen y peso. ....	119
Figura 20. Relación agua/cemento. ....	120
Figura 21. Densidad de las muestras ensayadas.....	121
Figura 22. Curva Granulométrica- Ladrillo triturado.....	126
Figura 23. Curva Granulométrica- Agregado fino. ....	127
Figura 24. Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 7 días 10%-20%. ....	134
Figura 25. Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 14 días 10%-20%.....	137
Figura 26. Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 28 días 10%-20%.....	139
Figura 27. Absorción de Especímenes al (0%-10%).....	141
Figura 28. Absorción de Especímenes al (0%-20%).....	142
Figura 29. Absorción de Especímenes al (10%-20%).....	143
Figura 30. Metodología desarrollada para la caracterización y evaluación del residuo de mampostería (RM). ....	150
Figura 31. Curva de granulometría del RM a diferentes tiempos de molienda. ....	151
Figura 32. Micrografía SEM del residuo de mampostería. a) 500X y b) 1000X.....	157
Figura 33. Patrón de DRX de residuo de mampostería. ....	158
Figura 34. Resultados del análisis térmico diferencial del residuo de mampostería.....	158
Figura 35. Diagrama de la prueba de Frattini para el residuo de mampostería. ....	161
Figura 36. Resistencia a la compresión de morteros con RM.....	163
Figura 37. Gráfico de efectos principales de la resistencia a la compresión a 28 días de curado. ....	164

Figura 38. Distribución granulométrica de los áridos utilizados. ....	172
Figura 39. Curvas de Bingham después de 35 minutos desde que los ingredientes mezclando. ....	175
Figura 40. Valores de tensión de rendimiento graficados en función del tiempo. ....	176
Figura 41. Contenido de hidróxido de calcio de los morteros en función de tiempo hasta 70 días de curado. ....	177
Figura 42. Contenido de carbonato de calcio de los morteros en función de tiempo hasta 70 días de curado. ....	178
Figura 43. Resultados del análisis de difracción de rayos X de los morteros. ....	179
Figura 44. Evolución de la estructura de los poros hasta los 28 días de curado. ....	180
Figura 45. Desarrollo de la resistencia a la compresión en función de hora de curar. ....	181
Figura 46. Desarrollo de la resistencia a la flexión en función de hora de curar. ....	181
Figura 47. Valores del módulo elástico tangente en diferentes tiempos de curado. ....	182
Figura 48. Valores máximos de fuerza de adherencia. ....	183
Figura 49. Curva de distribución del tamaño del agregado reciclado respecto a los límites de NBE.FL 90 adaptada al tamaño de tamiz establecido por UNE-EN-933-2. ....	187
Figura 50. Resultados de la prueba de consistencia. ....	192
Figura 51. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión. ....	193
Figura 52. Resultados de la prueba de resistencia a la flexión. ....	194
Figura 53. Distribución granulométrica del árido natural y los áridos reciclados. ....	200
Figura 54. Capacidad de retención de agua de los morteros reciclados y patrón. ....	203
Figura 55. Resistencia a flexión de los morteros reciclados y patrón. ....	204
Figura 56. Resistencia a compresión de los morteros reciclados y patrón. ....	205
Figura 57. Resistencia a la adherencia por tracción de los morteros reciclados y patrón. ....	206
Figura 58. Absorción de agua por capilaridad de los morteros reciclados y patrón. ....	207
Figura 59. <i>Curvas granulométricas de los agregados utilizados.</i> ....	210
Figura 60. Dispositivo de ensayo a flexión y compresión. ....	212
Figura 61. Imagen de la distribución del agregado de vidrio triturado en el interior de las probetas de mortero (m50). ....	213
Figura 62. Evolución de la absorción de agua (%) y velocidad de transmisión de ultrasonido (m/s.103). ....	216
Figura 63. Evolución de las resistencias mecánicas a compresión (N/mm <sup>2</sup> ). ....	218
Figura 64. Alteración cromática en las probetas tras el proceso de calentamiento a 800°C. ....	219
Figura 65. Residuos de Construcción y Demolición provenientes de vidrio molido. ....	223
Figura 66. Curva Granulométrica del agregado fino (Prueba 1, 2,3). ....	227
Figura 67. Curva Granulométrica de Vidrio de Desecho (Prueba 1, 2,3), Cumple la norma E-070... ..	229
Figura 68. Resistencia a la compresión de morteros. ....	233
Figura 69. Porcentaje de absorción de agua. Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)....	235
Figura 70. Densidad global o bulk de morteros para diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino. ....	238
Figura 71. Línea granulométrica de las arenas recicladas, en referencia a los límites superiores y límites inferiores indicados por la norma europea. ....	241
Figura 72. Resultado de ensayo de consistencia. ....	244

Figura 73. Resultado de ensayo a compresión .....	245
Figura 74. Resultado de ensayo a flexión. ....	245
Figura 75. Aspecto inicial de la pared y preparación de la pared: Lijado. ....	251
Figura 76. Aplicación del mortero base y aspecto final del enfoscado con mortero MorRCDmix. ...	251
Figura 77. Detalle del mortero MorRCDmix: Aspecto rustico. ....	252
Figura 78. Aspecto y detalle del mortero MorRCDmix después de 4 años desde su aplicación. ....	252
Figura 79. Estudios de color. ....	254
Figura 80. Pared base en emisión (izquierda) y en recepción (derecha). ....	255
Figura 81. Enfoscado con mortero MorRCDmix de la pared en emisión. ....	255
Figura 82. Curvas granulométricas de los áridos utilizados. ....	258
Figura 83. Relación agua-cemento de los morteros de referencia. ....	264
Figura 84. Densidad de los morteros de referencia. ....	264
Figura 85. Resistencia a compresión de los morteros de referencia. ....	264
Figura 86. Densidades aparentes del mortero fresco. ....	269
Figura 87. Densidades aparentes de los morteros endurecidos. ....	271
Figura 88. Resistencias mecánicas de los morteros. Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015). ....	272
Figura 89. Evolución de las resistencias mecánicas a lo largo del tiempo. ....	273
Figura 90. Evolución de los cambios dimensionales en el tiempo. ....	274
Figura 91. Distribución del volumen total intrusivo de poros. ....	276
Figura 92. Absorción capilar de los morteros con 20 días de edad. ....	278
Figura 93. Variación porcentual peso saturado de los morteros sometidos ciclos humedad-sequedad. .....	280
Figura 94. Variación porcentual peso saturado sumergido de los morteros sometidos ciclos humedad- sequedad. ....	281
Figura 95. Especímenes cúbicos de cada formulación. ....	286
Figura 96. Curvas de esfuerzo deformación de las muestras estudiadas a 14 días de curado. ....	287
Figura 97. Curvas de esfuerzo deformación de las muestras estudiadas a 28 días de curado. ....	288
Figura 98. Densidad aparente del mortero fresco para las diferentes proporciones de reposición estudiadas promedio de tres probetas SD kg / m <sup>3</sup> ; libras / pie <sup>3</sup> . ....	293
Figura 99. Densidad aparente en seco del mortero endurecido para las diferentes proporciones de reposición estudiadas promedio de tres probetas SD kg / m <sup>3</sup> . ....	294
Figura 100. Resistencia a la flexión y compresión del mortero endurecido para las diferentes. ....	295
Figura 101. Absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido para las distintas. ....	296
Figura 102. Determinación del contenido de cemento en mortero seco .....	346

## Lista de apéndices

<b>Apéndice A.</b> Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del mortero para pañete elaborado con la incorporación de residuos procedentes de construcción y demolición en Colombia.....	337
<b>Apéndice B.</b> Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del cemento utilizado para la elaboración del mortero en Colombia.....	344
<b>Apéndice C.</b> Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del agregado fino utilizado para la fabricación del mortero en Colombia.....	347

## Glosario

**Árido natural (AN):** Se obtienen en fuentes naturales como ríos, canteras de roca, piedras naturales y se encuentran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas por excavación y sondeos. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 36).

**Árido reciclado (AR):** Originados de las demoliciones y su composición varía dependiendo del lugar de su procedencia ya sea de construcción, reforma o demolición. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 36).

**Árido reciclado de hormigón (ARH):** Procedente de la fragmentación de piezas prefabricadas y restos de material del proceso de hormigonado. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Árido reciclado mixto (ARM):** Obtenido en una Planta de Tratamiento de áridos de demolición y de construcción, compuesto por agregados pétreos. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Cementicio:** Es un material suplementario que se le adiciona al Portland y que agrega propiedades al cemento por hidratación o puzolanización, se obtiene de la mezcla de un 70% de clínica y un 30% de escoria granulada (desechos de la fabricación del hierro) o sulfato de calcio. (Jhon, n.d.).

**Construction and demolition waste (CDW):** Los CDW (Construction and demolition waste) o RCD (Residuos de Construcción y Demolición) son residuos de las diferentes actividades de la construcción como: excavación, demolición, construcción y/o rehabilitación de diferentes obras civiles y se pueden clasificar de acuerdo a su origen o procedencia. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 33).

**Enlucidos:** Se denomina enlucido al revestimiento continuo de yeso blanco que constituye la capa de terminación aplicada sobre la superficie del revoco. (educalingo, n.d.).

**Etringita:** Es un sulfato-aluminato cálcico hidratado cristalino, que se forma en la hidratación del cemento portland y su presencia en la pasta endurecida afecta, en sí misma, la durabilidad del mortero. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Dosificaciones:** Implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el concreto o el mortero, con el fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correcto. (MELENDEZ, 2015).

**Pasta:** A la mezcla de un conglomerante con agua, sin la intervención de un árido, se le denomina pasta, esta es una masa endurecida formada por conglomerante, arena, agua y algunas veces aditivos, esta mezcla origina una pasta fluida o plástica, que fragua y se endurece por las

transformaciones químicas que en la misma se dan lugar. (Morteros y pastas en albanilería y revestimientos, capítulo 1, n.d.).

**Pre-saturación:** Pre: “antes de”, saturación “consiste en incrementar la cantidad de soluto en una solución o mezcla hasta que ya no sea posible aumentar la concentración de la misma”

**Puzolana:** Es un tipo de roca volcánica muy fragmentada y de composición basáltica utilizada como aislante en la construcción y para la fabricación de cemento hidráulico. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 51).

**Residuo de mampostería (RM):** Elemento considerado como desecho de mampostería (ladrillos o piedras) que se acumula después de la destrucción de un muro o pared.

**Residuos sólidos urbanos (RSU):** Son aquellos residuos generados en casas particulares, tiendas, oficinas y servicios, así como los que puedan asimilarse a ellos y no tengan la categoría de peligrosos. Incluyendo los procedentes de escombros de construcción abandonados y leves. (Cagiao Villar, y otros, 2010).

**Revoque:** Es la mezcla de mortero que se utilizan para el revestimiento de un elemento de construcción y formando una superficie de protección. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 52).

**Sílice amorfa:** Su nombre químico es Humos sílice; Es un polvo fino y blanco que se forma durante la fabricación del silicio elemental y de las aleaciones de silicio. La exposición de una persona a esta sustancia le puede ocasionar efectos agudos (daño en los ojos, dolor de cabeza, fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho y tos), crónicos (cáncer) y efectos a largo plazo en su salud (daño en los pulmones). (SERVICIES).

## Introducción

Entre las afectaciones ambientales generadas por la inadecuada gestión de Residuos de Construcción y Demolición-RCD (anteriormente denominados escombros), se encuentran la contaminación al aire, al agua y al suelo. En Colombia, según estudios realizados por el Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible, en el año 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés 22.270.338 toneladas de residuos de construcción y demolición-RCD. Una cifra alarmante y más que preocupante para el medio ambiente, ya que, conforme al diagnóstico integral del modelo actual de la gestión de residuos en Colombia en ese año, se incrementó la generación de RCD de manera notable. Este aumento de residuos evidenció el incumplimiento de los artículos 79 y 80 de la Constitución Política, los cuales establecen que es deber del Estado proteger, prevenir, controlar y planificar la diversidad, integridad y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de conservarlos, para garantizar no solo el desarrollo sostenible, sino el desarrollo que todas las personas tienen a gozar de un ambiente sano. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Debido a esto, en el año 2017 se adoptaron disposiciones dirigidas al fortalecimiento de la gestión integral de los residuos RCD generados en las actividades de construcción y demolición en el país, contribuyendo a que se expidiera la resolución 0472 del 2017. Esta resolución tiene por objeto reglamentar la gestión integral de dichos residuos y regir el cumplimiento de los deberes, responsabilidades y compromisos de las empresas de construcción generadoras de RCD,

como lo son: la formulación de un programa de manejo ambiental (P.M.A.) de RCD, implementar medidas para la prevención y reducción de la generación de RCD, generar estrategias para la correcta recolección y transporte de RCD, establecer varios sitios para el almacenamiento temporal de los residuos de construcción y demolición en la obra, seleccionar sitios específicos para la disposición final de los RCD ya sea de carácter regional o local. Entre otras obligaciones. Sin embargo, no conduce a la creación de alternativas de reutilización y aprovechamiento de los mismos residuos para fines constructivos. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Por consiguiente, se hace necesario además de contar con la resolución 0472 del 2017, aplicar metodologías y/o alternativas que sean de provecho en la construcción, enfocadas en minimizar el inapropiado uso de los RCD, al igual que la cantidad de volúmenes de residuos acumulados en lugares permitidos y no permitidos, con el objetivo de disminuir los índices de contaminación sobre el agua, aire y suelo. En consecuencia, nace la idea de la actual monografía, la cual es indagar las experiencias ejecutadas en los demás países enfocadas en el aprovechamiento y reutilización de estos residuos provenientes de construcciones y demoliciones con el fin de crear materiales que cumplan con las especificaciones técnicas. En este caso de estudio, mortero de construcción para pañete elaborado mediante el uso de RCD utilizados para la ejecución de proyectos de ingeniería civil.

La generación de residuos RCD y su correcta gestión es una problemática actual que no solo abarca a Colombia. En la actualidad, los mayores productores de RCD del mundo son

Estados Unidos, China y los países que integran la Comunidad Europea. Se estima que en Estados Unidos se generan aproximadamente 143 millones de toneladas de RCD cada año, mientras que en China se generan aproximadamente 200 millones de toneladas cada año, aunque la cifra puede ser incluso mayor debido a los desastres naturales de los últimos años. (Corinaldesi & Moriconi, 2009). Y en la Unión Europea se estima que los residuos generados de construcciones y demoliciones alcanzan anualmente casi los 500 millones de toneladas representando aproximadamente el 35% de la producción mundial de RCD, de los cuales 40 millones se generan en España. El reciclado de estos residuos es muy diferente de unos países a otros, pero por término medio la tasa de reciclaje en Europa es del 46%, mientras que en España está en torno al 15 %. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).

La finalidad de la gestión de los residuos, es el aprovechamiento mediante un tratamiento que permita la obtención de un producto técnicamente viable para el uso en obras civiles como vías, edificaciones, ferrocarriles, estaciones petroleras, puentes, etc. De esta forma se contribuye a mitigar la contaminación que causa la acumulación en terrenos potencialmente útiles; erradicar las canteras legal o ilegalmente constituidas de donde se saca el material que comúnmente se denomina agregado pétreo, el cual sería remplazado por el nuevo producto resultado del tratamiento de los escombros. Es decir, es el desarrollo de un conjunto de actividades para dar un destino adecuado a este tipo de residuos con el fin de proteger el medio ambiente y al entorno que lo rodea. (Barrios & Macías Valencia, 2014).

Es por ello que la creación de residuos es uno de los puntos más importantes a la hora de aprovechar los RCD. En este sentido, los distintos profesionales de obras consultados según (Pacheco Bustos, Fuente Pumarejo, Sánchez Cotte, & Rondón Quintana, 2017)., reportan la generación de una cantidad variable de material, dependiendo de las actividades que en ellas se realizan, y, en promedio, las construcciones analizadas ocasionan aproximadamente un total 48,2 metros cúbicos de RCD semanales (p.537).

Teniendo en cuenta la experiencia internacional, se reconoce que el mayor potencial del uso de residuos de construcción y demolición reciclados es como agregados y materiales granulares para reemplazar los materiales originales desarrollados recientemente en diversas aplicaciones. En países desarrollados como Alemania, Reino Unido, Holanda y China se han establecido un gran número de aplicaciones de este tipo de materiales, de las cuales alrededor del 100% de los materiales son reemplazados por áridos reciclados, mientras que el porcentaje de otras aplicaciones se compara directamente de la explotación de canteras, se mezclan las materias primas extraídas del campo. El porcentaje de aplicación se determina en función de los requisitos técnicos que debe cumplir el árido según la aplicación específica. (Cement Concrete & Agregates Australia, 2008).

Actualmente, una alternativa generalizada e implementada en varios países como Cuba, Estados Unidos, España, Alemania, China entre otros países subdesarrollados del continente europeo, empleada para contrarrestar la falta de áridos naturales ocasionado por la sobreexplotación de las canteras y minimizar el impacto ambiental que produce la deposición

irregular de los RCD, ha sido la utilización del material fino que se obtiene de cernir directamente los escombros que se producen tanto de demoliciones como de derrumbes de edificaciones, estos residuos en la mayoría de los casos pasan por un proceso de trituración mecánica antes de realizar el ensayo de granulometría. El material fino resultante es empleado principalmente para la confección de morteros de albañilería tanto de colocación como de revestimiento. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012). No obstante, existe limitantes para ampliar el número de proyectos empleando estos residuos (RCD) para la fabricación de morteros de construcción, ya que, las preferencias tanto del personal profesional técnico, ingenieros y diseñadores de mezcla de mortero como del personal operativo, maestro de construcción y albañiles es el de elaborar en obra el mortero de forma convencional. Por tal motivo, surgen las siguientes preguntas ¿Ofrece el mortero de construcción fabricado mediante la incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) un correcto comportamiento mecánico de sus propiedades más relevantes proporcionando mayores beneficios de utilización con respecto al mortero convencional elaborado en obra? ¿La implementación de este mortero reciclado sería una alternativa viable para la adecuada gestión de RCD en Colombia?

La presente monografía se acoge a uno de tipo compilación, y su alcance se orienta a desarrollar comparativos a partir de la consulta e investigación sobre las principales alternativas de mejoras eficaces en la gestión de residuos de las obras de construcción y en el aprovechamiento de estos en la elaboración de morteros de revestimiento para edificaciones, aportando con esta nueva alternativa una notable disminución de los impactos ambientales adversos que se vienen ocasionando al medio ambiente con la realización de estas actividades

mediante la utilización de recursos naturales, y de esta manera generar una construcción sostenible. Además de los problemas medioambientales, se busca lograr con esta investigación conseguir un mejor conocimiento de las técnicas tradicionales de utilización de RCD en morteros en los países que ya han implementado esta técnica y cómo podemos implementarlo en Colombia. Por su parte, otro aspecto importante que destaca el alcance de esta monografía de compilación es el de emplear una técnica de investigación de análisis de contenido de las experiencias que se tienen con respecto al uso de estos residuos en los morteros de construcción, aplicando criterios objetivos durante el estudio y analizando la influencia de la incorporación de (RCD) en el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, para así dar respuesta al interrogante planteado en el desarrollo de este trabajo.

El área de estudio de la actual monografía, busca indagar las diferentes temáticas que están siendo relacionadas con la problemática anteriormente mencionada, en la cual abarcan varios temas de procesos de construcción en Ingeniería Civil, sacando así información principal e importante para comparar varios estudios similares que se hayan realizado por medio de autores reconocidos en revistas indexadas y proyectos de investigación, en la búsqueda de una disminución del impacto que está acarreado dicha problemática y que afecta nocivamente al medio ambiente. Las bases de datos para el desarrollo del presente estudio pueden encontrarse en línea a nivel nacional e internacional en bibliografía indexada, para así poder analizar el comportamiento de la utilización del mortero de construcción para pañetes de edificaciones, mediante el uso de residuos de construcción y demolición (RCD).

Al ser un estudio que actualmente en Colombia no ha tenido mayor éxito, se plantea la necesidad de estudiarlo más a fondo, para así poder llegar a alternativas que conlleven a una mejora continua del proceso.

El tipo de investigación que se empleó en la realización de esta monografía se basó en un enfoque cualitativo de tipo análisis documental, el cual permitió encontrar información de referencias bibliográficas seleccionadas y relaciones relevantes del tema planteado a partir de otras investigaciones y de marcos teóricos existentes.

El estudio de compilación fue efectuado en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander; el cual consta de cinco grandes bloques (capítulos), en cada uno de ellos se trata de cumplir con un objetivo específico que permitieran en conjunto dar respuesta al tema en desarrollo. A continuación, se presentan los capítulos ejecutados en este trabajo:

- Capítulo 1. Marco referencial
- Capítulo 2. Importancia de la implementación de residuos de construcción y demolición (RCD) en morteros de construcción
- Capítulo 3. Influencia de la incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) en el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, de las experiencias que se tienen con respecto al caso de estudio
- Capítulo 4. Experiencias encontradas con referencia a la alternativa de utilización de morteros de construcción para pañetes, mediante el uso de áridos reciclados procedentes de (RCD)

- Capítulo 5. Comparación técnica del mortero de albañilería convencional y el mortero elaborado con residuos de construcción y demolición.

## Capítulo I. Marco referencial

### 1.1 Marco conceptual

**1.1.1 Generalidades.** En el marco de una investigación referente a una idea específica es importante desplegar el campo de clarificación de conceptos asociados al área o problemática presente de tal manera que la información brindada al lector tenga claridad sobre lo que se está exponiendo, por ello, tomaremos la definición que nos brinda Vidal en la revista el programa de apoyo a la comunicación académica sobre que es marco conceptual es “una sección de un texto escrito en el ámbito académico que detalla los modelos teóricos, conceptos, argumentos e ideas que se han desarrollado en relación con una investigación;”. (Vidal.L, 2009, pág. 1).

### 1.1.2 Definición de concepto.

**1.1.2.1 Residuos de Construcción y Demolición – RCD.** El concepto de residuos de construcción y demolición RCD es un concepto introducido desde el comienzo de la antigua civilización romana. (Sostenible C. M., 2012, pág. 16)., desde esta época ya se empleaba el método de reutilización y aprovechamiento de los materiales de construcción que eran producto de demoliciones.

Según la secretaria distrital de ambiente de Bogotá, el término RCD “corresponde a todo residuo sólido resultante de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las

obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas, anteriormente conocidos como escombros”. (Ambiente, s.f.). Generalmente, estos residuos se encuentran en áreas urbanas cercanas o en el sitio de la construcción y su reutilización en la industria de la ingeniería civil promueve la sostenibilidad del medio ambiente preservando la materia prima provenientes de las canteras y ofreciendo la posibilidad de brindar un beneficio económico.

También es de considerar, que los agregados reciclados provenientes de RCD tienen propiedades similares a las del concreto ordinario virgen elaborados con áridos naturales generado con esto nuevas alternativas un aprovechamiento de los residuos. (Sostenible C. M., 2012, pág. 19).

**1.1.2.2 Morteros.** El término “morteros” hace referencia a uno de los materiales de uso más frecuente en las construcciones en general, por su variada gama de posibilidades de utilización. En los últimos años debido al auge que ha tomado el empleo de la mampostería estructural y su influencia en la ejecución de obras civiles principalmente edificaciones, el consumo de mortero se ha incrementado enormemente, siendo utilizado como elemento de pega, pañete o de relleno. Sin embargo, hasta el momento, no han existido procedimientos técnicos de diseño, producción y control que garanticen una buena calidad de este material, como sí se tienen para el concreto. (Rivera, Concreto Simple, 2013, pág. 199).

Según (Sánchez de Guzmán, 2001), el termino morteros hace referencia a la "mezcla de pasta y agregado fino (arena), la cual es muy utilizada en la pega de ladrillos para hacer muros de mampostería o en el recubrimiento de estos últimos, caso en el cual se le conoce como pañete,

repello o revoque” (p.22).

**1.1.2.3 Morteros para pañetes.** Un mortero para pañete es una mezcla plástica obtenida con un aglomerante, arena y agua. Generalmente para revoques el ligante más utilizado es el cemento portland y la cal. El termino de mortero para pañete o revoque se utiliza para designar a la actividad de aplicación de una o más capas de uno o varios materiales sobre una superficie de obra, cuyo fin es el de emparejar la superficie que va a recibir un tipo de acabado tal como pinturas, estuco, entre otros usos; dándole así mayor resistencia y estabilidad a los muros. (Moretti, 2016), menciona que existen diferentes tipos de revoques, los más conocidos son revocados rayado, revoque rugoso y el revoque liso. También que sus principales propiedades físicas son: consistencia, durabilidad, adherencia, resistencia, trabajabilidad, retracción, densidad, capacidad de retención de agua, absorción de agua, permeabilidad. Por lo tanto, es importante considerar que estas características físicas se evalúan en estado seco y estado endurecido. (Construmática, s.f.), bajo normas y procesos cuyo fin es el de medir y evaluar la calidad del material seleccionado.

**1.1.2.4 Cantera.** Cuando utilizamos el término cantera, queremos referirnos a depósitos de materiales beneficios que se extraen de un macizo rocoso de buena calidad, así como de depósitos provenientes de la acumulación de materiales transportados, y cuyo fin es industrial y ornamental; generalmente su extracción se hace a cielo abierto, en excavaciones tridimensionales con uno o varios niveles (banqueo), según la disposición estructural del depósito y la topografía del lugar. Las canteras se clasifican por el método de aprovechamiento, y se diferencian así las canteras ubicadas en terrenos horizontales (explotadas en open pit hasta cierta profundidad en el

subsuelo), de aquellas mucho más numerosas practicadas en la ladera o falda de un cerro, así como las canteras de material de arrastre, o las subterráneas. (Arroyave, 2009, pág. 47).

El ministerio de minas y energía menciona en la guía para la explotación de materiales de construcción que las canteras colombianas constituyen el sector más importante en cuanto a número ya que desde la antigüedad el hombre las ha explotado para extracción y abastecimiento de materias primas (triturados o no y arcillas) utilizadas en construcción y obras de infraestructura, cumpliendo con los requisitos específicos, de acuerdo con el uso que se les quiera dar. Y debido al valor relativamente pequeño que tenían los materiales extraídos, las canteras se situaban cerca a los centros de consumo como pueblos y ciudades, y poseían dimensiones generalmente reducidas, hoy en día la situación es muy diferente. (MinMinas, 2013, pág. 21).

**1.1.2.5 Reciclaje.** Es toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno. (Gutierrez, 2019).

**1.1.2.6 Agregado.** Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto. Como agregados de las mezclas de mortero o concreto se pueden considerar, todos

aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula), no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activo, entre otros. Pero hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como, por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras. (Rivera, Concreto Simple, 2013, pág. 41).

**1.1.2.7 Arena.** La arena o agregado fino son las partículas cuyo tamaño es menor a 5mm. Dentro de este rango las partículas mayores a 2mm se denominan arenas gruesas y las menores arenas finas. Partículas menores a 0.08 mm se denominan finos de arena. Su aplicación o no en el concreto y mortero depende de su procedencia al igual que la grava. (SULLCA, 2018, pág. 6). El termino de arena en la industria de la construcción se puede definir como “el agregado fino resultante de la desintegración natural y abrasión de las rocas o del procesamiento de conglomerados débilmente ligados”. (Rivera, Concreto Simple, 2013, pág. 53). Son utilizadas como agregados pétreos para morteros y hormigones, balastro o recebo para vías y pavimentos, también son elementos correctores de algunas propiedades mecánicas de los suelos y se utilizan

como drenajes y filtrantes en obras de ingeniería civil. Por este motivo, su utilización es muy importante en la fabricación de bloques, placas vibro compactadas y en todo tipo de estructuras ya que al mezclarse con cemento y grava originan un material de alta resistencia, disponible para ser utilizado en la construcción de presas, puentes y demás estructuras. (MinMinas, 2013, págs. 8-9).

**1.1.2.8 Árido reciclado de RCD.** Otro concepto importante para el desarrollo de esta investigación es el de los áridos reciclados de RCD. Por áridos reciclados, se entienden como aquellos residuos que son de naturaleza fundamentalmente inerte, que proceden del reciclaje de los RCD. Según Alaejos, 2008, y basándose en las proporciones de sus componentes, los áridos reciclados pueden dividirse en: áridos reciclados cerámicos, áridos reciclados mixtos, áridos reciclados asfálticos y áridos reciclados de hormigón. En general, la calidad del árido reciclado está claramente influida por su tamaño, presentando las fracciones finas unas peores propiedades (disminución de la densidad, aumento de la absorción, mortero, impurezas, partículas ligeras, terrones de arcilla, así como mayor contenido de cloruros y de sulfatos). Sin embargo, atendiendo a la granulometría, los áridos reciclados pueden dividirse en: zahorras recicladas, gravas recicladas, arenas recicladas y filler. (Muñoz M. A., 2012, págs. 8-10). Estos áridos procedentes de RCD se someten a un proceso de reciclaje que los revaloriza y los convierte en materia prima. Mediante laboratorios acreditados son analizados, controlando la calidad óptima para sus diferentes aplicaciones (PROMSA, 2021). El principal uso de los áridos reciclados de RCD es la construcción de rellenos o firmes de carreteras, aunque su uso como áridos para la fabricación de hormigones o morteros le daría un mayor valor añadido. (Fernández, 2016, p.16).

**1.1.2.9 Agregado de concreto reciclado (ACR).** La obtención de agregados de concreto reciclado se da como fruto de la trituración del concreto proveniente de la demolición de estructuras o del concreto sobrante de algunos procesos en que muchas veces se solidifica y se dispone como escombros. Su clasificación se hace según los parámetros dados para el agregado natural. El concepto de ACR lo podemos definir de la siguiente manera “la utilización como agregado de un concreto que ha sido previamente usado en otra obra que fue demolida y en la industria no serían más que escombros. Este material se utiliza como base o sub-base para construir nuevas carreteras o para rehabilitar estructuras existentes, entre otras aplicaciones”. (Concreto, 2007).

**1.1.2.10 Cemento.** El cemento es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. (...) en Colombia el más utilizado es el cemento portland. (...) Es definido como un producto que se obtiene por la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. Está compuesto principalmente por materiales calcáreos tales como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla o pizarra; también se utiliza marga, que es un material calcáreo-arcilloso, por yeso y en los últimos años la adición de material puzolánico, que puede ser en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas

volantes). (Rivera, Concreto Simple, 2013, pág. 18).

**1.1.2.11 Características físicas de un material.** Las propiedades o características de un material, de un cuerpo o de un elemento constructivo son muchas y muy variadas. Si se desea hacer un estudio sistemático de todas las que sean interesantes desde el punto de vista de la edificación y la arquitectura. Sería importante clasificarlas según el estado que se encuentre. (Sastre & Salinas, 2010, pág. 19). El concepto de características físicas se puede definir de la siguiente manera “es aquella que se basa principalmente en la estructura del objeto, sustancia o materia, que es visible y medible. Podemos definir las propiedades físicas de un objeto mediante la observación y la medición. (Rivero, 2019).

**1.1.2.12 Impacto ambiental.** Según la norma técnica colombiana NTC-ISO 14001, el concepto de impacto ambiental enmarca el cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización. Al dirigirnos al término de medio ambiente hacemos referencia a todo entorno en el cual una organización opera, incluidos el aire, el agua, el suelo, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones. (NTC-ISO14001, 2015, págs. 2-3). Otra de las referencias que presenta la palabra no la brinda Peláez en su guía para la evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo, el autor cita la definición que uso (Suarez,1991). “El impacto ambiental (IA) puede ser definido como la alteración producida en el medio natural donde el hombre desarrolla su vida, ocasionada por un proyecto o actividad que se lleva a cabo”. El IA tiene una clara connotación de origen humano, dado que son las actividades, proyectos y planes desarrollados por el hombre, los que inducen las alteraciones mencionadas, las cuales

pueden ser o bien positivo, cuando impliquen mejoramiento de la calidad ambiental o bien negativas cuando ocurra la situación contraria. (Peláez, 2009, pág. 3).

## **1.2 Marco teórico**

### **1.2.1 ¿Qué es mortero de albañilería convencional?**

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 presentan 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. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 303).

A la hora de establecer y datar el origen de los primeros morteros podemos suponer que las dos funciones básicas de los materiales que los componen: conglomerante y árido, pueden ser realizadas por una gran variedad de materiales. Un ejemplo de dicha variedad es el hallazgo de morteros de tierra en el yacimiento arqueológico de la ciudad neolítica de Catal Hüyük (la Anatolia, Turquía 7000 a. J. C). Dicho material estaba compuesto por cenizas y restos de huesos teniendo como finalidad la construcción de paredes. (Sáiz Martínez, 2015, pág. 7).

Las funciones constructivas básicas que los morteros desempeñaban en la antigüedad tales como: el agarre, unión y revestimiento de fábricas, impermeabilización de construcciones o pavimentación de suelos, no han variado de manera significativa con respecto a las funciones desempeñadas en la actualidad. (Sáiz Martínez, 2015, pág. 7).

Según Diego Sánchez Guzmán en su libro “Tecnología del Concreto y del Mortero Capítulo 14” describe en términos generales, que dentro de los morteros se pueden distinguir dos familias: los aéreos y los hidráulicos. los primeros endurecen bajo la influencia del aire al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación. Los hidráulicos, también llamados acuáticos, endurecen bajo agua, ya que, al igual que los cementos naturales, poseen en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas. Pero en general, de acuerdo con los materiales que compongan el mortero, se pueden encontrar los siguientes tipos: Mortero calcáreos, mortero de cal y cemento Portland y mortero de cemento. (Sánchez de Guzmán, 2001, págs. 303-306).

### **1.2.2 ¿Qué es mortero de albañilería reciclado?**

El mortero de albañilería reciclado, es un material desarrollado a partir de la incorporación de un porcentaje de residuos de construcción y demolición (RCD) al mortero elaborado de forma tradicional, se sustituye parte de la arena convencional por arena reciclada ó del cemento portland por un nuevo aglomerante reciclado en diferentes porcentajes, está arena reciclada o

material cementicio es producto de la trituración del material de desecho que se produce en lugares donde existen demoliciones o se producen derrumbes de materiales como: restos de cerámica, mampostería, vidrio, cielo raso, hormigón y finos residuales, entre otros.

Por tanto, el mortero reciclado en su definición más general es toda mezcla de un aglomerante, arena, un porcentaje de RCD y agua. De acuerdo con su origen, los morteros pueden ser premezclados en planta, premezclados secos o elaborados en obra. (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020, pág. 9). El mortero elaborado con residuos RCD, es aquel cuyo componente de agregado fino es sustituido por porcentajes de desperdicios de diferentes construcciones, situación que lo hace diferente al mortero convencional. (Cerdán Medina, 2019, pág. 5).

Del estudio de dosificaciones y caracterización de morteros, fabricados con áridos reciclados de hormigón (ARH), se establece que los morteros de construcción base cemento pueden incorporar un 25% como máximo de árido reciclado (AR) sin evidenciar pérdidas significativas de sus propiedades. Y, no requiere de nuevos aditivos ni de una mayor cantidad de cemento. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009, pág. 5).

Según las experiencias encontradas y estudiadas se puede deducir que el comportamiento mecánico del mortero reciclado se evalúa efectuando los ensayos y pruebas establecidas para la evaluación del control calidad del mortero convencional.

### **1.2.3 Propiedades de los morteros**

Entre los beneficios que aporta el mortero, hay que distinguir dos etapas. Estas dos etapas son diferentes según su estado físico. Se denominan estado plástico y estado endurecido, aunque una etapa no es independiente entre sí, porque la naturaleza de la primera afecta el estado endurecido. Las características del mortero fresco se refieren al material durante la puesta en servicio y afectarán principalmente al rendimiento y la calidad de ejecución, mientras que esta última está regulada por la prescripción del proyecto y el cumplimiento de la normativa relativa a las características del mortero (durante toda la vida útil). (Sáiz Martínez, 2015).

#### ***1.2.3.1 Propiedades de los morteros convencionales en estado plástico.***

##### ***1.2.3.1.1 Manejabilidad o trabajabilidad.***

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 encuentra en estado plástico.

En general, se acepta como medida de la manejabilidad, las características de fluidez de la mezcla medida en el ensayo de la mesa de flujo (ASTM C-230), Aunque hasta el momento dicha propiedad ha dependido de la apreciación

subjetiva del albañil o el mampostero. Sin embargo, en la tabla 1 se sugiere una guía de la manejabilidad requerida para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación, en la cual se define tres tipos de consistencia y fluidez del mortero. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 308).

Esta propiedad depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena. Para medir la manejabilidad del mortero se usa el ensayo de fluidez descrito en la Norma NTC No. 111. (Sarmiento Garcés & Arenas Díaz, 2012, pág.21).

**Tabla 1**

*Fluidez recomendada del mortero para diversos tipos de estructura y condiciones de colocación*

<b>Consistencia</b>	<b>Fluidez %</b>	<b>Condición de Colocación</b>	<b>Ejemplo de tipos de estructura</b>	<b>Ejemplo de sistema de colocación</b>
Dura (Seca)	80 - 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos.	Proyección neumática, con vibradores de formaleta.
Media (Plástica)	100 -120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos.	Manual con palas y palustres.
Fluida (húmeda)	120 - 150	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos.	Manual , bombeo, inyección.

*Nota:* La tabla muestra una guía de la manejabilidad requerida para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación, donde se identifica el porcentaje de fluidez del mortero requerido para cada una de las consistencias definidas. Fuente: (Sánchez de Guzmán, 2001).

#### *1.2.3.1.2 Retención de agua.*

Esta propiedad es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como una pieza de mampostería. Como ya se vio, la retención de agua puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque no necesariamente, ya que hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como son: mayores contenidos de finos, la adición de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire o simplemente utilizando cemento puzolánico o cemento de adición, con carga inerte que cada día cobran mayor importancia y son muy comunes en Colombia.

La retención de agua incide altamente en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, ya que, por ejemplo, una mezcla incapaz retener el agua no permite la hidratación del cemento. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 309).

#### *1.2.3.1.3 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, éstos 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 aditivos. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 309).

### ***1.2.3.2 Propiedades de los morteros convencionales en estado endurecido.***

#### ***1.2.3.2.1 Retracción.***

Como es sabido, la retracción se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en pastas puras con una alta relación agua-cemento. La arena soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de muchos vientos, el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la reacción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la riqueza del cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y arenas de buena granulometría con pocos finos. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 309).

#### ***1.2.3.2.2 Adherencia.***

El 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.

Morteros de baja capacidad de retención de agua y mortero de alta resistencia se adhieren sólo en partes por lo que su adherencia es pobre. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero y además debe tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla del mortero. Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería ya que permiten una íntima unión entre las piezas. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 309).

#### *1.2.3.2.3 Resistencia.*

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Siendo está un indicio de la resistencia a tensiones de corte y a tensiones de tracción.

Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de arena, la primera dice: con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es

aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero; y la segunda: con el mismo porcentaje de cemento en un volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquel que tenga la mayor densidad, o sea aquel que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

La primera ley es realmente muy clara, pero la segunda requiere de un mayor análisis. El valor de un cemento de primera clase sin impurezas es universalmente reconocido. Sin embargo, las propiedades de un mortero hidráulico, como durabilidad, permeabilidad y porosidad, no dependen únicamente de la calidad del cemento sino también de la composición granular del mortero, o sea las dimensiones y posiciones relativas de los diferentes elementos que lo componen.

El tamaño de los granos de arena está subordinado en su influencia sobre la resistencia y otras cualidades del mortero a la densidad del mortero producido. Se puede suponer que una arena densa, o sea aquella que contenga seca el menor volumen de poros, al ser mezclada con una proporción dada de cemento, producirá el mortero más denso y en consecuencia resistente. Pero esto no ocurre necesariamente porque la adición de cemento y agua cambia la composición física. Una mezcla de arena fina y cemento requiere más agua que una de arena gruesa y el mismo cemento.

El volumen total de mortero de consistencia plástica será afectado por la cantidad de agua usada y por los volúmenes de los materiales secos. Por ello un mortero hecho de arena fina y cemento será menos denso que uno hecho con arena gruesa y el mismo cemento, aunque ambas arenas al ser pesadas secas contengan la misma proporción de sólidos y poros. La arena fina tiene más granos en su unidad de volumen, por consiguiente, un mayor número de puntos de contacto entre sus granos. Al agregar agua, está produce una película y separa los granos por tensión superficial.

El efecto del agua sobre la resistencia depende también básicamente de la densidad del mortero resultante. Morteros secos dan mayores resistencias que morteros húmedos, porque estos pueden ser más densamente compactos. Los morteros plásticos dan resultados más uniformes. (Sánchez de Guzmán, 2001, págs. 309-310).

#### *1.2.3.2.4 Durabilidad.*

Al igual que en el concreto, la durabilidad del mortero es la resistencia a los agentes externos tales como las bajas temperaturas, la penetración de agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo.

En general, se cree que mortero de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad; sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 310).

#### *1.2.3.2.5 Apariencia.*

Un aspecto generalmente olvidado del concreto que cobra mayor importancia en el mortero de su apariencia, especialmente en mampostería de ladrillos a la vista. En este caso, la plasticidad de la mezcla, la selección y la dosificación adecuada de sus componentes, son de vital importancia en la colocación y el acabado de las superficies. El color y la textura pueden mejorarse con colorantes inorgánicos y con aditivos especiales. (Sánchez de Guzmán, 2001, pág. 310).

### ***1.2.3.3 Propiedades de los morteros con residuos RCD en estado plástico.***

#### *1.2.3.3.1 Consistencia o trabajabilidad.*

En este estado, la trabajabilidad del mortero se considera el desempeño más importante para realizar correctamente una fábrica de albañilería o revestimiento, el mortero debe ser fácil de procesar. Para ello, la consistencia debe ser suficiente para que sea fácil de usar, y su capacidad de retención de agua debe evitar un endurecimiento excesivo del mortero por absorción del fondo. (Sáiz Martínez, 2015).

La consistencia tiene una gran influencia en el desempeño de otros morteros y se define como una medida de la fluidez y / o humedad del mortero fresco, y proporciona una medida de la deformabilidad del mortero fresco bajo ciertos tipos de tensión. Se puede obtener la consistencia adecuada mediante la dosificación correcta de agregados tanto en cantidad como en tamaño de partícula, dosificación de agua de acuerdo con la relación agua / cemento y / o el uso de aditivos (como plastificantes) (Sáiz Martínez, 2015). Se pueden distinguir tres consistencias diferentes según la cantidad de pasta alrededor del agregado:

**Seca:** en una consistencia seca, el aglomerante solo llena los espacios entre los agregados, lo que resulta en un material más áspero y menos fácil de procesar. (Sáiz Martínez, 2015).

**Plástico:** En términos de consistencia plástica, la película adhesiva "mojará" la superficie del agregado, dando como resultado una buena adhesión y una buena procesabilidad de la mezcla. (Sáiz Martínez, 2015).

**Fluido:** Con este tipo de consistencia, las partículas se sumergen en el ligante y corren el riesgo de separarse. (Sáiz Martínez, 2015).

Generalmente, al igual que el mortero de AN, el mortero de AR requiere una gran cantidad de agua mezclada para obtener consistencia. Esto sucede porque la absorción de AR es mayor, mientras que otros factores (como la rugosidad del agregado, el tamaño de las partículas o la

cantidad de mortero adherido) son menores. Se establecen tres opciones para brindar una buena consistencia al mortero elaborado con áridos reciclados:

- Estimar el aporte necesario de agua mezclada realizando pruebas preliminares.
- Utilice aditivos plastificantes para mejorar el rendimiento del mortero reciclado.
- Pre-saturar el AR antes de comenzar a mezclar con adhesivo. (Sáiz Martínez, 2015).

Debido a la heterogeneidad de la AR, la primera opción es difícil de poner en práctica. (Sánchez de Juan, 2004).

El uso de aditivos para mejorar la trabajabilidad de la mezcla puede incrementar el costo del mortero reciclado, aunque la relación agua / cemento se reduce significativamente, lo que hace que el mortero reciclado tenga mejores propiedades mecánicas. (Sáiz Martínez, 2015).

Finalmente, la pre-saturación del AR plantea preguntas prácticas sobre su aplicabilidad. Por esta razón, se debe proporcionar una ubicación específica para saturar el agregado en el sitio o proporcionar espacio en la planta de producción. (Sánchez de Juan, 2004).

#### *1.2.3.3.2 Tiempo de utilización y retención de agua.*

El tiempo de uso y la tasa de retención de agua del mortero en estado fresco están relacionados con la consistencia. El tiempo de uso se define como el tiempo antes de que el

mortero tenga suficiente trabajabilidad sin adición posterior de agua y comience a fraguar. El tiempo de uso se determina según la norma europea. (Norma Española UNE-EN 1015-19, 2000).

Una buena tasa de retención de agua producirá un mortero de fácil manejo durante su uso, por el contrario, una alta tasa de retención de agua combinada con una tasa de absorción extremadamente baja del material sobre el que se aplica el mortero puede causar deslizamiento. La tasa de retención de agua también está relacionada con la tensión superficial del adhesivo y el tamaño de partícula de la arena (agregado reciclado). (Vásquez & Barra, 2002).

#### *1.2.3.3 Densidad aparente del mortero en estado fresco*

La densidad del mortero está directamente relacionada con el material utilizado y su cantidad. Dado que la densidad del adhesivo es similar, la densidad del agregado tiene una influencia especial en esta característica. Esta característica está determinada de acuerdo con los estándares europeos. (Norma Española UNE-EN 1015-19, 2000).

El valor de densidad aparente en estado fresco determina el valor de escorrentía requerido para obtener una consistencia u otra consistencia en el mortero. En la tabla 2 se muestra la relación entre la densidad fresca del mortero y el valor de escorrentía según los requisitos. (Norma Española UNE-EN 1015-19, 2000).

**Tabla 2***Escurrencimiento en función de la densidad en fresco del mortero*

Densidad aparente del mortero fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Valor del escurrencimiento (mm)
>1200	175±10
>600 a ≤ 1200	160±10
>300 a ≤ 600	140±10
≤ 300	120±10

Fuente: (Sáiz Martínez, 2015).

La densidad del mortero reciclado en estado fresco es menor que la del mortero convencional, debido a que la parte del AR expuesta tiene menor densidad. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

#### *1.2.3.3.4 Contenido de aire ocluido*

En el estado fresco del mortero, el contenido de aire arrastrado es otra propiedad importante. Este comportamiento está relacionado con la durabilidad del mortero y sus propiedades mecánicas. El contenido de aire excesivo reducirá el valor de resistencia del mortero; sin embargo, un contenido de aire arrastrado aceptable puede expandir el agua sin romper el material, mejorando así la resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

Tanto el mortero como el hormigón reciclado mostraron un contenido de aire similar al de la mezcla de control. (López Gayarre, Blanco Viñuela, Serrano López, & López Colina, 2015).

#### *1.2.3.3.5 Adherencia en estado fresco*

La adherencia del mortero fresco se atribuye a las propiedades reológicas de la lechada de cemento o lechada aglutinante utilizada, y se define como la resistencia del mortero a la separación o al deslizamiento sobre la superficie en contacto con el soporte. Se puede mejorar añadiendo un ligante o polvo fino a la mezcla, pero hay que tener en cuenta que el exceso de estos ligantes o polvo fino dañará el resto de propiedades del mortero, afectando así su calidad final. Este atributo es importante para yesos y morteros. (Pérez J. I., 1996).

#### ***1.2.3.4 Propiedades de los morteros con residuos RCD en estado endurecido.***

##### *1.2.3.4.1 Resistencia mecánica*

Cuando se utiliza en el campo, el mortero debe tener un efecto anti aglomerante, aunque estos esfuerzos no suelen ser muy elevados salvo en los muros de carga con mampostería armada. (Pérez J. I., 1996).

La compresión es la propiedad más importante del mortero en estado endurecido, por lo que el nombre del mortero de albañilería se denomina según la resistencia a la compresión. (Norma Española UNE-EN 998-2, 2012). El mortero actúa como elemento de conexión en la mayoría de sus aplicaciones, por lo que soporta la presión junto con el sistema constructivo integrado.

La resistencia mecánica da miedo, y está relacionada con la relación entre los diferentes componentes que componen el mortero. (Sáiz Martínez, 2015)

En comparación con el mortero tradicional, el mortero hecho de AR reducirá sus propiedades mecánicas y, a medida que aumente el porcentaje de agregado utilizado, la pérdida de resistencia seguirá aumentando. (Corinaldesi & Moriconi, 2009). Obviamente, el peor desempeño del AR (especialmente las partículas finas) es la razón de esta disminución de la fuerza.

Otros estudios han obtenido comportamientos similares entre el mortero de referencia y el mortero reciclado. Por ejemplo, (Dapena, Alaejos, Lobet , & Pérez, 2011)., describen en sus investigaciones que el reemplazar el AN con 20% de AR no logró una gran pérdida de resistencia mecánica. (Jiménez , Ayuso, López, Fernández , & De Brito, 2013)., al reemplazar el 40% de AR cerámico por AN no se encontró una disminución significativa en la resistencia a la compresión.

Es decir, al sustituir parte de AN por distintos tipos de AR, distintos estudios han conseguido mejores resultados en las propiedades mecánicas del mortero. (Silva , De Brito, & Veiga, 2009)., reemplazado con AR cerámico al 10%, (Braga , De Brito, & Veiga, 2012). Al reemplazar el 15% de AR por concreto (Martínez , y otros, 2015). Esta mejora se observó usando AR cerámico, híbrido y concreto.

Dado que se utiliza AR, se puede entender que la durabilidad del mortero y el hormigón de este material es peor que la del mortero y el hormigón de AN. El mortero reciclado tiene mayor porosidad y permeabilidad, por lo que ayuda a transportar sustancias agresivas a través de la red de poros de la matriz de cemento. (Sáiz Martínez, 2015).

La cantidad de mortero adherido al Árido reciclado (AR) (mayor entre las partículas finas) también contribuye al proceso de carbonatación y a la reacción álcali-sequía. La investigación realizada muestra que el proceso de carbonización y su desarrollo dependen del valor relativo de permeabilidad del nuevo mortero y AR. (Barra, 1996). Si la permeabilidad del nuevo mortero es mayor que AR, el ácido carbónico se difundirá en el mortero. Por otro lado, si el AR tiene una mayor permeabilidad, el frente de ácido carbónico se propagará a través de ellos, dándole un aspecto más irregular. La investigación realizada ha demostrado que la profundidad de la carbonización aumenta a medida que aumenta el porcentaje de AR. (Limbachiya, Leelawat, & Dhir, 1998).

#### *1.2.3.4.2 Adhesión*

La (Norma Española UNE-EN 998-2, 2012) define la adherencia como: "en la capa de mortero, la unión vertical entre el mortero de mampostería y el bloque (unidad)". Esta característica es esencial en los revestimientos adhesivos de mortero y cemento, y evita que la humedad y el agua ingresen al interior de la pared. (Sáiz Martínez, 2015).

Generalmente, este comportamiento del mortero reciclado es peor que el del mortero convencional. Sin embargo, otros investigadores han mejorado el cumplimiento al utilizar un cierto porcentaje de AR. En este sentido, se concluyó que al incorporar agentes antirreflejos (100%), especialmente antirreflejos cerámicos, la adherencia entre la interfaz mortero-ladrillo es mayor que la del mortero de referencia (convencional). (Corinaldesi & Moriconi, 2009).

Según (Martínez, Etxeberria, Pavón, & Díaz, 2013), también obtuvieron resultados similares. Cuando se descubrió que se mejoraron la resistencia a la adhesión y las propiedades de flexión de las cerámicas AR. En esta encuesta, la AN de La Habana fue de mala calidad.

En relación con lo anterior, Corinaldesi, Giuggiolini, & Moriconi (2002). En su investigación detallan que los morteros fabricados con árido reciclado mixto obtuvieron una excelente adherencia con los ladrillos, lo cual atribuyeron a la alta calidad de la zona interfacial, aunque las resistencias a flexión y compresión se vieron perjudicadas. Otras investigaciones demuestran que tasas del 15% de sustitución de arena natural por arena reciclada procedente de la trituración de ladrillos pueden utilizarse en la fabricación de morteros sin verse reducidas las prestaciones mecánicas. (Corinaldesi & Moriconi, 2009).

#### *1.2.3.4.3 Absorción de agua.*

El agua absorbida por capilaridad se define como la capacidad del mortero para atraer agua a sus grumos, y es una característica práctica básica para los morteros expuestos al agua de lluvia

y los morteros utilizados para remover cimientos. La absorción depende de la estructura capilar del material, por lo que cuanto más apretada sea la lechada, más pequeña será la red capilar. Para mejorar este rendimiento se utilizan aditivos como plastificantes o repelentes de agua para reducir la necesidad de agua y por tanto la red capilar, o también se utiliza cal de aire como aglutinante para aumentar la compacidad del mortero. La norma de referencia para el ensayo de absorción capilar de agua es la (Norma Española UNE-EN 1015-18, 2003).

En la mayoría de las referencias citadas, el valor de absorción de agua del mortero reciclado por capilaridad es superior al del mortero de referencia. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009) en su investigación usan 25% de AN en lugar del AR del hormigón en la grava de demolición, y el coeficiente es 0,739.

(Corinaldesi & Moriconi, 2009), observaron que utilizando baldosas cerámicas finas y gruesas respectivamente, la tasa de absorción de agua de la acción capilar aumentó en un 54% y 108%, respectivamente.

(Fernández Ledesma , Jiménez, Ayuso, Fernández, & De Brito, 2014) Cuando se usa un agente anti reflectante cerámico al 25%, existe una diferencia significativa en el rendimiento, por lo que se recomienda usarlo solo en morteros internos que no estén expuestos a la lluvia. En otras investigaciones, Jiménez et al. y Silva et al. Encontró que no había una diferencia significativa en esta propiedad cuando se reemplazó con 40% y 20% de AR, respectivamente.

#### *1.2.3.4.4 Retracción.*

El encogimiento es el proceso de reducción del volumen. El proceso de encogimiento se refiere al proceso que experimentan la pasta, el mortero y el hormigón antes, durante y después de la exposición al aire. (Sáiz Martínez, 2015). Se pueden distinguir dos tipos de retracción según su origen:

**Contracción térmica:** Se sabe que la contracción térmica es causada por el proceso de hidratación del compuesto anhidro del cemento, esta es una reacción exotérmica y aumentará la temperatura del mortero. El calor liberado en la hidratación se descarga al exterior, reduciendo así la temperatura del mortero. Este enfriamiento es la fuente de la contracción térmica. (Sáiz Martínez, 2015).

**Contracción hidráulica:** Esta contracción se debe a la pérdida de agua mezclada por evaporación en el mortero. Este proceso comienza desde el momento en que no suele comenzar en un ambiente húmedo. Parte del agua está en el pozo y su evaporación provocará una presión negativa, lo que producirá una contracción hidráulica. (Sáiz Martínez, 2015).

Los factores que afectan la contracción varían mucho: la cantidad y tipo de cemento, el tipo y tamaño de partícula de arena, la cantidad de agua, temperatura, resistencia a la tracción, etc. (Sáiz Martínez, 2015). Debido a la falta de elasticidad, la capacidad de deformación plástica del mortero provocará una gran contracción, lo que conduce a tensiones internas, y la capacidad

de deformación plástica puede reducirse de volumen a agrietamiento. (Sáiz Martínez, 2015).

En la bibliografía de referencia, la tasa de contracción del mortero reciclado es una de las características más críticas, y la diferencia es la mayor en comparación con el mortero de referencia. (Mesbah & Buyle Bodin, 1999) Se las arreglaron para reducir la contracción en un 15% mediante el uso de fibras metálicas, sin embargo, para las fibras acrílicas, la mejora observada fue muy pequeña.

Otros estudios acaban de señalar que la mayor absorción de AR es el principal problema de alta retracción del mortero reciclado. (Jiménez , Ayuso, López, Fernández , & De Brito, 2013).

#### *1.2.3.4.5 Comportamiento frente al fuego*

Existen dos parámetros básicos para analizar el comportamiento del fuego: su respuesta y resistencia. En cuanto a la resistencia al fuego, se han establecido una serie de tiempos para clasificar los elementos arquitectónicos según su tiempo de retención, y cuentan 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 y 360 minutos. (Norma Española UNE-EN 998-2, 2012)

### **1.3 Marco histórico**

A medida que pasan los tiempos el hombre ve la necesidad de crear nuevas soluciones a la humanidad en cuanto a la construcción, salud, transporte etc. Uno de los crecimientos que aportan a la civilización de la humanidad son los proyectos de construcciones, debido al incremento poblacional, el ingenio y la innovación, así mismo el hombre por realizar proyectos de innovación de alguna u otra forma a generado un impacto ambiental tras las demoliciones de obras existentes y tras la extracción de agregados naturales para la construcción de obras civiles; por ende cabe resaltar dentro de este proyecto los antecedentes en cuanto a como en otros países manejan los residuos de construcción (RCD) y demolición y las afectaciones o el uso que se le ha dado a los mismos en el campo de la construcción.

#### **1.3.1 Historia del manejo o gestión de los RCD en el mundo**

El concreto es el segundo material más consumido en el mundo después del agua y constituye la base del entorno urbano; El concreto se compone de agregados gruesos (arena y grava) y finos (arena), cemento y agua. Los agregados naturales pueden ser reemplazados por agregados hechos a partir de concreto reciclado por lo que en diferentes países al nivel mundial se busca generar soluciones y darles una reutilización a los escombros de concreto, realizando esquemas de reciclaje para RCD y así alcanzar altos niveles de recuperación del material sólido. (Sostenible C. M., 2009).

No existen datos globales acerca de la generación mundial de desechos. Muchos países hacen algunos estimados de la cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD), de los cuales una proporción significativa es atribuible al concreto (junto con el asfalto, la madera, el acero y otros productos en cantidades similares). Existen enormes diferencias entre regiones debido a las tradiciones en la construcción, y el contenido de concreto en los RCD puede variar entre un 20% y un 80%. (Sostenible C. M., 2009).

**Tabla 3**

*Cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) en toneladas, de algunos países del mundo*

<b>Cantidad de desechos (Millones de toneladas)</b>	<b>Europa</b>	<b>Estados Unidos</b>	<b>Japón</b>
Desechos de construcción y demolición (RCD)	510 <sup>7</sup>	317 <sup>8</sup>	77 <sup>9</sup>
Desechos Municipales	241 <sup>10</sup>	228 <sup>11</sup>	53 <sup>12</sup>

*Nota:* La tabla muestra la cantidad de residuos en millones de toneladas generados en ciudades grandes y municipios, de esta manera la diferencia de las mismas. Fuente: (Sostenible C. M., 2009).

El interés por la recolección de cifras sobre recuperación viene creciendo a la par con la atención prestada al desarrollo sostenible y sus indicadores. Dicho lo anterior, el reciclaje de concreto y RCD no es una novedad y siempre ha sido un elemento dentro de la construcción debido a la naturaleza inerte del concreto y la relativa facilidad con la que puede ser procesado en agregados. (Sostenible C. M., 2009).

En Europa, grandes cantidades de escombros tras la segunda guerra mundial estaban disponibles para su reutilización en medio de las difíciles circunstancias económicas y en tiempos en que la infraestructura para la explotación y recuperación de nuevos materiales era escasa. (Sostenible C. M., 2009).

Los RCD se utilizan fundamentalmente como relleno de secciones de carreteras y en la fabricación de hormigones. En España, se permite la utilización de la fracción gruesa (tamaño superior a 4 mm) del árido reciclado sustituyendo al árido natural en un 20% según la EHE-08. En base a esto, la utilización de la fracción fina del árido reciclado en la fabricación de morteros de albañilería supone una nueva vía para la revalorización de los RCD. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez). A continuación, se especificará lo visto en algunos países a nivel mundial con respecto a los residuos de construcción y demolición. (Sostenible C. M., 2009).

En Holanda y Bélgica se está llevando a cabo un programa conjunto de investigaciones sobre el reciclaje de escombros. También, en Francia, Japón, Alemania y Gran Bretaña se estudia el tema. En toda Europa, salvo en España, los escombros de demoliciones de edificios y autopistas se reciclan; por ejemplo, en Alemania, se recicla un 60% de los escombros y en Holanda es superior al 80%. En España existe, hasta la fecha, sólo una planta de reciclaje y en el resto de Europa alrededor de 150. En los Países Bajos se aprovecha un 73 %. En los Estados Unidos existían, en 1981, 14 plantas para el reciclaje de los pavimentos de hormigón hidráulico, en cambio, en América Latina, ciudades que han sufrido desastres sísmicos, no han reciclado sus escombros. (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997)

- **Holanda:** es un ejemplo donde está prohibido el desecho de concreto en vertederos. Todo el concreto se recicla con excepción de algunos residuos de producción.

- **USA:** 38 estados en los Estados Unidos utilizan agregados de concreto reciclado para subbases viales y 11 lo reciclan en concreto nuevo.

- **Brasil:** Tiene algunas instalaciones de reciclaje (sobre todo en Sao Paulo y Belo Horizonte). Los agregados reciclados son utilizados en su mayoría en subbases viales. Existe legislación que promueve la gestión de RCD.

- **Finlandia:** Una fuerte legislación e implementación significa que todo el material reciclable de una demolición debe ser reciclado.

- **Kosovo:** Tiene 10 millones de toneladas de escombros resultantes del fin de la guerra. Se estableció un proyecto para producir y promover agregados reciclados para los esfuerzos de reconstrucción.

- **Taipéi:** Está creciendo el interés por la recuperación de concreto y se estima que cerca del 90% de los RCD se recuperan, con una tasa de 95% para concreto.

- **Qatar y los Emiratos Árabes:** Han desarrollado planes de reciclaje para producir agregados. El costo de los agregados vírgenes impulsa el proceso en Qatar. En los EAU, las preocupaciones medioambientales y restricciones gubernamentales sobre los desechos son los principales incentivos.

- **Japón:** Tiene una casi completa recuperación del concreto de RCD. Casi todo se usa como sub-base vial.

- **Tailandia:** Usa algo de las devoluciones de concreto para productos prefabricados de concreto para proyectos comunitarios. Es necesario realizar más esfuerzos para desviar RCD de concreto de los vertederos de basura.

- **Suráfrica:** Tiene un pequeño mercado en Cape Town para agregados reciclados. La información sobre la recuperación de RCD o concreto de desecho en África es muy limitada para indicar la generalización de esta práctica.

- **Australia:** se han emprendido proyectos utilizando concreto reciclado para nuevos productos de concreto, no obstante, actualmente la industria opina que se logran mejores resultados medioambientales con aplicaciones de bajo grado. (Sostenible C. M., 2009).

- **Países en Desarrollo y Áreas Rurales:** Aunque muchos de los mismos temas son relevantes para el mundo entero, los países en transición y regiones en desarrollo enfrentan algunos retos en particular. En las regiones recientemente desarrolladas, la cantidad de concreto disponible para reciclaje puede ser menor. Inversamente, las áreas en reconstrucción tras períodos de guerra tienen grandes cantidades de desechos de demolición sin clasificar. En ambas situaciones el impacto ambiental de los métodos de reciclaje requiere de un escrutinio aún mayor dado que los países pueden contar con menores recursos e infraestructura y, posiblemente,

menos conocimiento en procesos de bajo impacto. Con frecuencia, la infraestructura de reciclaje es menos viable en áreas de un amplio alcance geográfico y con bajas densidades poblacionales; Los datos disponibles sobre la recuperación de concreto se reducen en la siguiente tabla.

(Sostenible C. M., 2009).

**Tabla 4**

*Cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD) en toneladas, de algunos países del mundo*

País	Total RCD (m)	Total RCD recuperado (m)	% RCD recuperado
Alemania	201	179	89
Australia	14	8	57
Bélgica	14	12	86
Canadá	No disponible	8	No disponible
España	39	4	10
Estados Unidos	317	127	82
Francia	309	195	63
Holanda	26	25	95
Inglaterra	90	46	50 - 90
Irlanda	17	13	80
Japón	77	62	80
Noruega	No disponible	No disponible	50 - 70
Portugal	4	Mínimo	Mínimo
Republica checa	9	1	45
Suiza	7	2	Casi 100
Taiwán	63	58	91
Tailandia	10	No disponible	No disponible

*Nota:* La tabla muestra la recuperación en toneladas de residuos de construcción y demolición en algunos países. Fuente: (Sostenible C. M., 2009).

**-Colombia:** El sector de la construcción en la última década ha incrementado de forma exponencial y de la misma manera han incrementado los residuos de construcción y demolición (RCD), la Secretaria Distrital de Planeación y Ambiente de Bogotá da una estimación de 2 toneladas per cápita, esta cifra es demasiado alarmante, ya que refleja la poca utilización de

estos residuos y además si comparamos estas cifras con el promedio de países europeos como Dinamarca, Finlandia y Alemania. (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

En la actualidad, de acuerdo con la normativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), Colombia ha formulado una legislación en el marco de la “Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, que estipula los parámetros mínimos que deben ser implementado para su adecuado manejo y manejo. La Resolución No. 0472 del 28 de octubre estipula los residuos sólidos y RCD en el territorio nacional, la cual determina que el RCD (antes conocido como "escombros") es considerado como mejoramiento de residuos sólidos provenientes de excavación, construcción, demolición, reparación o actividades locales Ingeniería civil u otras actividades relacionadas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).

Cabe resaltar que las construcciones provenientes de empresas privadas son las que más aportan a este problema de residuos y muchas veces se depositan estos residuos en lugares inapropiados dañando la impresión paisajística y sobre todo empeorando la situación ambiental. (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

De acuerdo con lo anterior, la gestión del RCD constituye uno de los mayores desafíos regulatorios y ambientales que enfrentan el departamento de construcción, departamentos gubernamentales, proveedores de servicios de salud públicos y privados. En el desarrollo y crecimiento de las principales ciudades, una gran cantidad de este tipo de residuos destaca la necesidad de una gestión integrada, y busca utilizar, reciclar o reutilizar los materiales que lo

contienen como alternativas, porque la tasa de uso actual es muy alta en comparación con otros países. (Pérez A. , 2012).

### **1.3.2 Antecedentes históricos del uso de RCD en actividades de albañilería.**

El tema del reciclado y la reutilización de los RCD es tan antiguo como la construcción, debido a los altos volúmenes de residuos de construcción y demolición, así como la explotación de las canteras naturales que generan un gran impacto ambiental, lo cual son una problemática a nivel mundial, Por lo que se busca el remplazo de áridos naturales por reciclados tanto para hormigones como para morteros.

Relacionando un poco la recolección de material de escombros con la investigación de este proyecto se obtiene que los resultados de investigaciones previas (Ploger,1947; Buck, 1977; Malhotra, 1977; Frondistou-Yannas, 1977) aplicadas en su mayoría, a la evaluación del hormigón elaborado con agregados reciclados, han mostrado que tales materiales pueden ser un sustituto satisfactorio y económico de los agregados convencionales, abriendo una nueva perspectiva en la ingeniería, especialmente en el campo de la construcción con una visión ambiental. (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Otra de las aplicaciones del material reciclado, es la utilización de éste en la elaboración de morteros para mampostería; Se han realizado varios estudios (Hamassaki, 1996), en el que emplearon agregados procedentes de varios tipos de escombros (bloques de hormigón, bloque

cerámico y ladrillo de arcilla) en la elaboración de morteros; los resultados mostraron que la resistencia a la compresión en estos morteros fue mayor que la resistencia de los morteros naturales; Álvarez Cabrera (1997), realizó una investigación similar a la anterior, en la cual concluyó que el material proveniente de escombros de demolición es apropiado para la producción de morteros, ya que presenta un comportamiento similar a los áridos de cantera. (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Lo encontrado en la recolección de datos para tener la información relevante e importante para ejecutar este proyecto se puede concluir que el país en donde más han experimentado e implementado el método de reutilización de residuos de construcción y demolición es en Cuba y en países europeos, cabe resaltar alguna de las investigaciones como uso de recopilación.

En Cuba se han desarrollado diferentes investigaciones de aprovechamiento de los RCD debido a que en La Habana se genera un aproximado de 1000 m<sup>3</sup> de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). La mayor parte de estos RCD se depositan en vertederos comunes, lo que provoca un negativo impacto ambiental. Además, este manejo de los RCD provoca su contaminación, haciendo extremadamente difícil su reciclaje. (Martinez Herrera, Pavon de la Fe, Etxeberria Larrañaga, & Diaz Brito, 2012).

En Europa, la utilización de los áridos reciclados procedentes de los residuos de construcción y demolición (RCD) está orientada, fundamentalmente, hacia la construcción de secciones de carreteras, si bien en determinados países dichos áridos se utilizan también en la fabricación de hormigón estructural. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

Álvarez Cabrera et al. Analizaron morteros de albañilería empleando arena reciclada procedente de los escombros de demolición de un edificio. Para ello, prepararon cuatro dosificaciones (1:4, 1:5, 1:6 y 1:8) sometiéndolas a ensayos físico-mecánicos, resistencia a la adherencia y absorción capilar. Concluyeron que esta arena reciclada era apta para la fabricación de morteros de albañilería y que poseían un comportamiento similar a los áridos de cantera y yacimientos. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

Mesbah et al. Estudiaron la retracción producida en morteros elaborados con arena reciclada. Al cabo de 600 días la retracción en morteros reciclados era de 2.010  $\mu\text{m}/\text{m}$  mientras que en morteros elaborados con arena natural era de 1.060  $\mu\text{m}/\text{m}$ . Para retrasar dicha fisuración Mesbah investigó la incorporación fibras metálicas o de propileno con arena reciclada. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

Vegas et al. Estudiaron la viabilidad técnica de la fracción fina de los áridos reciclados procedentes de escombros de hormigón. Debido al estudio de dosificaciones y caracterización de los morteros, concluyeron que los morteros de albañilería pueden incorporar hasta un 25% de árido reciclado sin que estos vieran afectadas sus prestaciones mecánicas, trabajabilidad y retracción sin el uso de aditivos. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

Corinaldesi et al. Evaluaron el comportamiento mecánico y reológico de los morteros de cemento elaborados con tres tipos de áridos reciclados: material desechado de hormigón

prefabricado, restos procedentes del reciclaje de ladrillos y escombros de una planta de reciclaje. Los resultados indican un peor comportamiento mecánico que los morteros de referencia, sin embargo, la adherencia mortero-ladrillo es superior en los morteros reciclados siendo los áridos procedentes de la planta de reciclaje los que mejor adherencia presentan. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

En 1997, en Cuba, Jorge Álvarez Cabrera, ingeniero del Centro Técnico para el desarrollo de los materiales de construcción; en compañía de Francisco Urrutia, Arquitecto; Deborah Lecusay, Arquitecta; y Adela Fernández, Arquitecta; publican una investigación denominada “Morteros de albañilería con escombros de demolición”, en la que como conclusión se obtuvo que el material proveniente del reciclaje de escombros provenientes de obras civiles, es apropiado para la producción de morteros, ya que su comportamiento y funcionalidad es similar a las características de los materiales utilizados comúnmente, además de esto se indica también su efectividad a nivel económico y al efecto ecológico en el entorno medioambiental. (Hurtado Ortiz & Saenz Corzo, 2017).

En Colombia, se desconocen los efectos de la arena reciclada en las propiedades de los morteros y del hormigón mismo, tanto en estado fresco como en estado endurecido; razón adicional, para que las investigaciones estén encaminadas al conocimiento detallado de estos materiales. (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Así mismo en Colombia se han realizados diferentes investigaciones y ensayos con materiales proveniente de los residuos de construcción y demolición entre estos están.

En el año 2009, en Bucaramanga, Juan Sebastián Ferreira Díaz, se registra la publicación de una investigación de “aprovechamiento de escombros como agregados no convencionales en mezclas de concreto”, en donde su objetivo era proponer una alternativa para el aprovechamiento de los residuos provenientes de las actividades de la construcción para a ciudad de Bucaramanga, y en la que como conclusión obtuvo que las mezclas elaboradas cumplen las características mecánicas para ser utilizados como agregados e mezcla. (Hurtado Ortiz & Saenz Corzo, 2017).

En el año 2017, en Bucaramanga, Wilson Esteban Hurtado Ortiz y Silvia Fernanda Sáenz Corzo, realizan una investigación como proyecto de grado “Utilización de escombros o desperdicios de obra para la elaboración de materiales de construcción. Caso: Edificio CATTLEYA”. En donde su objetivo principal era evaluar la viabilidad de crear material de construcción a partir de los residuos de la obra edificio CATTLEYA, y en la que se obtuvo como conclusión que la arena, el cemento, la cal, entre otros aditivos se puede usar como parte del agregado fino de la mezcla de concreto o mortero lo que podría o no afectar la resistencia a la compresión, y se en donde se aconseja utilizar para la mezcla solo un 10% de material proveniente de escombros, ya que con este porcentaje se puede obtener una buena resistencia a la compresión, por lo que se puede usar estructuralmente. (Hurtado Ortiz & Saenz Corzo, 2017).

Los estudios han sido orientados a evaluar la disposición de los escombros y no al posible aprovechamiento de éstos mediante el desarrollo de nuevos materiales para la construcción. Según algunas instituciones (Corporación Fundemos, 1991 y, Departamento Administrativo de Planeación Metropolitana, 1997), debido al gran volumen de escombros producidos en la ciudad (6000 toneladas/ día), la ciudad no dispone de una estructura apropiada para brindar el servicio de recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final de éstos, y concluye que se debe encaminar estudios para la fabricación de una planta de reciclado y las posibilidades de reutilización de tales subproductos. (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Dado que la investigación sobre la influencia del agregado reciclado en los morteros y hormigones es poca en nuestro país, un punto de partida es el estudio de los morteros con el material reciclado, además porque éste es un componente importante de la mampostería, del cual es necesario que se mejore su técnica y calidad. (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

## **1.4 Marco legal**

### **1.4.1 Normatividad Jurídica**

La Constitución Política de Colombia de 1991, como su función principal es hacer prevalecer y cumplir una normatividad a la sociedad para de esta forma ordenar y realizar una reglamentación integral por el beneficio de todos. Por lo que el Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece la resolución N0.0472 del 28 de febrero del 2017 “por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y

demolición RCD”.

#### ***1.4.1.1 Constitución política de Colombia***

1.4.1.1.1 *Artículo 8.* Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación. (Constitucional, 2015)

1.4.1.1.2 *Capítulo 3, Artículo 79.* Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Constitucional, 2015)

1.4.1.1.3 *Artículo 80.* El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. (Constitucional, 2015).

1.4.1.1.4 *Capítulo 5, Artículo 366.* El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de

saneamiento ambiental y de agua potable. Para tales efectos, en los planes y presupuestos de la Nación y de las entidades territoriales, el gasto público social tendrá prioridad sobre cualquier otra asignación. (Constitucional, 2015).

#### ***1.4.1.2 Resolución N0.0472.***

Considerando que los artículos 79 y 80 de la constitución política de Colombia, establecen que es deber del Estado proteger, prevenir, controlar y planificar la diversidad, integridad y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de conservarlos, para garantizar no solo el desarrollo sostenible, sino el derecho que todas las personas tienen a gozar de un medio ambiente sano. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

*1.4.1.2.1 Resolución 0472 Art.1* Establece las disposiciones para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición – RCD y aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan de dichos residuos. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

*1.4.1.2.2 Resolución 0472 Art.3* En la gestión integral de los RCD se deberá priorizar las actividades de prevención o reducción de la generación de RCD, como segunda alternativa se implementara el aprovechamiento y como última opción, se realizara la disposición final de RCD. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

*1.4.1.2.3 Resolución 0472 Art.7* Los grandes generadores de RCD, deberán establecer uno o varios sitios para el almacenamiento temporal de los residuos de construcción y demolición en la obra. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

*1.4.1.2.4 Resolución 0472 Art.19* Los grandes generadores, deberán utilizar RCD aprovechables en un porcentaje no inferior al 2% en peso del total de los materiales usados en la obra.

*1.4.1.2.5 Resolución 0472 Art.20* Prohibiciones.

1. El abandono de residuos de construcción y demolición en el territorio nacional.
2. Disponer residuos de construcción y demolición en espacio público o en los rellenos sanitarios.
3. Mezclar los RCD generados con residuos sólidos ordinarios o residuos peligrosos.
4. Recibir en los sitios de disposición de RCD, residuos sólidos ordinarios o residuos peligrosos mezclados con RCD.
5. El almacenamiento temporal o permanente de RCD en zonas verdes, áreas arborizadas, reservas forestales, áreas de recreación y parques, ríos, quebradas, playas, canales, caños, paramos, humedales, manglares y zonas ribereñas. (Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

**Nota:** Los siguientes artículos también son de vital importancia tenerlas en cuenta, para dar soluciones al impacto ambiental y brindarle a la humanidad un ambiente saludable, y así mismos proyectos de sostenibilidad.

#### ***1.4.1.3 La ley 99 del 22 de diciembre de 1993.***

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

*1.4.1.3.1 Artículo 5 inciso 2. Funciones del ministerio.* Regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, y el uso, manejo, aprovechamiento, conservación, restauración y recuperación de los recursos naturales, a fin de impedir, reprimir, eliminar o mitigar el impacto de actividades contaminantes, deteriorantes o destructivas del entorno o del patrimonio natural. (Congreso de la Republica, 1993).

*1.4.1.3.2 Artículo 5 inciso 11. Funciones del ministerio:* Dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica, en todo el territorio nacional. (Congreso de la Republica, 1993).

#### ***1.4.1.4 Resolución 541 del 14 de diciembre de 1994.***

“Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación”. (Ministerio de medio ambiente de Colombia, 1994).

*1.4.1.4.1 Artículo 3. Escombreras.* Los Municipios deben seleccionar los sitios específicos para la disposición final de los materiales y elementos a que se refiere esta Resolución, que se denominarán Escombreras Municipales. Esta selección se hará teniendo en cuenta los volúmenes producidos y características de los materiales y elementos, así como las distancias óptimas de acarreo. Las escombreras municipales se localizarán prioritariamente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado, tales como minas y canteras abandonadas, entre otros, con la finalidad principal de que con la utilización de estos materiales se contribuya a su restauración paisajística. La definición de accesos a las escombreras municipales tendrá en cuenta la minimización de impactos ambientales sobre la población civil, a causa de la movilización de vehículos transportadores de materiales. (Ministerio de medio ambiente de Colombia, 1994).

#### ***1.4.1.5 Decreto 948 de 1995***

“Reglamenta mecanismos administrativos que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire”. (Ministerio del medio ambiente, 1995)

#### ***1.4.1.6 Decreto 4741 de 2005***

“Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral”. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2015).

#### ***1.4.1.7 Decreto 357 de 1997***

“Por el cual se regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción”. (Alcalde Mayor de Santafe de Bogota, 1997).

### **1.4.2 Normatividad Colombiana para la elaboración de ensayos para mortero.**

Con el propósito de analizar adecuadamente la información encontrada en los diferentes proyectos investigados relacionados con el tema en específico y estudiar los resultados de los ensayos elaborados por dichos autores examinando si la elaboración de morteros con residuos de construcción y demolición es viable o no., se contempló resaltar lo siguiente de la Norma Técnica Colombiana.

### 1.4.2.1 Normatividad para el agregado fino y agregado RCD en estado seco.

- ✓ **Módulo de finura:** El material fino se somete a tamizados con el fin de clasificar las partículas asignando el tamaño ideal para la realización del diseño de mezcla.

**Tabla 5**

Norma técnica Colombiana 77

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 77 (ASTM C 136-92)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
<p>Determinar a través de un proceso de tamizado la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos.</p>	<p>Este método de ensayo se usa principalmente para determinar la gradación de los materiales propuestos para usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de las partículas y los requisitos específicos de aplicación, y para suministrar los datos necesarios para el control de la producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados.</p>

*Nota:* Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 77, 2007).

- ✓ **Masa unitaria suelta:** Una vez obtenida la muestra del tamizado, se procede a determinar o se describir las propiedades la muestra compactada o suelta.

**Tabla 6***Norma Técnica Colombiana 92*

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 92 (ASTM C 29)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
<p>Determinar la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de agregados finos, gruesos o mezclados, esta norma se aplica a agregados que no exceden los 150 mm de tamaño máximo nominal.</p> <p>Los valores serán regidos de acuerdo al sistema internacional de unidades, NTC 1000.</p>	<p>Esta norma se usa para determinar los valores de la masa unitaria necesarios para la selección de las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.</p> <p>La masa unitaria puede ser usada también para la determinación de las relaciones masa/volumen para los acuerdos de compra. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de acarreo o en una pila de almacenaje y el determinado por este método. Así mismo, los agregados en las unidades de acarreo o en las pilas de almacenaje usualmente contienen humedad absorbida y superficial (esta última afecta el análisis volumétrico), mientras que la norma determina la masa unitaria con base en los agregados secos.</p> <p>Se incluye un procedimiento para el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado, basado en la masa unitaria determinada en esta norma.</p>

*Nota:* Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 92, 1995)

#### ***1.4.2.2 Normatividad para el agregado fino y agregado RCD en estado plástico.***

- ✓ **Absorción y densidad:** La muestra obtenida después del tamizado es sometida al ensayo de absorción y densidad, determinando así la porosidad saturable o no saturable.

**Tabla 7**

Norma Técnica Colombiana 237

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 237 (ASTM C 128-93)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
<p>Determinar la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de <math>23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}</math> y la absorción del agregado fino.</p>	<p>La densidad es la masa por unidad de volumen. Los calificativos nominal o aparente, referidos a la forma de tomar el volumen del cuerpo, puesto que las partículas de los agregados para el concreto tienen porosidad; esa porosidad puede ser saturable o no saturable.</p> <p>Si se toma el volumen externo, el aparente, la densidad calculada será aparente; si del volumen aparente se elimina la porosidad saturable, la densidad se llama nominal, y si además de la porosidad saturable se elimina la porosidad no saturable, el volumen es de material puro, y por lo tanto el cociente de la masa y ese volumen será la masa, sin calificativos.</p> <p>Los valores de la absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayoría del potencial de absorción.</p> <p>El estándar de laboratorio para la absorción es el que se obtiene después de sumergir el agregado seco durante aproximadamente 24 h en agua. Los agregados explotados por debajo del nivel freático pueden tener una absorción mayor si no se permite su secado. Inversamente, algunos agregados pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de humedecimiento durante 24 h. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre sobre las superficies de la partícula, el porcentaje de humedad libre puede determinarse deduciendo la absorción del contenido de humedad total determinado con la NTC 1776.</p>

*Nota:* Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 237, 1995)

- ✓ **Humedad natural:** La muestra se somete al ensayo del porcentaje de humedad natural por medio del método de secado, aplicando la NTC 1776 mencionada en la tabla anterior.

**Tabla 8***Norma Técnica Colombiana 1776*

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 1776 (ASTM C 566-89)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
Determinar el porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado sometida a secado.	<p>Esta norma es específicamente precisa para los propósitos usuales, como el ajuste de los pesos de los ingredientes para una fachada de concreto. Generalmente, la determinación de la humedad en la muestra de ensayo es más confiable de lo que puede ser la toma de la muestra para representar el agregado suministrado. Cuando el agregado es alterado por el calor, o cuando se requieren mediciones más precisas, se debe llevar a cabo el ensayo utilizando un horno ventilado de temperatura controlada.</p> <p>Las partículas grandes del agregado grueso, especialmente aquellas mayores de 50 mm, requieren un tiempo más prolongado para que la humedad viaje desde el interior hacia la superficie de las partículas. El usuario de esta norma, puede determinar por tanteo si los métodos de secado rápido presentan suficiente precisión para el uso deseado, cuando se secan partículas de gran tamaño.</p>

*Nota:* Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados finos y gruesos. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 1776, 1994)

#### **1.4.2.3 Normatividad para cemento**

- ✓ **Densidad:** Este ensayo se realiza con el fin de determinar la densidad del cemento hidráulico.

**Tabla 9***Norma Técnica Colombiana 221*

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 221 (ASTM C 188-2009)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
Determinar la densidad del cemento hidráulico. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.	La importancia de determinar la densidad del cemento hidráulico se realiza con el fin de optimizar su uso en el diseño de mezclas de concreto, para así establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido.

*Nota:* Método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 221, 1999)

- ✓ **Consistencia normal:** Para determinar esta propiedad es necesario someter la muestra a un ensayo que se describe a continuación.

**Tabla 10***Norma Técnica Colombiana 110*

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 110 (ASTM C 1887-86)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
Determinar la consistencia normal de cemento hidráulico mediante el aparato de vicat	<p>Antes de realizar dicho ensayo es necesario conocer la cantidad de agua necesaria para obtener una pasta de cemento que satisfaga los requerimientos normativos.</p> <p>La cantidad de agua requerida para obtener una pasta de cemento con una consistencia normal, se calcula con una aproximación del 0.1% y se debe expresar con una aproximación de 0.5% del peso del cemento seco.</p>

*Nota:* Método para determinar la consistencia normal del cemento hidráulico. Fuente: ((INCONTEC), Norma Técnica Colombiana 110, 1991)

#### **1.4.2.4 Caracterización mecánica en las muestras de mortero**

- ✓ **Resistencia a la compresión:** Para determinar esta característica mecánica es necesario contemplar lo descrito en la norma técnica colombiana 220.

**Tabla 11***Norma Técnica Colombiana 220*

<b>NORMA TECNICA COLOMBIANA 220 (ASTM C 109M-2002)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
Determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando cubos de 50 mm o 50,8 mm.	<p>En esta norma especifica el método para determinar la resistencia a la compresión en morteros de 50x50mm o 50.8x50.8mm de lado, Luego de una cantidad de días determinados estos cubos son sometidos a una máquina de ensayo que ejerce una fuerza a compresión sobre ellos; la unidad de medida está dada en MPa.</p> <p>Los valores se rigen de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades NTC 1000 (ISO 1000)</p>

*Nota:* Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico. Fuente: ((INCONTEC), Norma técnica Colombiana 220, 2004).

- ✓ **Resistencia a la flexión:** La resistencia de los morteros se da principalmente por la adecuada hidratación del cemento, por tal motivo es primordial la relación agua cemento A/C de la mezcla. En estado seco depende de la densidad, la permeabilidad, el módulo de elasticidad.

**Tabla 12***Norma técnica colombiana (INV E -324)*

<b>NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (INV E - 324)</b>	
<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>IMPORTANCIA Y USO</b>
Determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico usando viguetas explicando el procedimiento que se debe seguir para la compactación y determinación de la resistencia.	Los resultados se emplean para establecer la conformidad con las especificaciones normativas para un diseño de mezcla.

*Nota:* Ensayo de resistencia a la flexión y tensión de morteros. Fuente: ((INVIAS), 2007)

## **Capítulo II. Importancia de la implementación de residuos de construcción y demolición (RCD) en morteros de construcción**

### **2.1 Estrategias para la recolección de residuos de construcción y demolición (RCD)**

En busca de nuevas alternativas de aprovechamiento y mejoras eficaces en la gestión de residuos de las obras de construcción se utilizan diferentes metodologías para el uso de los residuos de construcción y demolición (RCD), así mismo también se usan para diferentes fines en la construcción.

Una de las metodologías que se contempló interesante para destacar fue la de “Obra – Comando del departamento de Policía Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”, debido al manejo ambiental y financiero que pueden resultar de mucho provecho en el momento de ser aplicadas para la elaboración de morteros de construcción u otras actividades. Esta metodología se realizó mediante unas fases; estas fases son las siguientes:

- **FASE I. Caracterizar y cuantificar los RCD.**

Para esta etapa de desarrollo, determinaron las especificaciones actuales de la industria, y luego clasificar y cuantificar el RCD producido en el sitio de acuerdo con la norma (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017):

- **FASE II. Evaluar los factores de riesgo ambiental y financieros generados por la inadecuada disposición de los RCD previamente caracterizados.**

En esta etapa de desarrollo, determinaron las especificaciones actuales de la industria y luego se clasifica y cuantifica el RCD producido en el sitio de acuerdo con el estándar (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).

- ✓ **Etapa 1: Identificación de riesgos ambientales:** Para determinar el impacto ambiental de la actividad del proyecto, es necesario realizar un análisis detallado de la actividad del proyecto y la interacción con los elementos ambientales durante las etapas de pre-construcción, construcción y operación (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).
- ✓ **Etapa 2: Identificación de factores de riesgo financieros:** Para determinar los riesgos financieros de la segunda fase del proyecto de estudio de caso, primero, de acuerdo con la ubicación planificada en la isla y la posible reutilización del sitio, se evalúa el costo de la gestión adecuada del RCD, y luego todo lo posible. Los costos se determinarán si se manejan incorrectamente (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).

- **FASE III. Desarrollar un plan de manejo en obra que sea adecuado para la disposición de los RCD previamente cuantificados y caracterizados.**

Después de caracterizar y cuantificar el RCD y evaluar los factores de riesgo ambiental y financiero, determine alternativas para la gestión de desechos en el sitio y fuera del sitio. Además de proponer planes de gestión in situ, también puede promover la eliminación correcta de los RCD in situ (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).

- ✓ **Etapa 1: Identificación de alternativas de gestión de residuo en la obra:** El primer paso para identificar alternativas en el trabajo se basa en una encuesta a los trabajadores. El objetivo de la encuesta es recopilar información sobre el conocimiento de los trabajadores sobre el RCD y su impacto en la gestión de residuos. Posteriormente, se evaluaron las posibles soluciones de reutilización para cada RCD en la obra (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).
- ✓ **Etapa 2: Identificación de alternativas de gestión de residuo en la fuera de la obra:** Para determinar dónde se puede reutilizar el RCD en la isla, se hizo referencia al plan de gestión ambiental de la obra, que señalaba un lugar donde se podría recolectar, pero no se pudo encontrar la información necesaria de ese lugar. (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017)

- ✓ **Etapa 3: Elaborar plan de manejo en obra (Formatos):** Luego de recopilar información sobre la siguiente información, investigaron los conceptos de empleados directos involucrados en el proceso de gestión del RCD en el trabajo y cómo gestionar los residuos dentro y fuera de la obra. (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).
  
- **FASE IV. Elaboración de una herramienta didáctica:** Como parte de un plan de gestión adecuado para el sitio de RCD, la información recopilada se utilizará para crear herramientas audiovisuales (Barrera Peñaloza, León Corredor, & Ruiz Sierra, 2017).

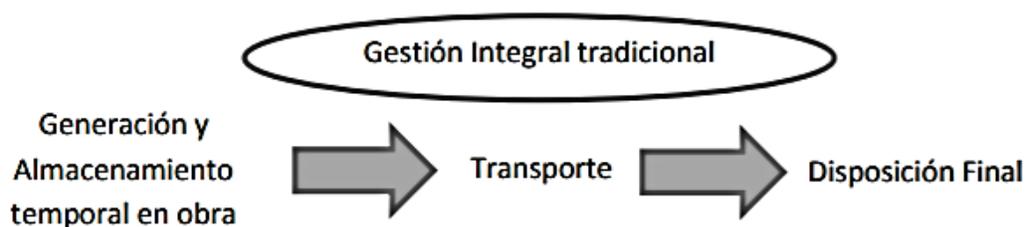
La creciente sensibilización social por la conservación del Medio Ambiente y los recursos naturales, fomentan la búsqueda de alternativas que alivien el impacto que tienen los residuos sobre la Salud humana y el Medio Ambiente. Debido a esto, preservar el equilibrio natural se ha convertido en uno de los principales desafíos para la sociedad del siglo XXI. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

Esta iniciativa ayuda a mitigar o si es el caso a remover algunas de las principales consecuencias de los residuos como son: La contaminación del aire debido a las partículas de material fino que quedan sin uso y sin un correcto manejo de este, es decir, sin cubrimiento; Contaminación del agua que puede ser el mal manejo de las fuentes hídricas cercanas a la obra o el material sobrante en el que se haya utilizado el agua para mezcla; Contaminación del suelo sucede cuando hay rellenos, excavaciones, entre otras; y por último pero no menos importante la contaminación paisajística o también llamada contaminación visual, es todo aquello que perturba

o irrumpe la estética de un paisaje o en este caso de una obra. (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020)

El Plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición es una estrategia desarrollada por la autoridad ambiental, el cual le permitirá al constructor identificar y cuantificar el potencial mineralógico que contienen los residuos de construcción y demolición. Al efectuar el debido proceso de separación los RCD podrán ser reutilizados, transformados, reciclados y revalorizados, incorporándolos nuevamente al ciclo de vida. (Orozco Gutierrez, et al., 2014).

Teniendo como objetivo, Proporcionar al constructor las herramientas necesarias y adecuadas para formular, implementar y actualizar el Plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición, de tal manera que éste permita adoptar estrategias para minimizar la disposición y maximizar el aprovechamiento de los RCD derivados durante la ejecución de proyectos constructivos. (Orozco Gutierrez, et al., 2014). Para desarrollar la gestión integral tradicional se deben tener en cuenta los siguientes tres factores.



*Figura 1.* Gestión integral tradicional de RCD.

Fuente: (Escandon Mejía, 2011).

Puede verse claramente en la Figura 1, que la gestión que incluye el uso de RCD se basa en las tres actividades básicas de la gestión tradicional, a saber, el almacenamiento temporal, el transporte y la disposición final. Sin embargo, para lograr un cierto grado de uso de RCD, algunos deben llevarse a cabo actividades. Separación in situ, conversión y reutilización de materiales. Cada una de estas actividades debe estar respaldada por regulaciones y parámetros legales (Escandon Mejía, 2011).

Las estrategias para la generación y almacenamiento temporal en obra son las siguientes: (Orozco Gutierrez, et al., 2014).

- Establecer la cantidad y la naturaleza de los residuos que se van a originar en cada etapa constructiva y en la demolición.
- Informarse y establecer desde la planeación del proyecto sobre los gestores autorizados de residuos (ordinarios, peligrosos, RCD, entre otros) que se encuentran en el entorno de la obra.
- Establecer las características (condiciones de admisión, distancia y tasas) de las escombreras o sitios de disposición final, de los recicladores, de los centros de clasificación, entre otros, para así poder definir un escenario externo y adecuado de gestión.
- Disponer de las herramientas y equipos necesarios para cada actividad en la obra.
- Utilizar el material necesario ya estandarizado y ajustado a las líneas civiles y arquitectónicas ya diseñadas y planificadas.

- Organizar y ambientar los sitios de trabajo en condiciones óptimas, con base en las disposiciones de seguridad y condiciones laborales en los establecimientos de trabajo.
- Optimizar el suministro de materiales mediante sistemas mecánicos estandarizados.
- Descargar en forma ordenada y organizar los materiales y elementos correctamente.
- Coordinar los suministros y transporte de materiales, con el fin de evitar pérdidas y mezclas indeseables.
- Cada material tiene una forma única de ser reciclado. Esto depende de sus propiedades fisicoquímicas y del destino que éste vaya a tener en el mercado.
- Se recomienda consultar las distintas alternativas de reciclaje para cada material que se separe de los residuos finales de la construcción y la demolición.

Las estrategias para efectuar la reutilización de los Residuos de Construcción y Demolición son las siguientes: (Orozco Gutierrez, et al., 2014).

- Los RCD se podrán reutilizar siempre y cuando no estén contaminados con materia orgánica, plásticos, maderas, papel, hierro o sustancias peligrosas. Está prohibida la reutilización in situ de RCD sin su previa clasificación (ordinarios, especiales y peligrosos).
- Los materiales susceptibles de reutilización son: vigas, pilares, cerchas, elementos prefabricados, puertas, ventanas, revestimientos prefabricados, tejas, estructuras ligeras, soleras, claraboyas y chapas, barandillas, falsos techos, pavimentos sobrepuestos, piezas de acabado y mobiliario de cocina.

- La arena, grava, y demás áridos, pétreos, cerámicos, concreto y cemento se pueden reutilizar como base para carreteras, y para nivelar y estabilizar suelo y terraplenes. Los materiales con alta probabilidad a ser reciclados según investigaciones son: concreto, cerámicos, cemento y ladrillos, los cuales se pueden reutilizar para la elaboración de adoquines, fachadas, bases para columnas, producción de morteros y fabricación de cementos.

Las estrategias para la disposición final de los Residuos de construcción y demolición son las siguientes: (Orozco Gutierrez, et al., 2014)

- Una vez generados, separados, y seleccionados los RCD según las estrategias propuestas y los lineamientos anteriores para el aprovechamiento de los materiales, se procede a retirarlos según sea el destino que se les vaya a dar.
- Cuando la obra no disponga de espacio para el estacionamiento temporal de volquetas, el constructor debe coordinar la salida de RCD de tal forma que no exista estacionamiento temporal en vía pública, ni obstrucción de tránsito.
- Adicionalmente, se deberá implementar la señalización necesaria, de tal manera que no se interfiera con el tráfico vehicular y peatonal. Todo lo anterior de acuerdo al Plan de Manejo de Tráfico (PMT) aprobado por la entidad competente.
- Los materiales sobrantes que no se les haya atribuido un aprovechamiento, se deberán disponer en los sitios de disposición final de RCD autorizados por la Secretaría Distrital de Ambiente o la autoridad ambiental competente, según su ubicación geográfica.

- El generador de RCD debe acreditar la legalidad del sitio de disposición final, mediante una resolución o auto del concepto de viabilidad ambiental, donde se le permita al sitio prestar ese servicio; también está obligado a contar con una certificación de los volúmenes dispuestos en dicho sitio, que indique la fecha e identificación del proyecto al que le reciben los RCD. Estos documentos deben permanecer en todo momento en el sitio de obra y serán solicitados en cualquier momento por la autoridad ambiental competente.

## **2.2 Mortero de construcción reciclado para fines no estructurales, una metodología aplicada que busca disminuir el impacto ambiental**

En la actualidad los conceptos de ecología, medio ambiente y desarrollo sustentable están adquiriendo mayor importancia a nivel internacional, esto afecta directamente a la industria de la construcción, ya que las actividades relacionadas con la construcción pueden tener consecuencias perjudiciales e incluso irreversibles sobre el medio ambiente produciendo un fuerte impacto en el mismo. (Machaca Mamani, 2018). Por ese motivo deben ser controladas en todas sus etapas desde la obtención de materias primas y la elaboración de productos, hasta la ejecución de obras y el uso posterior de los inmuebles, valorando el impacto de la energía que se consume y los residuos que se generan. (Glinka, Vedoya, Zalazar , & Claudia A., 2005).

Con respecto a lo anterior, uno de los aspectos que aporta un impacto negativo al medio ambiente es la extracción de materia prima en las canteras y la falta de conciencia en relación a

la necesidad ambiental de resguardar los recursos naturales mediante la disminución de la extracción de los mismos y la producción a partir de materias primas vírgenes. (Glinka, Vedoya, Zalazar , & Claudia A., 2005).

Las materias primas se pueden agrupar de acuerdo a sus características comunes. El concepto de materia prima hace referencia a todo bien que tenga como finalidad la transformación durante un proceso de producción hasta convertirse en un elemento de consumo. Muchos de los bienes materiales precisan de una modificación o transformación antes de que pueda ser usado por los usuarios. Una de las principales características de las materias primas es la ausencia de tratamiento, por lo que adquiere un estado natural antes de empezar a ser tratado por la mano del hombre y de las máquinas. (García, 2017). La materia prima a consultar e investigar en la elaboración de este proyecto son los áridos finos.

Pero ¿Cómo está afectando al medio ambiente la extracción de materia prima en las canteras? (Sánchez, 2020), afirma que el crecimiento poblacional e industrial del planeta aumenta de una manera exponencial y, con ello, las necesidades de la población. Entre estas necesidades se incluye una mayor demanda de materias primas para construcciones, industrias o energía, que en muchos casos se obtienen de los yacimientos terrestres. Sin embargo, la cada vez más descontrolada explotación de nuestros recursos naturales lleva consigo una serie de problemas causando así consecuencias negativas para nuestro planeta. El biólogo Javier Sánchez asegura que algunas de las consecuencias negativas de la extracción del recurso para el medio ambiente, son las siguientes: Los cambios en la morfología del terreno y la contaminación del

aire. Los cambios en la morfología del terreno natural son ocasionados por la extracción de minerales sobre la superficie de la tierra dando lugar a grandes excavaciones. También son causados debido a que, se deforestan grandes extensiones de tierra, teniendo como consecuencia las pérdidas de suelo por la erosión, pérdida de hábitats de muchas formas de vida, pérdidas de biodiversidad o alteración de algunos ciclos biogeoquímicos como el del agua. Así mismo, dicha explotación y aprovechamiento de minerales tomados directamente de la naturaleza afectan en gran medida en la contaminación del aire, las extracciones de minerales liberan polvo y otros gases tóxicos al medio ambiente, que se originan en las explosiones que rompen las rocas. Estos gases pueden generar graves problemas respiratorios a los seres humanos y animales que habitan las zonas próximas. Además, son gases que pueden subir a la atmósfera y ser causantes del efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático y a sus terribles consecuencias.

Por otra parte, los residuos que se generan debido a la demolición de una estructura u otro tipo de obra de construcción, ya sea parcial o de forma absoluta, el efecto de los desastres naturales en las construcciones y los residuos que generan laboratorios e industrias de materiales de construcción hacen una variedad considerable de sedimentos que causan un enorme impacto negativo en el medio ambiente. (Muñoz E. I., 2012). Este es otro de los aspectos importantes a tener en consideración en este capítulo.

Según el MGR. Esteban Bonifacio Machaca Mamani, en su tesis de grado para optar el título Doctor en ciencias ambientales menciona que, la falta de rellenos sanitarios para la disposición de los residuos generados por las actividades de construcción y demolición, la falta

de compromiso de las autoridades municipales en la implementación de sistemas de gestión ambiental de los RCD y la falta de educación ambiental de la población sobre este tema implican el manejo inadecuado de estos residuos, los cuales generalmente se desechan sin previo aprovechamiento, en consecuencia constituye un riesgo para el medio ambiente y la salud del ser humano, no solo al disponer sin reciclar, sino también al disponer de manera desordenada, generando focos contaminantes en lugares públicos. (Machaca Mamani, 2018). Es imprescindible tener en cuenta que, si bien en general los residuos que se generan de la construcción y/o demolición de edificios u otras obras de construcción no son tóxicos, su volumen es considerable, creando una fuerte contaminación visual y el rápido llenado de vertederos de cualquier tipo. (Glinka, Vedoya, Zalazar , & Claudia A., 2005).

Por esta razón, desde el punto de vista ambiental, el reciclamiento de escombros es bastante atractivo, puesto que incrementa la vida útil de los rellenos sanitarios e impide la degradación de recursos naturales no renovables; pero, desde el punto de vista económico y de construcción, los materiales elaborados con material reciclado como concretos o morteros, resultan atractivos cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad. Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existe dificultad para obtener materias primas y lugares de depósito adecuados. Con el uso de los materiales reciclados, se pueden conseguir enormes ahorros en el transporte de residuos de la construcción y de materias primas. Esto puede ser notado especialmente en las áreas urbanas o en los proyectos de construcción donde se pueden reunir la demolición y la nueva obra, incluso donde es posible reciclar una gran cantidad de escombros en el mismo lugar de trabajo o cerca de él. (Montoya, 2003).

Otro de los aspectos importantes en este inciso está relacionado con el impacto que genera la utilización de cemento portland hidráulico al medio ambiente en la elaboración de morteros para la construcción. El hormigón o el mortero de construcción elaborado con cemento Portland, es el más populares debido a sus propiedades y características mecánicas sobresalientes, como durabilidad, resistencia, etc. Sin embargo, su uso también conlleva elevados costes en temas medioambientales, destacando especialmente la gran cantidad de energía consumida y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado durante el proceso de fabricación. Además, la obtención de áridos y materias primas necesario para obtener cemento, puede significar la destrucción de ciertos hábitats y así cómo provocar problemas de contaminación en el aire y el agua de la zona. En la actualidad, se están tomando diferentes medidas para minimizar estos efectos en el medio ambiente, donde el cemento es reemplazado por otros materiales de manera más prominente, como cenizas volantes o escoria de alto horno y el uso de materiales reciclados como un nuevo material cementicio suplementario que produzca menor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. (Cagliao Villar, y otros, 2010).

Por consiguiente, si estos residuos se trataran apropiadamente, pueden someterse a un procedimiento de reutilización de materiales en el mismo trabajo o en lugares establecidos para su respectivo tratamiento o a un proceso de reciclaje aquellos que no pueden ser reutilizados y, por lo tanto, favorecer la vida útil de los lugares de disposición o los vertederos autorizados a recibirlos, además, puede generar oportunidades de trabajo. (Amaru Herrera & Vargas Miranda, 2017). Esto a su vez provoca una menor explotación de los bancos de materiales vírgenes y disminuye los costos de transporte, lo que se traduce en un beneficio medioambiental importante. (Machaca Mamani, 2018).

Es por ello que se estudia e investiga si el mortero de construcción reciclado para fines no estructurales, puede llegar a ser una metodología aplicada que busca disminuir el impacto ambiental.

Ahora bien, Según (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997) en su artículo “Morteros de albañilería con escombros de demolición” publicado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España mencionan que la escasez, creciente cada día, de materiales para la construcción y reparación de viviendas ha hecho que se piense en soluciones alternativas, como son el rescate en lugares donde existen demoliciones o se producen derrumbes de materiales como ladrillos, vigas, maderas y finos residuales. Es, a partir de estos últimos, donde surge la idea de su utilización y aprovechamiento, a mayor escala, para su empleo en morteros, así como por la posibilidad real del reciclaje de dichos escombros, su efectividad técnica y económica y el impacto social y ecológico que proporciona a la sociedad, para lograr un uso óptimo de este árido como futuro agregado fundamental en la preparación de morteros de albañilería. (Pág.43) Siendo esta una alternativa viable para el uso de la fracción fina de los RCD.

El anterior estudio es realizado en la Habana, Cuba en el año 1997, por el Ingeniero Jorge L. Álvarez Cabrera, el Arquitecto Francisco Urrutia, la Arquitecta Deborah Lecusay y la Arquitecta Adela Fernández. Consistió en la preparación y estudio de morteros de albañilería empleando árido reciclado producto de demoliciones como agregado. Los autores hacen referencia en su investigación que con esos materiales reciclados se logran ventajas económicas,

ya que se obtiene una fuente natural de materia prima, se reducen los gastos inversionistas de materiales, se sustituye un volumen de arena de mar, arena lavada o de árida integral para bloques, ahorrándose, además, por cada m<sup>3</sup> de escombros que se desecha, 1 litro de petróleo, puesto que la distancia promedio a recorrer es de 14 km, Es decir, se consigue, también con esto, ventajas energéticas y sobre el transporte, puesto que, con sólo utilizar el 80 % de los escombros de Ciudad Habana se ahorrarían 735 t de combustible y se lograrían 91.500 m<sup>3</sup> de árido reciclado y, de esta manera, implicaría un gran impacto social, porque con ese árido es posible la ejecución de enormes proyectos de construcción, a la vez de ser un material alternativo que puede dar respuesta a la escasez de materiales, disminuyendo una de las principales fuentes de insalubridad, contaminación y deterioro ambiental. Con ese volumen de materiales se puede apoyar una respuesta habitacional que incluya acciones constructivas, con recursos provenientes del reciclaje de los escombros, productos de derrumbes o demoliciones y su aprovechamiento en la creación de diferentes elementos constructivos, como el árido, para la producción de morteros de albañilería. (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997, pág. 44).

Por su parte, Según (Bocanegra Mariños & Espejo Valdez, 2018) en su tesis de grado titulada “influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería” concluyen que luego de realizar ensayos de caracterización física a la arena fina natural y al ladrillo reciclado en sus tres tamaños granulométricos, se evaluó la influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre las propiedades mecánicas del mortero de estudio, concluyéndose que se brinda mejoras en cuanto a

sus propiedades. Además, se comparó en dicha investigación la viabilidad económica entre el diseño más óptimo del mortero con ladrillo reciclado y un mortero convencional en su puesta en obra, obteniéndose un ahorro de S/. 0.05 por cada m<sup>2</sup> de área de tarrajeo que se realice. (pág. 109). Finalmente, es importante mencionar que la función de los morteros de recubrimiento no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, por tanto, no requiere una resistencia determinada. Ósea, sus requerimientos mecánicos son inferiores a los materiales estructurales. (Herrera Gongora, 2015).

Lo que indica que el mortero elaborado con porcentajes de residuos procedentes de construcción y demolición en reemplazo del árido natural fino (AN), es una buena alternativa que beneficia al medio ambiente ya que aporta significativamente una contribución a la disminución de los impactos ambientales que se mencionan anteriormente, como lo son la extracción excesiva de materia prima virgen en las canteras naturales, el inadecuado uso de los RCD y el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera que produce la fabricación de cemento portland. La utilización de estos residuos ayuda a un desarrollo sustentable óptimo del ambiente.

Para concluir este capítulo, de manera general se han identificado en el transcurso de esta investigación diversas experiencias estudiadas e implementadas a nivel nacional e internacional, en países como Cuba, España, entre otros países subdesarrollados del continente europeo que tienen como resultados aportes positivos en el aprovechamiento de esta alternativa. Las cuales aplicando estas técnicas no convencionales han conseguido reducir los impactos ambientales, se ha podido reducir el grado de contaminación del mismo y realizar factiblemente un

aprovechamiento y reutilización de recursos, para minimizar y disminuir la explotación de la materia prima en los diferentes ecosistemas. Dichas experiencias se exponen en los próximos capítulos de este proyecto monográfico.

### **Capítulo III. Influencia de la incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) en el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería.**

#### **3.1. Morteros para construcción fabricados con un porcentaje de reemplazo de árido reciclado de hormigón.**

##### **3.1.1. RCD proveniente de hormigón como agregado para la elaboración de morteros.**

En el año 2002, en Colombia, (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003), realizan una investigación “AGREGADO RECICLADO PARA MORTEROS”. En donde su objetivo principal es evaluar experimentalmente las propiedades del mortero elaborado con agregado reciclado y compararlo con el mortero convencional, en especial, su influencia en la adherencia tanto en mortero con cal o sin cal.

En la que obtuvo como resultado que la adherencia en los morteros reciclados se reduce, debido a esto concluye que para evitar pérdidas tempranas en el mortero es aconsejable que el ambiente de curado de las muestras (cubos) sea a una temperatura controlada, es decir en un cuarto húmedo para obtener una completa hidratación del cemento y así mismo lograr una mejor adherencia en el mortero, por otro lado los áridos obtenidos de la trituración de un hormigón son áridos con partículas de cemento planas y de textura lisa por lo que no tienen ninguna afectación

en las propiedades del mortero. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003). Para los laboratorios se utilizaron tres tipos de mortero con arena natural, en estado saturado superficialmente seca, y con arena reciclada.

- **Granulometría**

**Tabla 13**

*Análisis granulométrico del agregado natural*

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Pasa</b>	<b>Especificación (NTC 2240) % Pasa</b>
4 (4.75 mm)	100	100
8 (2.36 mm)	94.1	95 - 100
16 (1.18 mm)	70.6	70 - 100
30 (600 $\mu\text{m}$ )	54.4	40 - 75
50 (300 $\mu\text{m}$ )	28.3	10 - 35
100 (150 $\mu\text{m}$ )	9.9	2 - 15

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

**Tabla 14**

*Análisis granulométrico del agregado reciclado*

<b>Tamiz No.</b>	<b>% Pasa</b>	<b>Especificación (NTC 2240) % Pasa</b>
4 (4.75 mm)	100	100
8 (2.36 mm)	98.8	95 - 100
16 (1.18 mm)	84.9	70 - 100
30 (600 $\mu\text{m}$ )	52.2	40 - 75
50 (300 $\mu\text{m}$ )	20.4	20 - 40
100 (150 $\mu\text{m}$ )	5.8	10 - 15
200 (75 $\mu\text{m}$ )	0	0 - 10

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

El módulo de finura del agregado reciclado es 3.38. El porcentaje que pasa en el tamiz No 4 hasta el tamiz No 16 es mayor el porcentaje retenido en el agregado reciclado que en el agregado natural y desde el tamiz No 30 hasta el tamiz No 200 el porcentaje retenido en el agregado reciclado es menor que en el agregado natural. Lo que quiere decir que las partículas del agregado natural son más finas que las del agregado reciclado, teniendo en cuenta que la diferencia del porcentaje que pasa no es tan significativa.

- **Propiedades físicas de los áridos**

**Tabla 15**  
*Análisis físico del agregado natural y agregado reciclado*

<b>Parámetro</b>	<b>Arena Natural</b>	<b>Arena Reciclada</b>
Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	1.51	1.28
Peso específico saturado superficialmente seco (sss)	2.62	2.43
Peso específico seco	2.59	2.27
Absorción (%)	1.21	6.84

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Las propiedades físicas de los agregados son más altos en el agregado natural a excepción de la absorción, ya que el porcentaje de absorción es mucho más alto en la arena reciclado con una diferencia bastante considerable.

- **Dosificación utilizada**

**Tabla 16***Dosificación de morteros empleados en los laboratorios*

Tipo de mortero	Porción por volumen			Proporción en peso		
	Cemento (sss)	Cal	Arena	Cemento (sss)	Cal	Arena
M	1	0.25	3	1	0.13	4.4 (AN) 3.7 (ACR)
S	1	0.5	4	1	0.26	5.8 (AN) 4.9 (ACR)
N	1	1	5	1	0.53	7.3 (AN) 6.1 (ACR)

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Para los diferentes tipos de morteros se utilizaron dosificaciones con implementación de cal como aditivo, en todos los tipos de morteros las proporciones de arena natural (AN) es mayor que las proporciones de arena de concreto reciclado (ACR).

Los agregados reciclados presentan mayor angulosidad que las partículas de agregado natural(...) La angulosidad de las partículas pertenecientes a la fracción gruesa y la forma un poco más redondeada de las partículas pertenecientes a la fracción fina del ACR proporciona una resistencia mecánica del mortero, comparable con la del mortero convencional dado que hay un mejor acomodamiento de éstas y una mejor densificación de la matriz pasta - agregado.

(Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

- **Relación A/C**

El porcentaje de agua requerida para el mezclado de los agregados con áridos de reciclaje es mayor que la requerida para los áridos naturales, según la gráfica mostrada varía entre estas para cada tipo de dosificación un porcentaje entre un 3 y 4% de diferencia.

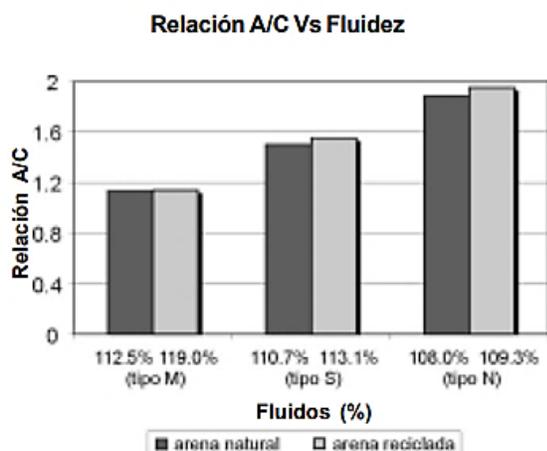


Figura 2. Gráfica comparativa de relación A/C vs Fluidez.

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

- **Retención de agua**

La retención de agua observada en la gráfica es menor en los morteros elaborados con árido de reciclaje, en la dosificación tipo M se observa que la diferencia entre la mezcla convencional y la mezcla en ensayo es de aproximadamente un 25%, la dosificación tipo S se observa una diferencia de retención de un 10% y para el mortero tipo N se observa una

diferencia de un 15%, por lo que se deduce que la retención de agua es representativa a la cantidad de aditivo suministrado (Cal), ya que a mayor aditivo mayor retención de agua.

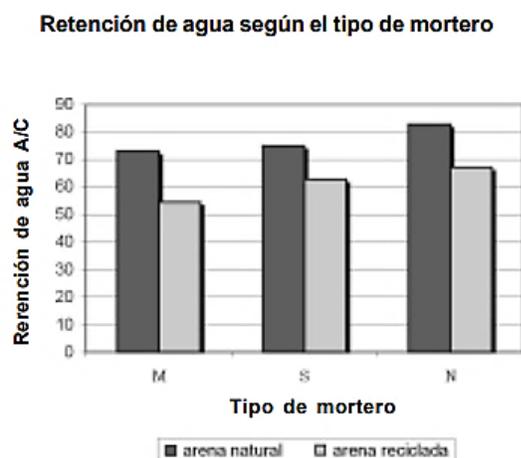


Figura 3. Grafica comparativa de la retención de agua obtenida según el tipo de mortero.

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

- **Resistencia a la compresión.**

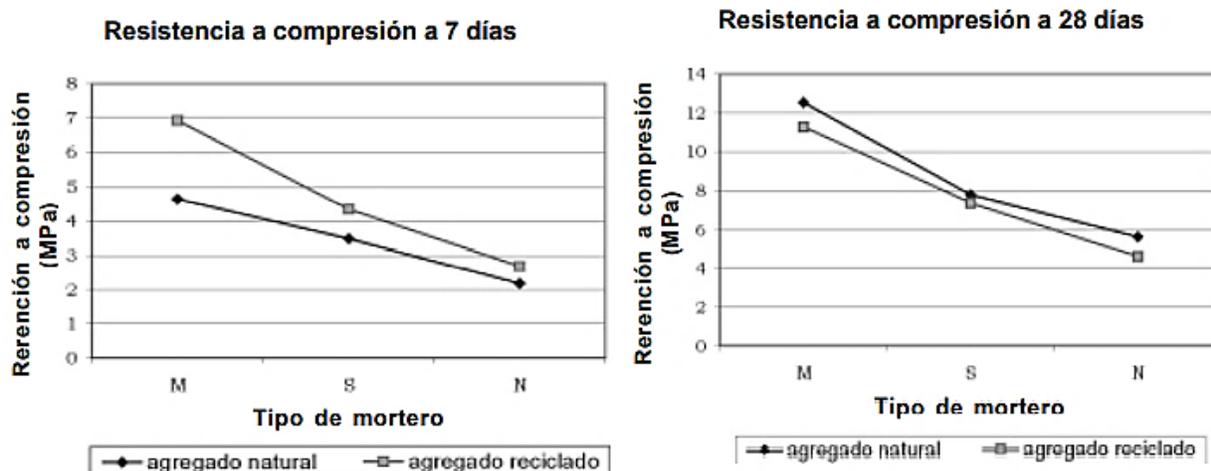


Figura 4. Grafica comparativo de las resistencias a la compresión obtenidas a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

Se puede ver en las gráficas que la resistencia a la compresión de las mezclas elaboradas con áridos de reciclaje a los 7 días de curado es mayor en un 30% aproximadamente a las mezclas elaboradas con áridos o agregados naturales, a diferencia de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado, ya que es mayor la resistencia a la compresión en las mezclas elaboradas con árido natural aproximadamente en un 10% a los morteros con árido de reciclaje, cabe resaltar que los resultados dados en la resistencia a los 28 días de curado son inferiores a los exigidos por la Norma Colombiana.

- **Resistencia a la adherencia**

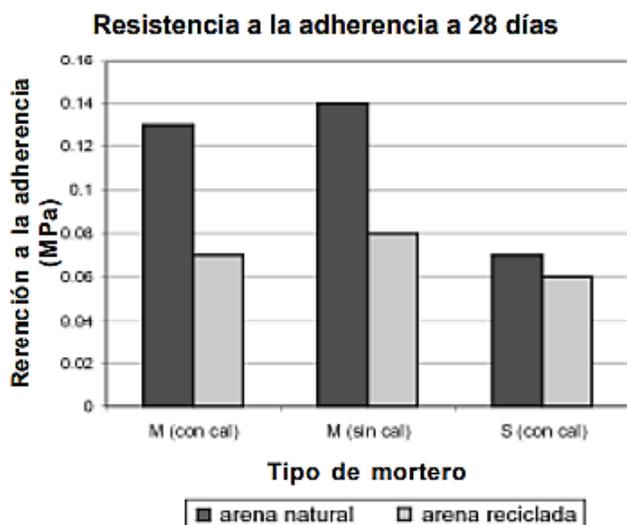


Figura 5. Grafica comparativo de resistencias a la adherencia obtenida a los 28 días de curado.

Fuente: (Hincapie Henao & Aguja Lopez, 2003).

La adherencia en los morteros con agregado natural presentan un mejor desempeño que las elaboradas con agregados de reciclaje arrojando una diferencia entre ellas de hasta un 45% - 50%, Se puede apreciar en la gráfica que la resistencia a la adherencia para un mortero tipo M es mayor en morteros con áridos naturales y sin presencia de aditivos (cal) obteniendo un valor

entre 0.13 MPa y 0.14 MPa y para los morteros elaborados con árido sin presencia de aditivos se obtiene una resistencia a la adherencia entre 0.07 - 0.08 MPa.

### **3.1.2 Morteros de construcción compuestos con hormigón triturado de RCD como agregado fino.**

En el año 1997, en Cuba, (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997), realizan una investigación “MORTEROS DE ALBAÑILERÍA CON ESCOMBROS DE DEMOLICIÓN”. En donde su objetivo principal es preparar y estudiar morteros de albañilería empleando como agregado árido reciclado y así mismo analizar su efectividad técnica, económica, el impacto social y ecológico que proporcionaría a la sociedad. En la que obtuvo como resultado que el árido proveniente de los escombros de demolición reciclado es adecuado para la elaboración o producción de morteros, debido a que presentan un comportamiento similar al agregado natural. En el campo de la industria y la economía dan resultados favorecidos debido a que, al emplear áridos provenientes del reciclaje, tiene como resultado ventajas como reducir el transporte y el uso de energía en la producción de áridos y componentes. A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997).

- **Dosificación empleada**

**Tabla 17**

*Dosificación utilizada para la elaboración de los ensayos*

<b>C</b>	<b>A</b>
1	4
1	5
1	6
1	8

Fuente: (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997).

- **Granulometría**

**Tabla 18**

*Análisis granulométrico del árido de reciclaje (% que pasa)*

<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Aresco</b>	<b>Esp. NC 54 - 125:78</b>
4.76	92.2	90 - 100
2.38	82.4	80 - 100
1.19	61.8	50 - 85
0.59	35.8	25 - 60
0.295	15	10 - 30
0.149	7	2 - 10

Fuente: (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997).

Los valores obtenidos en los porcentajes que pasa por los respectivos tamices, son adecuados para la producción de morteros de albañilería, ya que los valores obtenidos son similares a los áridos de cantera y también cumplen con lo estipulado en la Normatividad Cubana (NC54 – 125:78).

- **Propiedades físico-mecánicas**

**Tabla 19***Resistencia a la flexión y compresión*

Dosif. Vol.	Flexión (MPa)			Compresión (MPa)		
	7 d	28 d	60 d	7 d	28 d	60 d
1 : 4	2.60	2.63	3.06	4.47	11.11	14.51
1 : 5	1.01	2.59	2.86	3.36	9.26	11.43
1 : 6	0.92	1.84	2.04	2.73	6.69	9.14
1 : 8	0.69	1.37	1.52	1.67	4.29	5.77

Fuente: (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997).

Las propiedades físico-mecánicas más bajas obtenidas son las dadas por los morteros realizados con una dosificación de 1:8, con respecto a la resistencia a la compresión según la Normatividad Cubana (NC 52-79:93) se puede concluir que las dosificaciones estudiadas a excepción de los morteros 1:8 son morteros de albañilería Tipo II Y III. El mortero con dosificación 1:8 es un mortero Tipo I.

Según lo recomendado por los investigadores, estos morteros de albañilería pueden ser utilizados en:

- ✓ **Mortero Tipo I**

- Colocación de losetas hidráulicas y baldosas de terrazo.
- Repello fino sobre resano interior.

- ✓ **Mortero Tipo II y III**

- La colocación de ladrillos o bloques (exterior).

- Resano y repello grueso.
- Repello fino sobre resano exterior.
- Colocación de losas de azotea.
- Colocación de rodapiés y azulejos.

- **Resistencia a la adherencia**

**Tabla 20**

*Resistencia a la adherencia de las dosificaciones ensayadas*

Dosif. Vol.	Fuerza aplicada		R (MPa)	Lugar de rotura	Resultados		
	BAR	N			x	Min	Max
1 : 4	20	1550	0.52	BM	0.54	0.41	0.63
	20	1550	0.52	BM			
	19	1500	0.5	BM			
	24	1900	0.63	BM			
	24	1240	0.63	BM			
	16	1240	0.41	R			
	22	1640	0.55	BM			
1 : 5	20	1550	0.52	M	0.51	0.41	0.63
	20	1550	0.52	M			
	24	1900	0.63	M			
	18	1400	0.47	M			
	20	1550	0.52	BM			
	16	1240	0.41	BM			
	20	1550	0.41	M			
	18	1400	0.47	M			
1 : 6	12	900	0.3	BM	0.38	0.30	0.41
	14	1100	0.37	M			
	14	1100	0.37	BM			
	14	1100	0.37	M			
	14	1100	0.37	M			
	16	1240	0.41	M			
	16	1240	0.41	M			
	16	1240	0.41	BM			

Fuente: (ALVAREZ CABRERA, URRUTIA, LECUSAY, & FERNÁNDEZ, 1997).

“Tabla 20” “Continuación”

	12	900	0.3	BM			
	13	1000	0.33	BM			
	15	1150	0.38	BM			
1 : 8	14	1100	0.37	M	0.33	0.30	0.38
	12	900	0.3	BM			
	13	1000	0.33	M			
	12	900	0.3	BM			
	12	900	0.3	BM			

Las resistencias a la adherencia obtenida en todas las dosificaciones estudiadas lograron resultados positivos, ya que las resistencias obtenidas en cada uno de ellos están dentro de los valores mínimos y máximos de cada dosificación.

### **3.1.3 Afectación en las propiedades del mortero fabricado con agregados provenientes de RCD, bajo la implementación y exposición de cloruros.**

En el año 2020, en Bogotá Capital de Colombia, (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020), realizan una investigación como proyecto de grado “INFLUENCIA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN (RCD) PROVENIENTES DE CONCRETO EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y AL ATAQUE DE CLORUROS EN MORTEROS DE CEMENTO HIDRÁULICO”. En donde su objetivo principal es determinar la influencia de los residuos de construcción y demolición (RCD) susceptibles de aprovechamiento provenientes de residuos pétreos no contaminados, más exactamente de concreto en el comportamiento mecánico y la durabilidad en la relación a la penetración de cloruros en muestras de mortero. En la que obtuvieron como resultado que el remplazo de árido en las muestras de mortero como agregado

fino muestran una mejor influencia si se consideran porcentajes bajos de remplazo en el agregado, así mismo al aumentar al porcentaje de contenido del árido RCD en el mortero, disminuye significativamente la resistencia a la compresión, aumenta el coeficiente de difusión lo que ocasiona que el cloruro penetre de forma más rápida en el mortero. Lo que puede resultar ser una desventaja para la implementación de este método debido a que disminuye las propiedades mecánicas del mortero.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

- **Densidad, consistencia y resistencia del cemento.**

Para determinar estas características del cemento y todas las propiedades del mortero fue necesario realizar tres pruebas y así escoger el mejor resultado de las mismas, escogiendo como mortero de referencia aquella muestra que no contiene en su mezcla árido de reciclaje, es decir donde su porcentaje e sustitución es cero.

**Tabla 21**  
*Resultado densidad del cemento*

<b>Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del cemento (g)	64	64	64
Volumen inicial liquido (cm <sup>3</sup> )	0	0	0
Volumen final liquido (cm <sup>3</sup> )	21.2	21.5	21
Temperatura (°C)	21	21	21
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	3.02	2.98	3.05

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La densidad del cemento se determinó según lo descrito por la NTC 221 (método de ensayo para determinar la densidad del cemento hidráulico), esto con el fin de que al combinarlo con los áridos de reciclaje se puedan obtener características que aporten a las propiedades del mismo.

**Tabla 22**  
*Resultado consistencia del cemento*

<b>Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Volumen de agua (ml)	240	250	260
Peso de agua (g)	240	250	260
Peso de cemento (g)	650	650	650
Lectura inicial, Li (mm)	0	0	0
Lectura final, Lf (mm)	4	9	14
Penetración (mm)	4	9	14

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La consistencia del cemento se determinó según lo descrito por la NTC 110C (consistencia normal del cemento hidráulico).

**Tabla 23**  
*Resultados resistencia a la compresión del cemento*

<b>Resistencia</b>	
Resistencia a 3 días (MPa)	9.0
Resistencia a 7 días (MPa)	16.0
Resistencia a 28 días (MPa)	26.0

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La resistencia del cemento se determinó según lo descrito por la NTC 220.

- **Granulometría**

Para lograr obtener dicho material de ensayo fue necesario utilizar la máquina de los ángeles para obtener del agregado grueso agregados ligeramente finos.

**Tabla 24**  
*Resultado del análisis granulométrico RCD*

<b>Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>% Retenido</b>	<b>%Retenido acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
3/8"	9.510	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	54.50	6.17	6.17	93.83
#8	2.380	280.00	31.72	37.90	62.10
#16	1.190	175.30	19.86	57.76	42.24
#30	0.595	114.60	12.98	70.75	29.25
#50	0.297	117.70	13.34	84.08	15.92
#100	0.190	81.10	9.19	93.27	6.73
Fondo	-	59.40	6.73	100	0.00
<b>Total</b>		<b>882.60</b>	<b>100</b>		

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La granulometría elaborada bajo la NTC 77 (método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos), como se puede apreciar en la tabla el mayor porcentaje retenido está en el tamiz #8 con un valor de 31.72%, obteniendo mayor porcentaje de partículas entre 2.38 y 4.76 mm de diámetro.

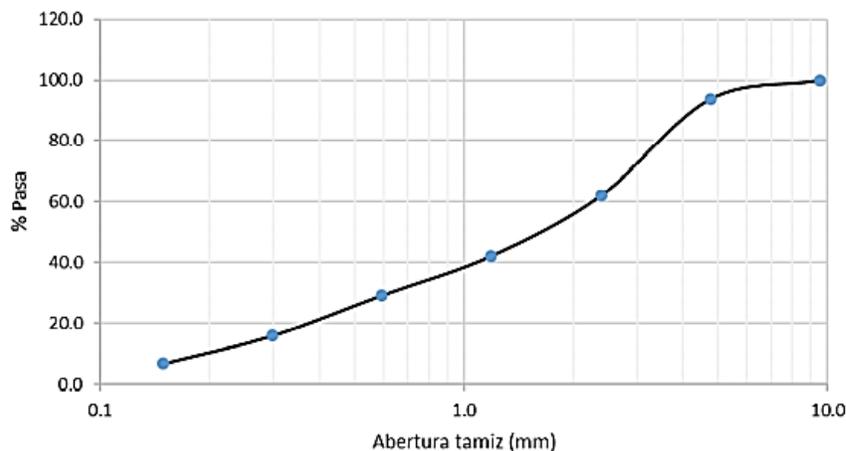


Figura 6. Curva de gradación de los áridos de RCD.

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

- **Propiedades físicas del árido**

**Tabla 25**

*Resultados de densidad y absorción de los áridos de RCD*

<b>Densidad y absorción</b>	
Peso Húmedo (g)	989.4
Peso Seco (g)	910.2
Absorción (%)	8.7
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.08

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La densidad y absorción se determinó según lo descrito por la NTC 237 (método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino), al igual que los resultados obtenidos por otros autores el porcentaje de absorción del árido de reciclaje es mucho mayor que la del árido natural.

- **Masa unitaria**

**Tabla 26**

*Resultados de masa unitaria suelta y compactada del árido*

<b>Masa unitaria Suelta y compactada</b>	
MUS (g/cm <sup>3</sup> )	1.23
MUC (g/cm <sup>3</sup> )	1.34

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

La masa unitaria se determinó según lo descrito por la NTC 092 (método para determinar la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados).

- **Diseño de mezclas estudiadas.**

Los ensayos realizados se desarrollaron con la implementación o sustitución de agregado natural por agregado reciclado en la mezcla, con sustituciones de 0%, 16.7%, 33.3% y 50%, obteniendo así 4 tipos de diseños a analizar y así optimizar cuál de los 4 obtiene resultados más representativos o similares a las de un mortero convencional. Estas muestras se dan por las proporciones señaladas por la NTC 220 (Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico)

**Tabla 27***Mortero con una sustitución de 0% de arena RCD*

<b>Diseño de mezcla 1</b>	
<b>0% RCD</b>	
<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Cemento	3.80
Agua	1.84
Arena	10.45
RCD	0.00

Fuente: (Rojas Santander &amp; Olaya Madiedo, 2020).

**Tabla 28***Mortero con una sustitución de 16.7% de arena RCD*

<b>Diseño de mezcla 2</b>	
<b>16.7% RCD</b>	
<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Cemento	3.80
Agua	1.84
Arena	8.67
RCD	1.78

Fuente: (Rojas Santander &amp; Olaya Madiedo, 2020).

**Tabla 29***Mortero con una sustitución de 33.3% de arena RCD*

<b>Diseño de mezcla 3</b>	
<b>33.3% RCD</b>	
<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Cemento	3.80
Agua	1.84
Arena	7.00
RCD	3.45

Fuente: (Rojas Santander &amp; Olaya Madiedo, 2020).

**Tabla 30**  
*Mortero con una sustitución de 50% de arena RCD*

<b>Diseño de mezcla 4</b>	
<b>50% RCD</b>	
<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>
Cemento	3.80
Agua	1.84
Arena	5.22
RCD	5.22

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

- **Resistencia a la compresión.**

**Tabla 31**  
*Resultados de resistencia a la compresión*

<b>Contenido de RCD</b>	<b>0%</b>		<b>16.70%</b>		<b>33.30%</b>		<b>50%</b>	
	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>						
muestra 1	17.46	29.95	16.59	26.87	16.16	26.05	15.26	23.89
muestra 2	18.12	27.77	17.22	27.58	15.81	25.81	14.55	23.42
muestra 3	17.38	26.52	16.44	25.65	15.46	25.07	14.59	24.36
Promedio	17.65	28.08	16.75	26.70	15.81	25.64	14.80	23.89

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

A partir de lo anterior, se considera que la resistencia a la compresión en las 4 mezclas evaluadas, para cada una de ellas el desarrollo de la resistencia disminuyó. Las muestras para los días evaluados, presentaron una resistencia óptima, tanto para los 7 como para los 28 días, en ninguno de los casos se vio favorable el reemplazo de contenido de RCD. Adicionalmente, es

evidente que la resistencia de las mezclas es inversamente proporcional, quiere decir que a menor porcentaje de RCD mayor resistencia. (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

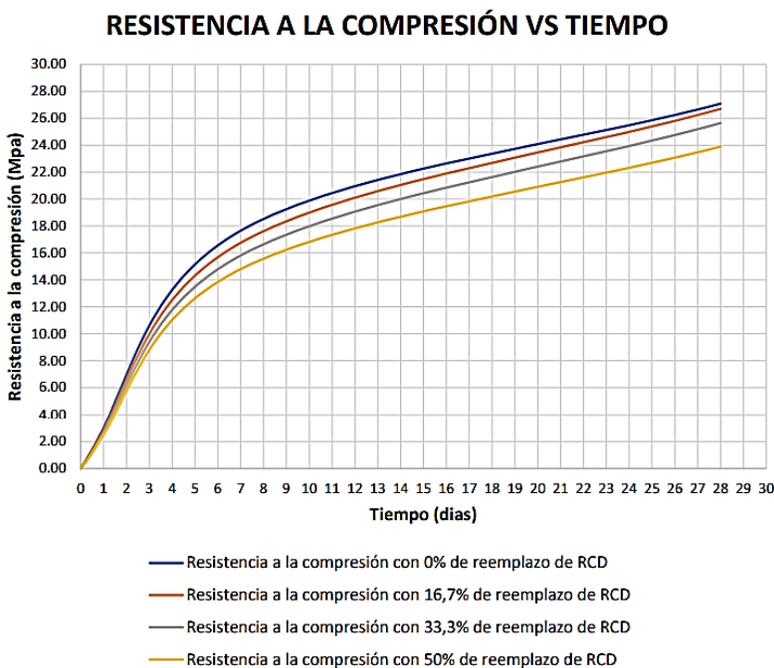


Figura 7. Grafica de curva de resistencia a la compresión según el tiempo de curado.

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

En la anterior grafica se puede observar que la muestra de referencia con 0% de RCD tiene mayor resistencia a la compresión en comparación de las otras muestras que tienen incorporación de árido de reciclaje en su mezcla, mostrando también que a mayor sustitución de árido menor es su resistencia a la compresión, es decir la mezcla con 50% de árido de reciclaje de RCD es la muestra con resultados más desfavorables, ya que obtiene la menor resistencia con respecto a la mezcla de referencia. Sin embargo, para todas las mezclas la resistencia a compresión aumento en función del tiempo, no muestran ningún comportamiento deficiente entre los 7 y 28 días de curado.

Pese a estos resultados no tan favorables se puede llegar a un buen resultado, manteniendo un comportamiento eficiente para la práctica.

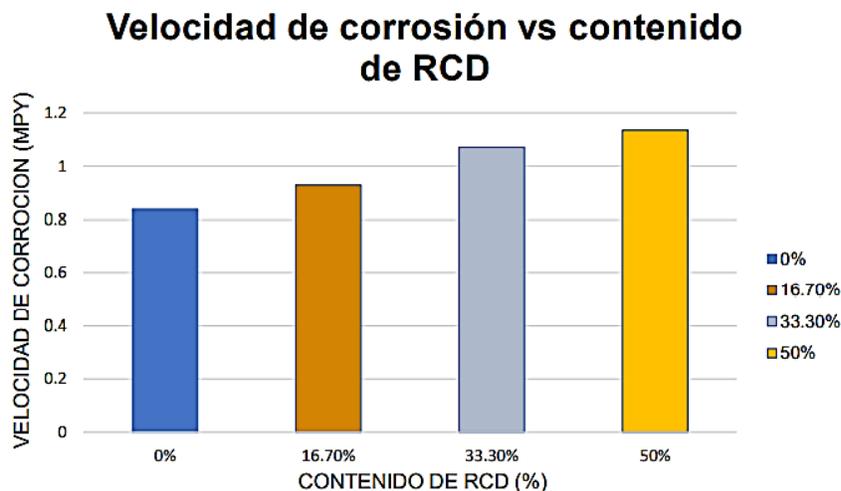


Figura 8. Grafica de velocidad de corrosión para cada tipo de mezcla.

Fuente: (Rojas Santander & Olaya Madiedo, 2020).

En la anterior figura a diferencia de lo observado en la figura 7, se obtiene que, a mayor sustitución de árido de reciclaje, mayor va a ser la velocidad de corrosión, existe una relación inversa entre la densidad de corriente de corrosión y la resistencia a la polarización, ya que con el aumento de la resistencia a la polarización disminuye la densidad de corriente.

### **3.1.4 Análisis de diferentes residuos utilizados como agregados, para la implementación del mortero reciclado.**

En el año 2017, en Madrid España, (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejeda, 2018), realizan una investigación “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA

INFUENCIA DE TRES TIPOS DE FIBRA EN LA CONTRACCIÓN DEL MORTERO RECICLADO”. En donde su objetivo principal es estudiar la retracción de los morteros elaborados con arena reciclada proveniente del hormigón, para mejorar el comportamiento de los morteros reciclados en cuanto a variación dimensional.

En la que obtuvieron como resultado que los áridos obtenidos de la trituración del hormigón tienen menor densidad, mayor coeficiente de friabilidad y mayor absorción de agua en comparación al mortero convencional, presentando partículas de tamaño continuo lo que mejora la trabajabilidad y propiedades mecánicas de los morteros.

Mediante la incorporación de tres tipos de fibras pudieron detallar que durante la elaboración de la mezcla se reduce considerablemente la contracción de los morteros con agregados de reciclaje, obteniendo así valores similares al del mortero convencional, también la adición de fibras mejora las características mecánicas del mortero (resistencia a la flexión y compresión), lo que debido a estos resultados obtenidos los hace aptos para implementarlos en morteros de albañilería.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Saiz Martínez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejeda, 2018).

- **Propiedades físicas de las fibras a ensayar como aditivo**

**Tabla 32**  
*Característica de las fibras*

Tipo de fibra	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Módulo de elasticidad (GPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Acero	30	0.5	200	1100	7.80
Vidrio	12	0.013	72	1950	2.68
Polipropileno	12	0.034	5	450	0.91

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejeda, 2018).

Para la elaboración de las mezclas de mortero, buscando resultados óptimos y favorables para el uso de residuos de construcción y demolición en morteros de albañilería, a veces es necesario la incorporación de aditivos que favorezcan las propiedades del mortero, en mejoras de resistencia a la flexión y compresión, para analizar y estudiar esto se utilizaron tres tipos de fibras (acero, vidrio y polipropileno), utilizando para cada tipo de mortero porcentajes de fibra, vidrio (0.2%-0.3%), acero (0.5%-1%) y polipropileno (0.1%-0.2%), esta cantidad se determinó teniendo en cuenta las características mostradas en la tabla #, también para estas muestras de ensayo se consideró el 1% del peso del cemento en cantidad de aditivo superplastificante Glenium Sky 604 de BASF Company, con el fin de mejorar la consistencia de los morteros de reciclaje. Por otro lado, se puede observar en la tabla que el módulo de elasticidad y la densidad es mayor en la fibra de acero y la resistencia a la tracción es mayor en la fibra de vidrio.

- **Dosificación**

**Tabla 33***Dosificación en la elaboración de mezclas de mortero*

Tipo de mezcla	Relación agua / cemento		Fibra de acero (%)	Fibra de vidrio (%)	Fibra de Polipropileno (%)
	1 : 3	1 : 4			
N/A	0.55	0.62	-	-	-
RA	0.68	0.89	-	-	-
RA - SF - 0.5%	0.68	0.89	0.5	-	-
RA - SF - 1%	0.68	0.89	1	-	-
RA - FB - 0.2%	0.68	0.89	-	0.2	-
RA - FB - 0.3%	0.68	0.89	-	0.3	-
RA - FP - 0.1%	0.68	0.89	-	-	0.1
RA - FP - 0.2%	0.68	0.89	-	-	0.2

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejeda, 2018).

N/A = Agregado Natural

RA = Agregado reciclado de concreto

SF = Fibra de acero

FP = Fibra de polipropileno

FB = Fibra de vidrio.

Es recomendable para obtener un mejor resultado en la consistencia plástica de los morteros elaborados con áridos de reciclaje (RA) aumentar la relación agua cemento, ya que estos áridos contienen mayor porcentaje de absorción de agua durante el proceso de mezclado, para este ensayo se consideró un diámetro de mortero de consistencia en el rango  $175 \pm 10$ mm, según la norma europea UNE-EN 1015-2: 1998.

- **Granulometría**

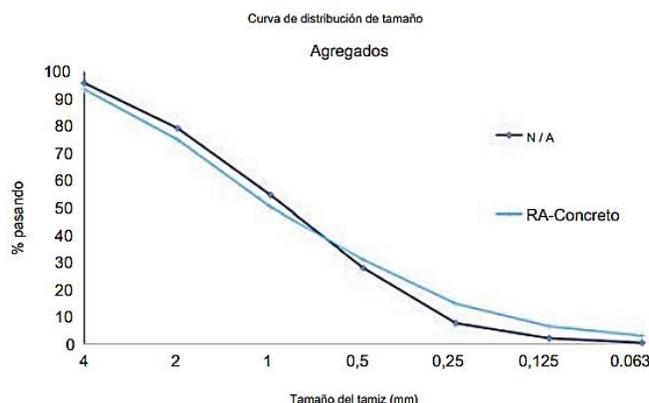


Figura 9. Grafica de curva granulométrica.

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejada, 2018).

El resultado de una buena trabajabilidad, dureza, durabilidad y compacidad, dependen de una buena distribución granulométrica, por lo tanto, en la granulometría de las partículas retenidas, no se tuvo en cuenta el material retenido en el tamiz de 4mm y el material que pasaba por el tamiz 0.063 mm, se elimina la fracción muy gruesa y la fracción muy fina del agregado, ya que la gruesa da mayor porosidad en el mortero endurecido y la fina requiere de mayor cantidad de agua.

- **Propiedades de los Áridos**

**Tabla 34**

*Característica de los áridos*

Prueba	Módulo de finura (%)	Friabilidad (%)	Absorción de agua (%)
RCA	4.28	24.12	6.01
N/A	4.25	22.63	0.95

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejada, 2018).

Los valores obtenidos en las características de los áridos reciclados cumplen con las características de un árido para uso de morteros de albañilería en cuanto a su tamaño y el límite máximo de módulo de finura, por otro lado, los valores de absorción de agua de los áridos de reciclaje son mucho más altos que los de un árido natural provocando así una mayor contracción en los morteros elaborados con RCD.

En cuanto al porcentaje de friabilidad a pesar de que la diferencia no es tan alta entre un árido natural y uno de reciclaje, da un impacto negativo en la implementación de este árido, ya que el deterioro del mismo es mayor que el que usualmente se da en el mortero convencional.

### • Contracción

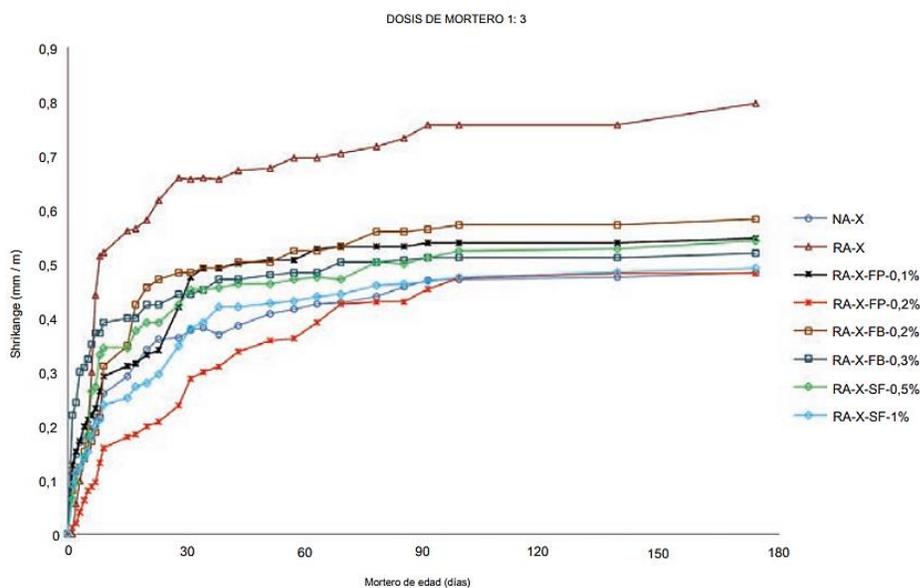


Figura 10. Grafica contracción para morteros de 1:3.

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejada, 2018).

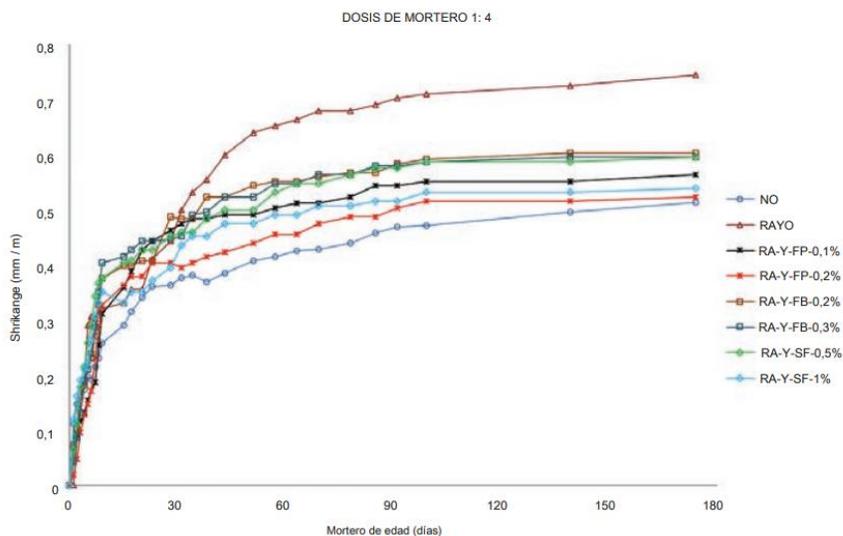


Figura 11. Grafica contracción para morteros de 1:4.

Fuente: (Saiz Martinez, Ferrandez Vega, Moron Fernandez, & Payan de Tejada, 2018).

La contracción en los morteros de reciclaje tanto para la dosificación 1:3 y 1:4 es mayor en los morteros que tienen presencia de áridos de reciclaje, esto se da debido al mayor porcentaje de absorción que estos áridos de reciclaje tienen, también se puede observar que el uso de fibras reduce los resultados de contracción en los morteros reciclados, especialmente las mezclas que tenían incorporación de fibras de vidrio, así mismo se puede observar que los morteros con áridos de reciclaje y la incorporación de un 0.2% de polipropileno son lo que tienen mejor contracción.

### 3.1.5 Estudio de las propiedades del mortero de albañilería con la adición de agregados provenientes de la trituración de escombros de hormigón.

En el año 2007, en España, (Vegas I., Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009), realizan una investigación “DISEÑO Y PRESTACIONES DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA

ELABORADOS CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE ESCOMBRO DE HORMIGÓN”. En donde su objetivo principal es estudiar las características químicas y físico-mecánicas de los áridos reciclados.

En la que obtuvieron como resultado que las propiedades o características de los áridos procedentes de los escombros particularmente del hormigón, empleadas en la elaboración de mortero, resultan ser de una alta absorción de agua y un elevado contenido de sulfatos, en comparación con el mortero convencional; lo que suele ser una desventaja, ya que a mayor absorción mayor cantidad de agua, lo que provoca la presencia de grietas y fisuras en el mortero ya seco.

Una vez realizado diferentes ensayos con varias dosificaciones consideran que para cumplir con las características del mortero de albañilería es recomendable utilizar o incorporar a la mezcla como máximo un 25% de áridos de reciclaje. Por otro lado, el uso del árido fino de reciclaje en morteros será más ligero que en el mortero convencional, debido a que la densidad del mortero con estos áridos es más baja que cuando se usa el árido natural.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).



*Figura 12.* Recolección de escombros y trituración.  
Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

- **Resistencia a la compresión del árido extraído.**

**Tabla 35**  
*Resistencia de 6 muestras de árido de reciclaje*

<b>Muestras</b>	<b>Resistencia a compresión (MPa)</b>
FRH - 1 (1)	19.3
FRH - 1 (2)	40.3
FRH - 2 (1)	19.8
FRH - 2 (2)	10.8
FRH - 3 (1)	30.6
FRH - 3 (2)	16.6
FRH - 4 (1)	22.5
FRH - 5 (1)	16.2
FRH - 6 (1)	17.3
Promedio	21.5

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

Dónde: FRH = Árido de reciclaje y FN = Árido natural.

En esta tabla esta la resistencia a la compresión de 9 muestras, muestras que fueron recolectadas en tiempos diferentes en el proceso de trituración, optando por partículas con 75 mm de diámetro, se concluye con estos resultados que los escombros o residuos de hormigón utilizados para desarrollar esta investigación son de baja calidad, lo cual afecta la resistencia a la compresión arrojando valores en su mayoría no mayores a 20 MPa.

Para la elaboración del mortero de ensayo se consideró el árido de reciclaje FRH-6, obteniendo en laboratorio partículas menores a 5 mm, ajustándose a los requerimientos de tamaño máximo de arena utilizados en empresas de mortero en Europa.

- **Características físico-mecánico del cemento.**

**Tabla 36**  
*Características físico mecánicas del cemento*

<b>Características físicas</b>	
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	3.04
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3693
Inicio de fraguado	190
Fin de fraguado	273
<b>Características mecánicas</b>	
Compresión a 2 días (MPa)	31.7
Compresión a 28 días (MPa)	58.1

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

- **Propiedades físicas del árido de reciclaje.**

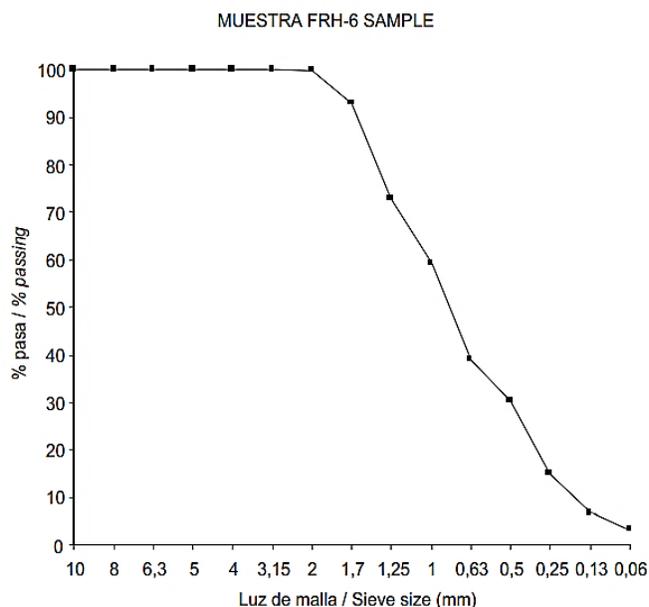


Figura 13. Curva granulométrica de la muestra FRH-6.

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

**Tabla 37**

*Característica del árido fino reciclado*

Características	Muestra						
	FN	FRH-1	FRH-2	FRH-3	FRH-4	FRH-5	FRH-6
Porcentaje de finos (%)	11.14	2.66	3.47	3.26	6.71	5.12	6.4
Equivalente de arena (%)	76	71	74	69	67	73	45
Azul de metileno (gr/kg)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	0.5
Densidad real de muestra seca (g/cm <sup>3</sup> )	2.67	1.63	2.11	2.14	2.13	1.98	2.2
Absorción de agua (%)	0.34	7.6	8.09	6.73	7.84	6.65	7.18
Coefficiente de friabilidad (%)	22	26	25	34	23	26	23.9
Compuestos de azufres totales (%SO <sub>3</sub> )	<0.20	0.82	0.71	7.55	1.56	1.1	1.53
Sulfatos solubles en acido (%SO <sub>3</sub> )	<0.10	0.67	0.51	7.05	1.41	0.76	1.24
Cloruros solubles en agua (%Cl)	0.0009	0.0035	0.0025	0.005	0.0037	0.0037	0.0056

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

Se puede observar que los valores obtenidos de las propiedades físicas de los áridos de reciclaje y el árido natural, que el porcentaje de fino, el porcentaje equivalente de arena y la densidad real de la muestra seca es mayor para el mortero convencional que para el mortero de reciclaje. La densidad de la muestra seca es similar para todos los áridos, dando más cercano al valor del árido natural el árido FRH-6, al tener menor densidad en seco el mortero es más ligero.

El porcentaje de absorción es mucho mayor en los áridos de reciclaje, esta característica influye en la trabajabilidad, en las propiedades mecánicas del mortero, y que al momento de que el árido absorbe ligeramente el agua pueden crear huecos o vacíos en el interior del mortero, por esta razón se establece para la mezcla un porcentaje de árido natural con árido reciclado.

- **% de sustitución de arena natural por arena de reciclaje**

**Tabla 38**  
*Dosificación del mortero*

Árido natural / Árido reciclaje FN / FRH6	Cemento (%)	Árido natural (%)	Árido reciclaje (%)
100 / 0	9	91	0
90 / 10	9	81.9	9.1
80 / 20	9	72.8	18.2
75 / 25	9	68.2	22.8
50 / 50	9	45.5	45.5
25 / 75	9	22.8	68.2
0 / 100	9	0	91

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

- **Absorción**

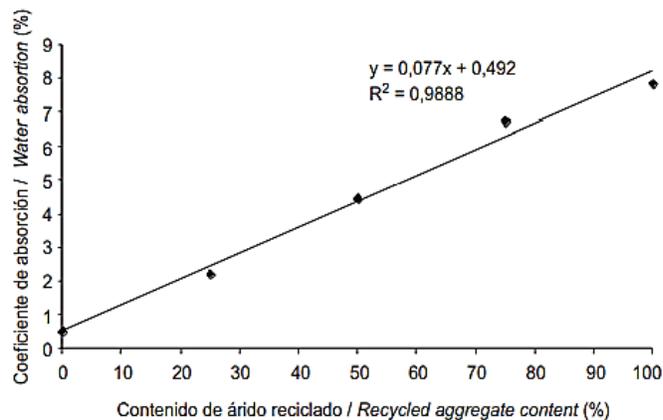


Figura 14. Porcentaje de absorción según el porcentaje de sustitución de árido reciclado.

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

En la figura 14 se puede observar que, a mayor cantidad de árido de reciclaje en la mezcla, mayor va a ser el porcentaje de absorción, no es recomendable que una mezcla contenga mucha agua, ya que esto puede ocasionar la presencia de grietas y fisuras en la pasta de mortero, para controlar esto se considera el uso de un aditivo que actúe como un airante o un plastificante (reductor de agua).

- **Consistencia, densidad y resistencias mecánicas**

**Tabla 39**

*Resultados de consistencia, resistencia a la flexión y compresión*

Tipo	H <sub>2</sub> O (g)	Consistencia (mm)	Densidad Fresco (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la flexión (MPa)		Resistencia a la compresión (MPa)		Densidad endurecido (g/cm <sup>3</sup> )
				7 días	28 días	7 días	28 días	
100 / 0	13.5	181	2.2129		3.6	8.28	13.92	2.017

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

“Tabla 39” “Continuación”

90 / 10	14.0	177	2.1502	1.61	3.09	6.03	11.21	1.966
80 / 20	14.75	180	2.1071	1.61	2.55	5.37	9.24	1.919
75 / 25	15.0	179	2.0915	1.40	2.53	4.93	9.17	1.885
50 / 50	17.5	182	1.9232	0.83	1.44	2.58	5.11	1.726
25 / 75	21	178.5	1.8354	0.51	0.92	1.53	3.10	1.590
0 / 100	22.5	173	1.7131	0.4	0.64	1.10	2.13	1.462

La densidad en estado endurecido disminuye al agregar en la mezcla árido de reciclaje, se observa que a mayor porcentaje de árido de reciclaje menor será su densidad, así mismo para la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión del mortero.

Sobre la base de los resultados obtenidos para los morteros de albañilería base cemento, se selecciona un máximo de sustitución de un 25% como máximo. A partir de dicho porcentaje de sustitución, se penaliza considerablemente la pérdida de resistencias. Para compensar dicha pérdida sería necesario una mayor cantidad de cemento, lo que encarecería considerablemente el precio del producto final. (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009)

- **Propiedades del mortero convencional y mortero de ensayo**

**Tabla 40**

*Caracterización de mortero tipo M5 y mortero 75/25*

Características	Mortero de referencia	Mortero con 25% de árido reciclado
Consistencia (mm)	174	178
Aire ocluido (%)	12.1	12

Fuente: (Vegas I. , Azkarate, Juarrero, & Frías, 2009).

“Tabla 40” “Continuación”

Densidad en fresco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.98	1.96
Retención de agua (%)	87.87	89.29
Resistencia a flexión, a los 7 días (MPa)	1.37	1.63
Resistencia a compresión, a los 7 días (MPa)	4.07	5.37
Resistencia a flexión, a los 28 días (MPa)	2.36	3
Resistencia a compresión, a los 28 días (MPa)	7.55	10.03
Densidad en estado endurecido (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.79
Permeabilidad al vapor de agua (kg/m*s*Pa)	8.39*10 <sup>-12</sup>	9.54*10 <sup>-12</sup>
Coefficiente de absorción de agua por capilaridad (kg(m <sup>2</sup> *min <sup>0.5</sup> ))	0.585	0.739
Módulo de deformación longitudinal (MPa)	9941	10165
Durabilidad (%)	2.6	5.5

El mortero con 25% de árido de reciclaje muestra valores positivos, ya que presenta buenos resultados en las propiedades mecánicas y la trabajabilidad, aportando a la mezcla una mejor cohesión en el mortero con material RCD, por otro lado al comparar los resultados obtenidos se observa que las diferencias entre estos no son tan significativas, por lo que puede ser favorable el uso de material de residuos de construcción y demolición (hormigón) en la fabricación u elaboración de morteros de albañilería.

### **3.1.6 Comportamiento físico mecánico del mortero reciclado con residuos de hormigón.**

En el año 2015, en La Habana Cuba, (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martínez Herrera, 2015), realizan una investigación “PRESTACIONES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD DE MORTEROS ELABORADOS CON ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE HORMIGÓN”. En donde su objetivo principal es analizar las propiedades de morteros de albañilería y morteros estructurales, fabricados con áridos

reciclados provenientes de residuos de hormigón.

En la que obtuvieron como resultado que los morteros de albañilería y los morteros estructurales, elaborados con áridos reciclados presentan propiedades mecánicas menores a las de un mortero convencional, así mismo una menor durabilidad. Pese a esto los morteros de albañilería elaborados con áridos de material RCD cumplen con los valores mínimos estipulados por la normatividad cubana para uso de revestimiento sobre el nivel de terreno (contra piso) y para los morteros estructurales las propiedades mecánicas presentan resultados positivos, ya que los resultados obtenidos de un mortero estructural con árido de reciclaje son similares a los del mortero estructural con árido natural.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

- **Granulometría**

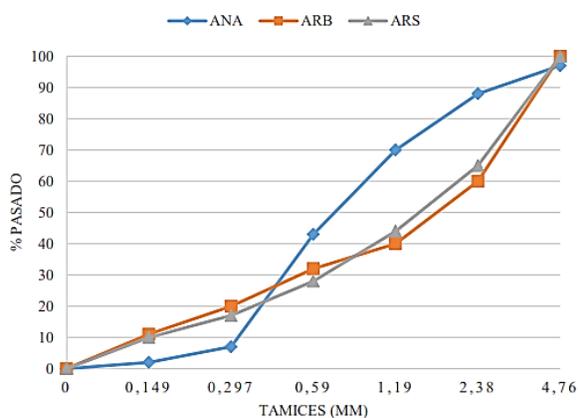


Figura 15. Curvas granulométricas.

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

Dónde: ANA = Árido natural proveniente de la cantera de Arimao; ARB = Árido proveniente de bloques de hormigón y ARS = Árido proveniente de losa Spiroll (losa de hormigón).

Las características de los áridos de reciclaje dependen del proceso de recolección y trituración del mismo, para esta investigación se utilizaron dos tipos de hormigón recolectado, hormigón proveniente de bloques (ARB) y hormigón proveniente de una losa Spiroll (ARS), estos escombros fueron expuestos o pasados por proceso de trituración obteniendo de la fracción gruesa partículas mayores de 4.76 mm. En cuanto a la granulometría de los tres tipos de áridos, se observa que el árido natural tiene un comportamiento discontinuo, tiene un porcentaje de partículas en los tamices de mayor diámetro que está entre los (2.38 mm y 1.9 mm) y un bajo porcentaje de partículas en los tamices menores obteniendo partículas finas entre los (0.297mm y 0.149 mm), en cambio para la distribución granulométrica de los áridos de reciclaje (ARB Y ARS) la curva tiende a ser continua, presentando mayores porcentaje de partículas finas que la del árido natural.

- **Propiedades físicas de los áridos**

**Tabla 41**

*Propiedades físicas de los áridos utilizados*

<b>Propiedades</b>	<b>ANA</b>	<b>ARB</b>	<b>ARS</b>
Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	2.6	2.36	2.1
Absorción de agua (%)	1.3	4.48	7.99
Peso unitario suelto (kg/dm <sup>3</sup> )	1.47	1.37	1.29
Módulo de finura	2.93	3.37	3.37
Partículas <0.074 mm (%)	1	9	9

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

Para determinar la densidad y la absorción de agua se siguió lo descrito por la norma cubana NC 177: 2002, obteniendo como resultado que la densidad del árido natural es mayor que la de los áridos de reciclaje y que el porcentaje de absorción es mayor para los áridos de reciclaje, donde el árido proveniente de losas de spiroll o hormigón son mucho mayor que los áridos provenientes de bloques de hormigón.

El módulo de finura es mayor en los áridos de reciclaje, esto no tiene ninguna afectación para que estos áridos sean utilizados como agregado para la elaboración de morteros de albañilería, ya que en la Habana han utilizado arenas con módulos de finura mayores a los expresados en la tabla 42.

- **Características de los morteros**

**Tabla 42**  
*Características de los morteros*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Árido</b>	<b>a/c</b>	<b>Aditivo (%)</b>
MAA	1 : 4 : 2	ANA	1.38	-
MAR-B	1 : 5 : 1	ARB	1.44	-
MAR-S	1 : 5 : 1	AES	1.39	-
MEA	1 : 2	ANA	0.4	0.3
MER-B	1 : 2	ARB	0.43	0.6
MER-S	1 : 2	ARS	0.41	0.5

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martínez Herrera, 2015).

Donde:

MAA = Nomenclatura para mortero de albañilería convencional.

MAR-B = Nomenclatura para mortero de albañilería con áridos proveniente de bloques de hormigón.

MAR-S = Nomenclatura para mortero de albañilería con áridos proveniente de bloques de losas de hormigón.

MEA = Nomenclatura para mortero estructural convencional.

MER-B = Nomenclatura para mortero estructural con áridos proveniente de bloques de hormigón.

MER-S = Nomenclatura para mortero estructural con áridos proveniente de bloques de losas de hormigón.

La norma cubana NC 175:2002 determina que para los morteros de albañilería convencional tipo III es necesario utilizar una dosificación de 1:4:2 (Cemento: arena: hidratado de cal), para esta investigación se optó por utilizar para los morteros de albañilería con áridos de reciclaje una dosificación de 1:5:1 (Cemento: arena: filler calizo). Trabajando para las tres muestras de morteros con una fluidez constante de  $190 \pm 5$  mm y la relación mínima de agua cemento, se observa en la tabla que el MAR-B tiene mayor relación de a/c en comparación a MAA Y MAR-S, pues la relación de a/c para estos es muy similar.

- **Propiedades del mortero en estado fresco**

**Tabla 43***Propiedades de los morteros en estado fresco*

<b>Mortero</b>	<b>Retención de agua (%)</b>	<b>Fluidez (mm)</b>
MAA	89.3	195
MAR-B	89.6	191
MAR-S	88.5	188
MEA	94.9	209
MER-B	95.4	211
MER-S	95.5	213

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

Los resultados obtenidos del porcentaje de retención de agua para los morteros de albañilería son negativos, ya que según la norma cubana 175:2002 recomienda para este un porcentaje mínimo de un 90% y los resultados obtenidos están por debajo de ese valor; También se obtiene que a mayor % de retención de agua mayor será la fluidez del mortero.

- **Propiedades mecánicas del mortero**

**Tabla 44***Propiedades mecánica de los morteros a los 28 días de curado*

<b>Mortero</b>	<b>Resistencia a flexión (MPa)</b>	<b>Resistencia a compresión (MPa)</b>	<b>Adherencia</b>
MAA	2.9	9	0.51
MAR-B	1.9	7.7	0.8
MAR-S	1.9	7.4	0.7

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

“Tabla 44” “Continuación”

MEA	7.3	49.6	1.10
MER-B	6.7	46.7	1.16
MER-S	7.7	46.8	1.08

La resistencia a flexión y compresión del motero de referencia (convencional) es mayor que la obtenida por los morteros de áridos reciclados, pero esto no infiere en que los valores obtenidos de estas dos propiedades no sean aceptables pues la disminución no es significativa. En cuanto a la adherencia de los morteros de albañilería es mayor en los morteros con áridos reciclados.

- **Absorción**

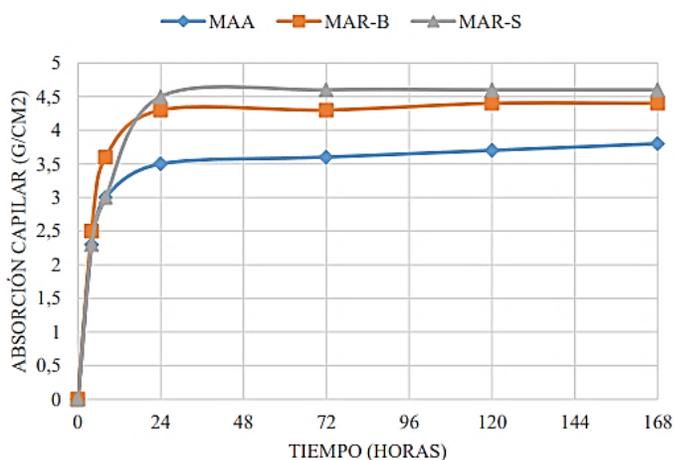


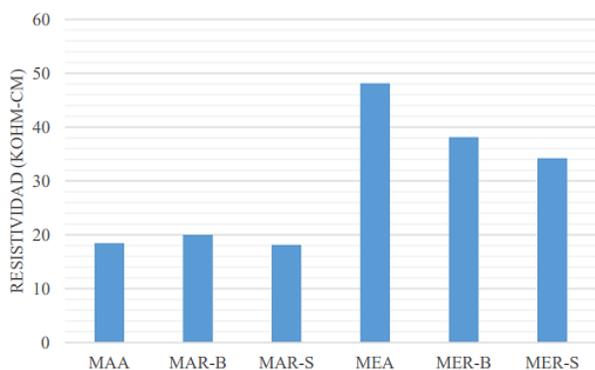
Figura 16. Absorción capilar de los áridos a ensayar.

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

Se puede apreciar en la figura que los morteros convencionales tienen un comportamiento en la absorción similar a los morteros con material RCD hasta las 6 horas de curado, luego se

evidencia o se muestra un comportamiento brusco en el que el porcentaje de absorción es mayor entre 1 y 1.5 g/cm<sup>2</sup> mas en los morteros con áridos de reciclaje; Se obtiene también que el porcentaje de absorción de los morteros elaborados con bloques de hormigón son mayores a los morteros elaborados con losas de hormigó una diferencia entre ellos de 0.5 g/cm<sup>2</sup> . Para MAA se obtiene un porcentaje a la absorción de 3.8 g/cm<sup>2</sup> , para MAR-B un porcentaje de absorción de 4.4 g/cm<sup>2</sup> y para MAR-S un porcentaje de absorción de 4.6 g/cm<sup>2</sup> a la edad de 168 horas de curado es decir 7 días.

- **Resistencia eléctrica**



*Figura 17.* Grafica resistividad eléctrica de los morteros a los 28 días de curado.

Fuente: (Pigueiras Aleaga, Ilboudo, Soler Mendoza, & Martinez Herrera, 2015).

La resistividad eléctrica obtenida es igual en los morteros elaborados con árido natural y los morteros elaborados con áridos de losa de hormigón, en la gráfica se muestra una mayor resistividad eléctrica en los morteros con áridos provenientes de los bloques de hormigón, es decir que estos morteros van a tener una menor carga eléctrica, debido a que su porosidad es menor que la de un mortero convencional.

### **3.1.7 Comportamiento de la relación agua-cemento y prestaciones en los morteros frescos bajo la influencia de material reciclado procedente de hormigón.**

En el año 2017, en Barranquilla Colombia, (Cabrera Covarrubias, et al., 2017), realizan un artículo de investigación “PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO DE MORTEROS CON ÁRIDO RECICLADO DE HORMIGÓN Y EFECTO DE LA RELACIÓN C/A”. En donde su objetivo principal es examinar u analizar las propiedades en estado fresco del mortero con porcentajes de remplazo de áridos naturales por áridos de reciclaje, propiedades como la consistencia, la densidad y el contenido de aire.

En la que obtuvieron como resultado que para que el mortero con material RCD cumpla con la consistencia adecuada debe tener un incremento en la cantidad de agua añadida, ya que su coeficiente de absorción es mayor al coeficiente del mortero convencional. Al incrementar el porcentaje de árido proveniente del material RCD en la sustitución de la mezcla aumenta la relación agua-cemento ( $a/c$ ), lo que provoca una disminución en la densidad, una disminución en el contenido de aire.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

- Granulometría

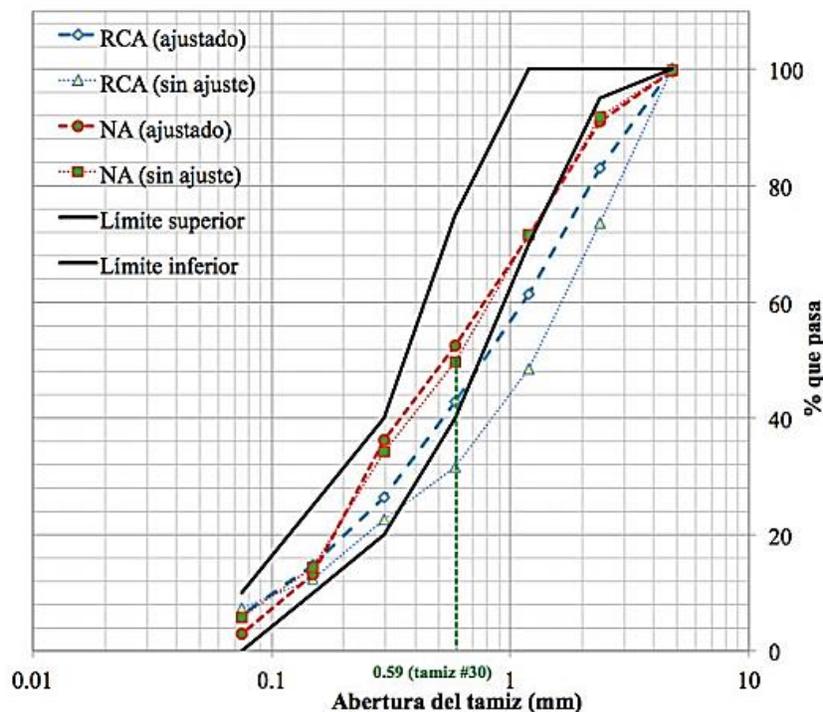


Figura 18. Ensayos de laboratorio y resultados obtenidos.

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

RCA = Árido de reciclaje de residuos de construcción.

NA = Árido natural.

En la gráfica se puede apreciar que para este ensayo se contemplaron 4 muestras, entre estas están los áridos naturales, los áridos naturales ajustados, los áridos de reciclaje y los áridos de reciclaje ajustados, esto con el fin de reajustar el material para la fabricación de morteros de albañilería. Para estos resultados obtenidos se consideró para la curva granulométrica un límite superior y un límite inferior, en la que los resultados obtenidos para la muestra del porcentaje que

pasa en los áridos de reciclaje presenta un resultado óptimo hasta el tamiz N° 30, debido a que hasta este tamiz los valores obtenidos están dentro del límite superior e inferior. También se puede apreciar que no hay diferencia considerable entre el árido natural ajustado y el no ajustado, todo lo contrario, al árido de reciclaje.

- **Propiedades físicas de los áridos**

**Tabla 45**

*Propiedades físicas de los áridos naturales y áridos de reciclaje*

<b>Propiedades</b>	<b>NA</b>	<b>RCA</b>
Densidad en estado seco (kg/m <sup>3</sup> )	2581.6	2189.7
Densidad en estado húmedo superficialmente seco (kg/m <sup>3</sup> )	2623.6	2362.6
Coefficiente de absorción (%)	1.6	7.9
Módulo de finura	2.4	2.7
Partículas tamaño <75- $\mu$ m (%)	2.9	6.2

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

En las propiedades físicas de los áridos se observa que las densidades en estado fresco y en estado húmedo son mayores en el árido natural, obteniendo una diferencia entre estos de 392 kg/m<sup>3</sup> en la densidad en estado fresco y 261 kg/m<sup>3</sup> en la densidad en estado húmedo superficialmente seco, se obtuvo también que las otras tres propiedades físicas como el coeficiente de absorción, el módulo de finura y el tamaño de las partículas es mayor en los áridos de reciclaje, en donde se evidencia una diferencia bastante significativa entre los áridos naturales y el árido de reciclaje en el coeficiente de absorción obteniendo una diferencia entre estos de 6.3%.

- **Dosificación de las mezclas**

**Tabla 46***Dosificación de materiales*

Clasificación y proporciones de la mezcla	a/c inicial	Cemento (g)	Árido Natural		Árido de reciclaje	
			< tamiz 30 (g)	> tamiz 30 (g)	< tamiz 30 (g)	> tamiz 30 (g)
NAM-3.25		480	781	781	0	0
CoRM-3.25-10		477	697	697	62	93
CoRM-3.25-20		447	581	581	116	174
CoRM-3.25-30		448	510	510	175	262
CoRM-3.25-50		464	377	377	302	453
CoRM-3.25-100		397	0	0	516	774
NAM-4.0		400	800	800	0	0
CoRM-4.0-10		397	714	714	63	95
CoRM-4.0-20	0.5	380	608	608	122	182
CoRM-4.0-30		377	528	528	181	272
CoRM-4.0-50		382	382	382	306	459
CoRM-4.0-100		395	0	0	632	948
NAM-4.75		342	811	811	0	0
CoRM-4.75-10		330	705	705	63	94
CoRM-4.75-20		327	622	622	124	187
CoRM-4.75-30		326	542	542	186	279
CoRM-4.75-50		323	383	383	306	460
CoRM-4.75-100		383	0	0	728	1091

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

CoRM-d.dd-XX = Nomenclatura asignada para cada muestra, d.dd=c/a se utilizó una relación de (1:3.25, 1:4, 1:4.75), y XX= % de árido de reciclaje sustituido.

NAM = Mortero de referencia.

En la tabla se observa la cantidad de árido en gramos que pasan por tamices mayores y menores que el tamiz 30, con dosificaciones de 1:3.25, 1:4 y 1:4.75, dosificaciones donde se

hacen sustituciones de árido natural por árido de reciclaje, utilizando una relación de agua/cemento de 0.5 para mezclado en todas las dosificaciones expresadas en la tabla. Se puede concluir con la tabla que a menor dosificación mayor será la cantidad de cemento, pero menor es la cantidad de árido retenido en los tamices.

- **Cantidad de agua necesaria para la mezcla**

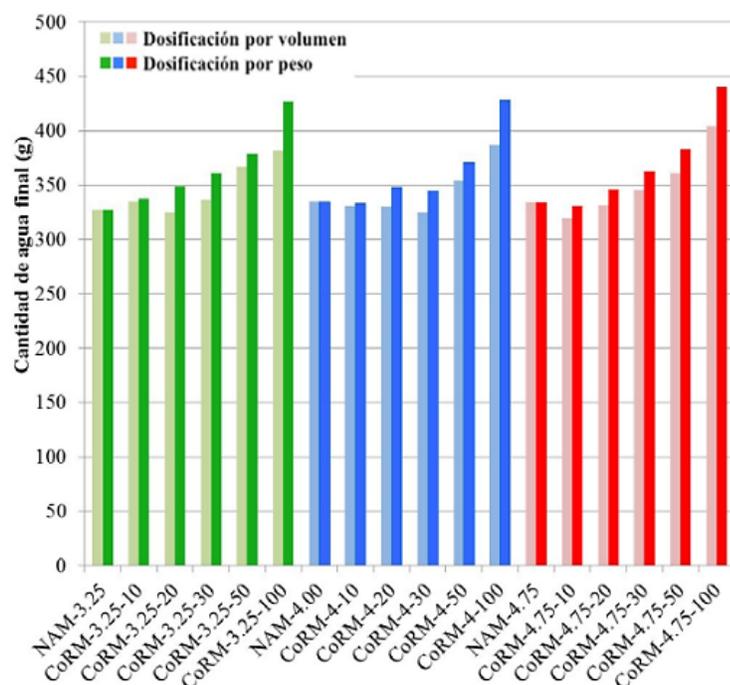


Figura 19. Dosificación por volumen y peso.

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

La cantidad de agua final para todas las dosificaciones a ensayar no varía para la dosificación por volumen y tampoco para la dosificación por peso, se podría decir que es igual según su dosificación y sustitución de árido reciclado en las tres muestras ensayadas, ya que se obtuvieron diferencias muy mínimas. Se observa un incremento de agua a mayor sustitución de

árido RCD, esto debido que los áridos de reciclaje requieren de mayor cantidad de agua para el mezclado debido a que estos hacen que aumente el % de absorción en la pasta.

- **Relación a/c**

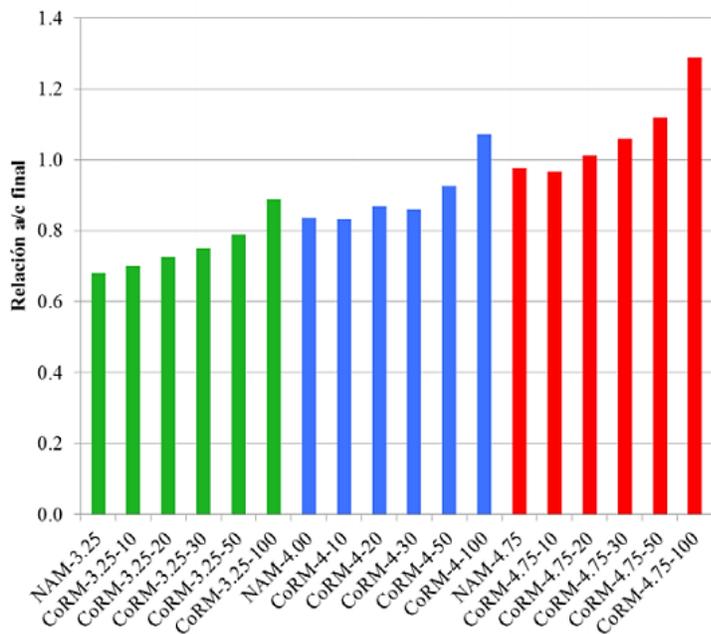


Figura 20. Relación agua/cemento.

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

Al igual que la gráfica anterior se observa que a mayor sustitución de árido reciclado mayor es la relación de agua/cemento, causado por el mayor porcentaje de absorción que los áridos RCD presentan. Los morteros de dosificación 1:4.75 requieren de mayor cantidad de agua que los otros morteros de dosificación 1:3.25 y 1:4.0.

- **Densidad de las muestras ensayadas**

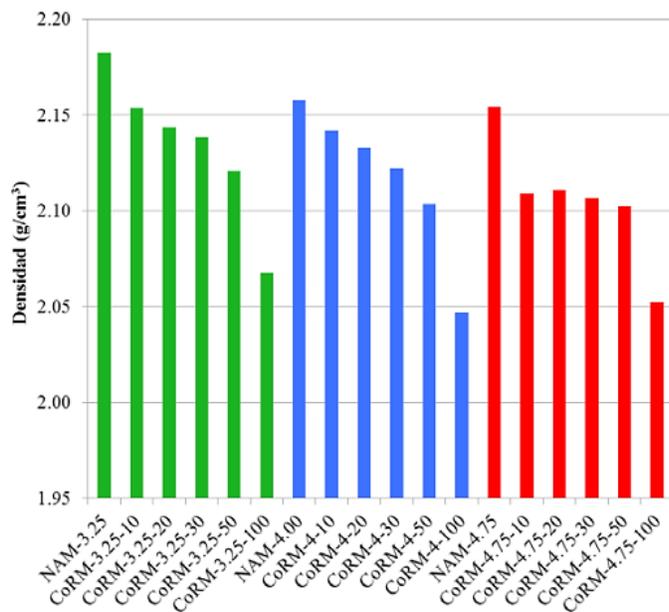


Figura 21. Densidad de las muestras ensayadas.

Fuente: (Cabrera Covarrubias, et al., 2017).

Se observa en la gráfica que la densidad donde los morteros tienen el 100% de sustitución de árido natural por árido reciclado es menor, la densidad mayor obtenida es para los morteros fabricados 100% con árido natural, por lo que se concluye que a mayor árido reciclado menor será la densidad del mortero.

### 3.1.8 Materiales de innovación para una construcción sostenible.

En el año 2011, en Lisboa Portugal, (Braga , De Brito, & Veiga, 2012), realizan un aporte a un artículo de investigación “MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN”. En donde su objetivo principal es evaluar el desempeño de morteros a base de cemento con la

incorporación de agregados fino de concreto reciclado.

Para este artículo se realizaron diferentes ensayos con la incorporación de 5, 10 y 15% de árido reciclado los cuales se dividieron en dos etapas, etapa 1 y etapa 2, obtuvieron como resultado para la primera etapa que a mayor proporción de árido reciclado menor es la relación agua – cemento, lo que ocasiona un aumento en la resistencia mecánica del mortero (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) y también mejora el rendimiento de absorción de agua de la mezcla, para la segunda etapa solo consideraron la incorporación del 15% de árido reciclado de hormigón, el mortero ensayado muestra una mayor retención de agua que la del mortero con agregado natural, lo que puede ocasionar desventajas en algunas propiedades del mortero como la permeabilidad.

### **3.2. Morteros para albañilería elaborados empleando un porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado**

#### **3.2.1. Propiedades mecánicas (resistencia a compresión y porcentaje de absorción) de un mortero a base de agregados fino con ladrillo triturado.**

Según (Ruiz Hernandez , 2020), en su tesis elaborada para optar el título profesional de Ingeniero civil denominada “Resistencia a compresión y capacidad de absorción del mortero al reemplazar agregado fino por ladrillo, cerámica y teja de arcilla reciclados – Cajamarca, 2018” publicada en el año 2020 por la Universidad privada del norte con sede en Cajamarca, Perú. La

cual, tuvo como objetivo principal analizar la resistencia a compresión y la capacidad de absorción del mortero en remplazo del agregado fino por porcentajes de ladrillo, cerámica y teja de arcilla, reciclados y como hipótesis general “La resistencia a compresión del mortero se disminuye en un 10% y la capacidad de absorción aumenta en un 10% conforme se incrementan los niveles de ladrillos, cerámica y teja de arcilla, reciclados, al 10% y 20%”. Indica que su investigación se basó principalmente en la clasificación de tres tipos de materiales reciclados. Cerámica, ladrillo y teja los cuales fueron recolectados y seleccionados eficazmente para la elaboración del mortero a analizar, producto de construcciones y demoliciones en la ciudad de Cajamarca, expresa que se preparó el mortero y agregó los tres tipos de materiales reciclados en diferentes dosis. El porcentaje de agregado fino fue reemplazado por los materiales reciclados en el 10 por ciento (%) y 20 por ciento (%) respectivamente; con el fin de evaluar posteriormente su resistencia a la compresión y el efecto de absorción del mortero, comparando los resultados obtenidos con la Norma Técnica Peruana E.070 (1400 kg / cm<sup>2</sup>) y determinando si cumple con los estándares establecidos en dicha norma.

La incorporación del material reciclado seleccionado a la mezcla de mortero en porcentajes del 10% y 20% sobre la cantidad total de agregado fino da como resultado uno bueno en cada uno de los porcentajes y tipo de material reciclado. Ya que, en lo que respecta a la resistencia a la compresión, como lo menciona el autor logra cumplir con el rango estipulado en la Norma E.070 la cual establece como resistencia mínima a compresión  $F'c=140 \text{ kg/cm}^2$ . Sin embargo, es importante aclarar, que, aunque los resultados obtenidos cumplen el rango establecido en la norma, al realizar el comparativo de valores y resultados entre el mortero reciclado y el convencional se aprecia que, el adicionar material proveniente de desechos de la familia de

ladrillo en los porcentajes escogidos por el autor la resistencia a la compresión disminuye a más de 10% con respecto al resultado obtenido de evaluar las propiedades mecánicas del mortero convencional. Mientras que en la absorción disminuye un 40.483% en promedio con respecto al mortero patrón.

Esta investigación es elaborada a raíz de la problemática expuesta inicialmente ocasionada por la acumulación de RCD y su falta de aprovechamiento para crear nuevos materiales para la construcción en este caso es en la ciudad de Cajamarca. En este proyecto monográfico nos enfocaremos en los resultados obtenidos por el autor con la incorporación de ladrillo triturado al mortero convencional. Los cuales dieron como resultados experimentales los siguientes:

### ***1) Contenido de Humedad***

En la tabla 47 y 48, se aprecian los resultados obtenidos en el ensayo de Contenido de Humedad, tanto para el agregado fino natural y el ladrillo triturado, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 47**  
*Contenido de humedad para agregado fino*

<b>ID</b>	<b>Descripción</b>	<b>UND</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
A	Identificación del recipiente o tara		M1	M2	M3
B	Peso del recipiente	gr	27,1	26,8	26
C	Recipiente + Suelo húmedo	gr	166,6	123,5	156,2

*Nota:* El contenido de humedad se expresa como porcentaje, del peso de agua en una masa dada, al peso de las partículas sólidas. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

“Tabla 47” “Continuación”

D	Recipiente + Suelo seco		gr	158,6	117,9	149,1
E	Peso del suelo húmedo C - B	(Ww)	gr	8	5,6	7,1
F	Peso suelo seco (Ws) D - B		gr	131,5	91,1	123,1
W%	Porcentaje de humedad (E/F) * 100		%	6,084	6,147	5,768
G	Promedio Porcentaje Humedad		%		5,999	

**Tabla 48***Contenido de humedad para ladrillo triturado*

ID	Descripción	UND	1	2	3	
A	Identificación del recipiente o tara		M1	M2	M3	
B	Peso del recipiente	gr	28,2	27,4	26	
C	Recipiente + Suelo húmedo	gr	168,3	142,3	169,8	
D	Recipiente + Suelo seco	gr	161,5	136,5	162,8	
E	Peso del suelo húmedo C - B	(Ww)	gr	6,8	5,8	7
F	Peso suelo seco (Ws) D - B	gr	133,3	109,1	136,8	
W%	Porcentaje de humedad (E/F) * 100	%	5,101	5,316	5,117	
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		5,178		

*Nota:* Promedio de contenido de humedad de ladrillo triturado convertida en porcentaje. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

## 2) *Análisis granulométrico de agregado fino*

En la tabla 49 y 50, se aprecian los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico y en la figura 22 y 23, su respectiva curva granulométrica, tanto para el agregado fino natural y el ladrillo triturado, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 49**  
Análisis Granulométrico para ladrillo triturado

N°	Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Que Pasa	
	(pulg)	(mm)				Grava	Especificación
1	1 1/2"	37,5					
2	1"	25					
3	3/4"	19					
4	1/2"	12,5					
5	3/8"	9,5					100 100
6	N° 4	4,75				100	95 100
7	N° 8	2,36	164,8	16,48	16,48	83,52	80 100
8	N° 16	1,18	209,1	20,91	37,39	62,61	50 85
9	N° 30	0,6	162,9	16,29	53,68	46,32	25 60
10	N° 50	0,3	239,6	23,96	77,64	22,36	10 30
11	N° 100	0,15	148,7	14,87	92,51	7,49	2 10
12	N° 200	0,075	61,2	6,12	98,63	1,37	0 3
13	Fondo	0	13,7	1,37	100		
<b>Módulo de finura =</b>			<b>2,78</b>				

Nota: Según la Norma ASTM C33 los valores del módulo de finura varían de 2.5 a 3 para agregados finos. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

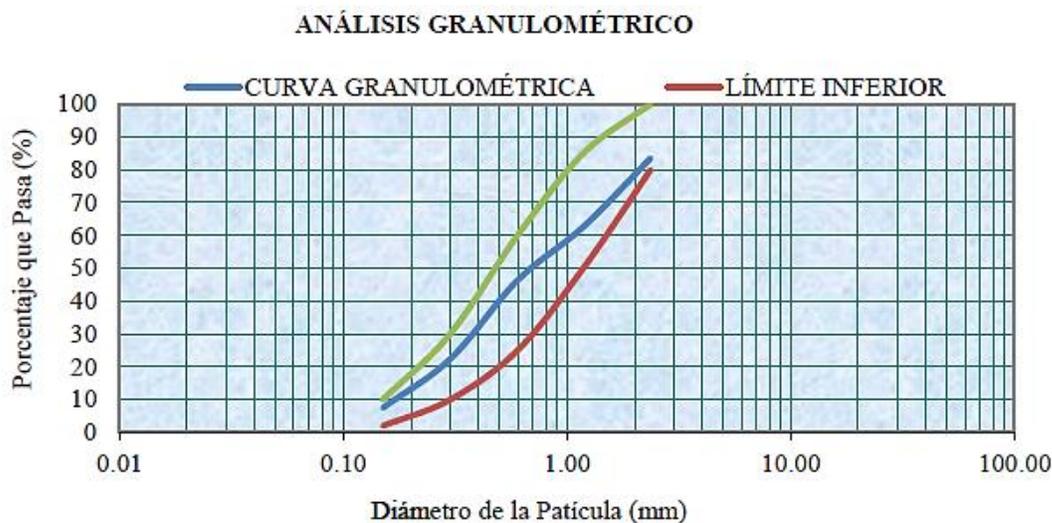


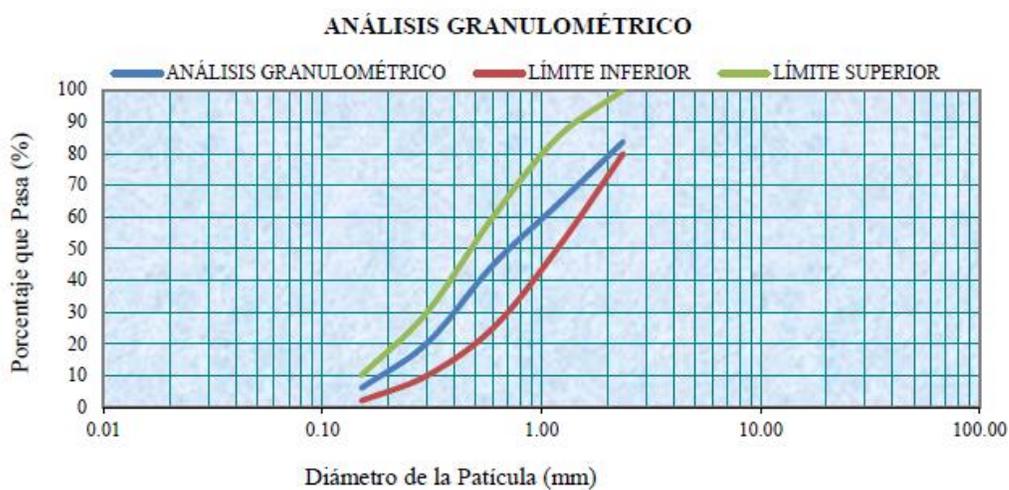
Figura 22. Curva Granulométrica- Ladrillo triturado.

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020)

**Tabla 50**  
*Análisis Granulométrico de agregado fino*

N°	Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido (%)	% Retenido Acumulado (%)	% Que Pasa		
	(pulg)	(mm)				Grava	Especificación	
1	1 1/2"	37,5						
2	1"	25						
3	3/4"	19						
4	1/2"	12,5						
5	3/8"	9,5					100 100	
6	N° 4	4,75				100	95 100	
7	N° 8	2,36	162,4	16,24	16,24	83,76	80 100	
8	N° 16	1,18	198,7	19,87	36,11	63,89	50 85	
9	N° 30	0,6	190,4	19,04	55,15	44,85	25 60	
10	N° 50	0,3	245,9	24,59	79,74	20,26	10 30	
11	N° 100	0,15	142,6	14,26	94	6	2 10	
12	N° 200	0,075	45,4	4,54	98,54	1,46	0 3	
13	Fondo	0	14,6	1,46	100			
<b>Módulo de finura</b>			<b>2,81</b>					

*Nota:* La granulometría del agregado fino tiene una repercusión en la demanda del agua y en consecuencia en la trabajabilidad del mortero, es por ello que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena debe hacerse ajustes en el contenido del cemento y agua para conservar la resistencia del mortero. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).



*Figura 23.* Curva Granulométrica- Agregado fino.

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

### 3) *Contenido de Humedad total de los agregados por secado*

En la tabla 51, se aprecia los resultados obtenidos en el ensayo de Contenido de Humedad total del agregado fino, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 51**  
*Contenido de humedad total de los agregados*

ID	descripción	UND	1	2	3	Resultado
A	Peso de la tara	gr	81	81,2	158,7	
B	Peso de la muestra húmeda	gr	500	500	500	
C	Peso de la tara + Peso de la muestra húmeda C = A + B	gr	581	581,2	658,7	
D	Peso de la tara + Peso de la muestra seca (Horno 110 ± 5°C)	gr	550,2	552,9	639,4	
E	Peso del agua E = C - D	gr	30,8	28,3	19,3	
F	Peso de la muestra seca F = D - A	gr	469,2	471,7	480,7	
G	Contenido de humedad G = (E/F) *100	%	6,56	6,00	4,01	5,53

*Nota:* Los agregados son materiales que tienen poros, por lo tanto, el porcentaje de humedad llega a introducirse en dichos poros y genera un porcentaje de humedad en los agregados. Esto es importante conocer ya que de esta manera podríamos agregar agua a cualquier mezcla de mortero. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

### 4) *Peso Unitario del agregado fino*

En la tabla 52 y 53, se aprecian los resultados obtenidos en el ensayo de peso unitario del agregado fino, tanto para el agregado fino natural y el ladrillo triturado, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 52**  
*Peso unitario del agregado fino*

ID	Agregado fino Descripción	Tamaño máximo nominal Und	Resultado		
			<1/2"	Vol. Molde	0,00941
A	Peso del molde + AF Compactado	kg	19,678	19,843	19,593
B	Peso del molde	kg	4,788	4,788	4,788

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

“Tabla 52” “Continuación”

C	Peso del AF Compactado $C = A - B$	kg	14,89	15,055	14,805	
D	Peso unitario compactado $D = C / \text{Vol. Molde}$		1582,359	1599,894	1573,326	1585,193
E	Peso del molde + AF Suelto	kg	17,741	17,765	17,694	
F	Peso del AF Suelto $F = E - B$	kg	12,953	12,977	12,906	
G	Peso unitario suelto $G = F / \text{Vol. Molde}$		1376,514	1379,065	1371,52	1375,7

**Tabla 53***Peso unitario de la cerámica triturada*

ID	Agregado fino Descripción	Und	Tamaño máximo nominal		Vol. Molde	0,00941 Resultado
			1	< 1/2"		
A	Peso del molde + AF Compactado	kg	21,435	21,376	21,287	
B	Peso del molde	kg	4,788	4,788	4,788	
C	Peso del AF Compactado $C = A - B$	kg	16,647	16,588	16,499	
D	Peso unitario compactado $D = C / \text{Vol. Molde}$		1769,075	1762,806	1753,3475	1761,743
E	Peso del molde + AF Suelto	kg	20,328	20,751	20,623	
F	Peso del AF Suelto $F = E - B$	kg	15,54	15,963	15,835	
G	Peso unitario suelto $G = F / \text{Vol. Molde}$		1651,435	1696,387	1682,78	1676,87

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**5) Gravedad específica y absorción de agregados finos.**

En la tabla 54 y 55, se aprecian los resultados obtenidos en el ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino, tanto para el agregado fino natural y el ladrillo triturado, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 54**  
*Gravedad específica y absorción del agregado fino*

ID	Descripción	Und	1	2	3	Resultado
A	Peso al aire de la muestra deseada	gr	468	467,8	468,5	N.A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua	gr	1301,4	1301,4	1301,4	N.A
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	1606,6	1605,7	1607,3	N.A
S	Peso de la Muestra Saturada Superficie Seca (PSSS)	gr	500	500	500	N.A
E	Peso específico aparente (Seco) $P.e.a (Seco) = \frac{A}{B+S-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,4	2,39	2,41	2,4
F	Peso específico aparente (SSS) $P.e.a (sss) = \frac{S}{B+S-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,57	2,55	2,58	2,57
G	Peso específico nominal (Seco) $P.e.n (Seco) = \frac{A}{B+A-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,87	2,86	2,88	2,87
H	Absorción $Abs(\%) = \frac{S-A}{A} * 100\%$	(%)	6,84	6,88	6,72	6,81

*Nota:* Resultados de gravedad específica y absorción del agregado fino. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 55**  
*Gravedad específica y absorción del ladrillo triturado*

ID	Descripción	Und	1	2	3	Resultado
A	Peso al aire de la muestra deseada	gr	468,3	465,7	467,8	N.A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua	gr	1262,3	1262,1	1262,4	N.A
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	1566,2	1566	1566,3	N.A
S	Peso de la Muestra Saturada Superficie Seca (PSSS)	gr	500	500	500	N.A
E	Peso específico aparente (Seco) $P.e.a (Seco) = \frac{A}{B+S-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,38	2,37	2,39	2,38
F	Peso específico aparente (SSS) $P.e.a (sss) = \frac{S}{B+S-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,55	2,55	2,55	2,55
G	Peso específico nominal (Seco) $P.e.n (Seco) = \frac{A}{B+A-C}$	gr/cm <sup>3</sup>	2,84	2,88	2,85	2,86
H	Absorción $Abs(\%) = \frac{S-A}{A} * 100\%$	(%)	6,77	7,37	6,88	7,01

*Nota:* Resultados de gravedad específica y absorción del ladrillo triturado. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**6) *Peso Específico del cemento hidráulico (MTC. E 610 – ASTM C1157 – NTP 334.082)***

En la tabla 56, se aprecia los resultados obtenidos en el ensayo de Peso Específico del Cemento Hidráulico (Frasco de le Chatelier), se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 56**  
*Peso Específico del Cemento Hidráulico (Frasco le Chatelier)*

ID	Descripción	Und	1	2	3
A	Peso de cemento utilizado	gr	64	64	64
B	Volumen Inicial	cm <sup>3</sup>	0	0	0
C	Volumen Final	cm <sup>3</sup>	20,6	20,5	20,6
D	Volumen desplazado D = C -B	cm <sup>3</sup>	20,6	20,5	20,6
E	Peso específico del cemento hidráulico E = A / D	gr/cm <sup>3</sup>	3,11	3,122	3,11
F	Peso específico del agua a 4°C	gr/cm <sup>3</sup>	1	1	1
G	Peso específico relativo del cemento G = E / F	-	3,11	3,122	3,11
H	Temperatura del ensayo (°C)	°C	18,7	18,7	18,4
I	Peso específico promedio del cemento I = (E1 +E2 +...+En) / n	gr/cm <sup>3</sup>	3,11		

*Nota:* El peso específico del cemento oscila entre 3.1 y 3.2 gr/cm<sup>3</sup> según ASTM 188 – 95 y AASTHO T-133.  
Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**7) *Consistencia del Cemento Portland***

En la tabla 57, se aprecia los resultados obtenidos en el ensayo de Consistencia del cemento Andino Portland tipo V, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 57**  
*Consistencia del cemento Andino Portland tipo V*

<b>Prueba N°</b>	<b>Und</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tiempo de mezclado	min	4,35	4,29	4,33
Volumen de agua	ml	240	250	260
Lectura inicial, Li	mm	0	0	0
Lectura final, Lf	mm	3	9	16
Penetración = Lf - Li	mm	3	9	16
Peso de cemento	gr	650	500	500
Peso de agua	gr	240	250	260
w% = (ww / ws)*100	%	36,92	50	52

*Nota:* La consistencia del cemento permite conocer la cantidad de agua que es necesaria agregar, para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicat penetre 10 mm durante 30 segundos en la pasta de cemento. También nos permite determinar el tiempo de fraguado, sanidad del cemento y la resistencia a la tensión según ASTM C 187-98, AASHTO T-129 Y ASTM C-305. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

### **8) Resistencia a Compresión del Mortero**

A continuación, se observan los resultados obtenidos en el ensayo de Resistencia a Compresión del Mortero, utilizando agregado fino con una incorporación de ladrillo triturado al (0% - 10% - 20%) respectivamente. Se realizó las pruebas a especímenes a los 7, 14 y 28 días.

#### *a) Especímenes a los 7 días (0% - 10% - 20%):*

En la tabla 58, 59 y 60, se aprecia los resultados obtenidos de las muestras probadas a 7 días, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 58***Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0%*

Espécimen	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria Máxima
M1	5410	0,69	208	6,86
M2	4734	0,63	185,26	6,21
M3	5214	0,47	202,05	4,66
M4	4986	0,54	194,75	5,29
M5	4692	0,42	182,18	4,16
M6	4927	0,63	189,43	6,2
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			193,61	Kg/ cm <sup>2</sup>

*Nota:* La resistencia del mortero se desarrolla principalmente por la hidratación del cemento. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 59***Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 10%*

Espécimen	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria Máxima
L1	4991	0,86	190,39	8,53
L2	4827	0,72	183,10	7,10
L3	5162	1,17	198,46	11,54
L4	4791	0,99	182,42	9,86
L5	4869	0,84	187,57	8,27
L6	4982	0,69	191,92	6,79
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			188,98	Kg/ cm <sup>2</sup>

*Nota:* Esfuerzo del mortero con incorporación del ladrillo reciclado al 10%. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

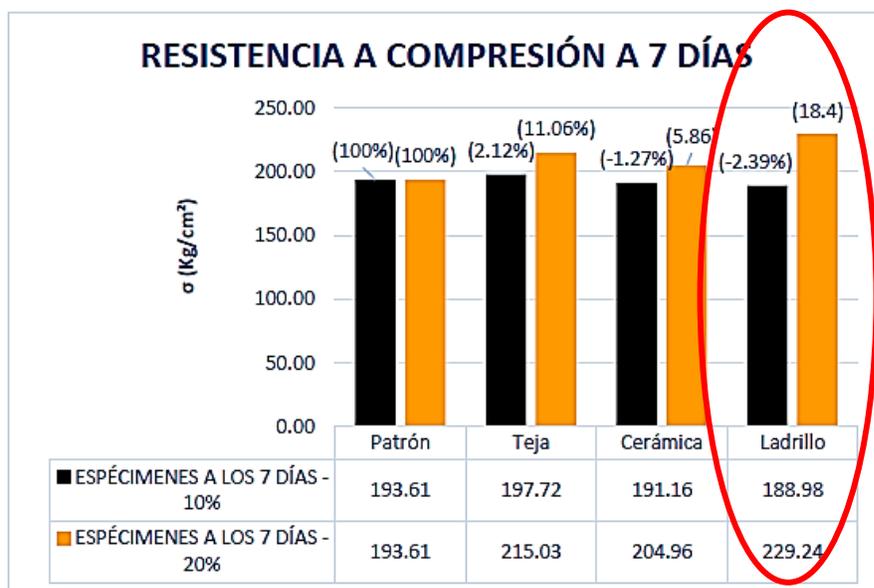
**Tabla 60**

*Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 20%*

Espécimen	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria Máxima
L1	5670	1,05	216,29	10,42
L2	5995	1,1	227,41	1085,00
L3	6529	1,3	251,02	12,82
L4	5990	1,12	228,07	11,16
L5	4814	0,8	187,29	7,94
L6	6889	0,85	265,39	8,40
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			229,24	Kg/ cm <sup>2</sup>

*Nota:* Esfuerzo del mortero con incorporación del ladrillo reciclado al 20. Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

*Resumen General de Resistencia a Compresión del Mortero a 7 días (10% -20%)*



*Figura 24.* Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 7 días 10%-20%.

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

En la anterior figura 24, se registra un resumen general de resistencia a compresión del mortero a 7 días. En el óvalo de color rojo se identifica la resistencia dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado el cual es el que se está estudiando en este inciso.

“Se refleja que el mortero con incorporación de teja reciclada al 10% es más resistente que los demás a los 7 días, por otro lado, el mortero con incorporación de ladrillo al 20% es más resistente que los demás a los 7 días” (Ruiz Hernandez , 2020).

*b) Especímenes a los 14 días (0% - 10% - 20%):*

En la tabla 61, 62 y 63, se aprecia los resultados obtenidos de las muestras probadas a 14 días, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 61**

*Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0%*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga Máxima (kg)</b>	<b>Deformación Máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación Unitaria Máxima</b>
M1	6591	0,62	253,94	6,14
M2	6064	0,49	230,43	4,73
M3	5187	0,71	194,06	6,84
M4	6103	0,67	233,73	6,53
M5	5406	0,83	206,63	80,58
M6	5377	0,7	211,28	68,49
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			221,68	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 62**

*Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 10%*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga Máxima (kg)</b>	<b>Deformación Máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación Unitaria Máxima</b>
L1	5808	0,64	221,99	6,36
L2	5155	0,64	198,19	6,27
L3	5730	1,21	217,74	11,86
L4	4713	0,91	179,44	9,1
L5	4936	0,93	188,67	9,28
L6	5056	1,15	194,77	112,52
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			200,13	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 63**

*Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado– dosificación al 20%*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga Máxima (kg)</b>	<b>Deformación Máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación Unitaria Máxima</b>
L1	4566	1,04	173,17	10,22
L2	4106	1,25	153,03	12,43
L3	4217	0,62	160,55	6,05
L4	5599	0,42	215,69	4,07
L5	3517	1,54	134,16	15,13
L6	5162	1,05	197,69	10,29
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			172,38	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

### Resumen General de Resistencia a Compresión del Mortero a 14 días (10% -20%)

En la figura 25, se registra un resumen general de resistencia a compresión del mortero a 14 días. En el óvalo de color rojo se identifica la resistencia dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado el cual es el que se está estudiando en este inciso.

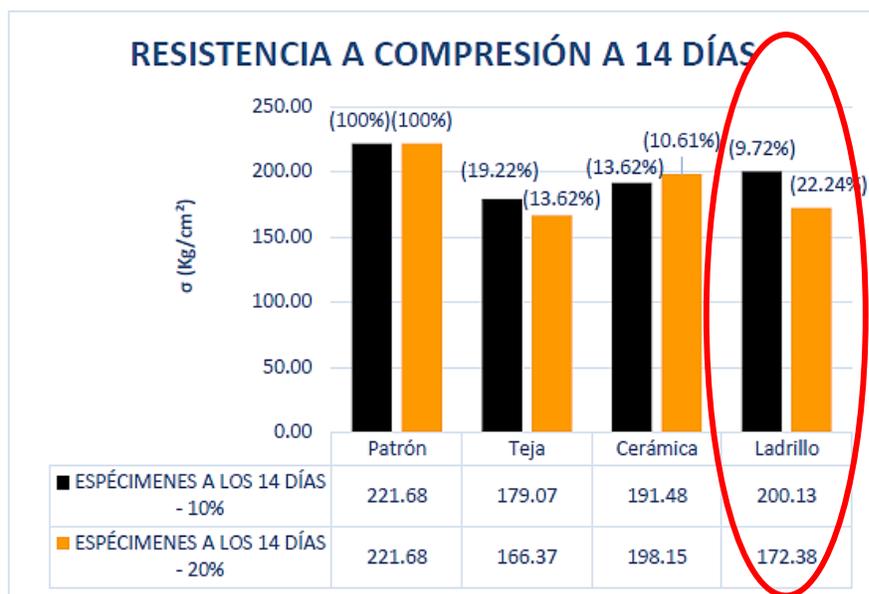


Figura 25. Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 14 días 10%-20%.

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

“Se manifiesta que el mortero patrón al 10% y al 20% es más resistente que los demás a los 14 días” (Ruiz Hernandez , 2020)

#### c) Especímenes a los 28 días (0% - 10% -20%):

En la tabla 64, 65 y 66, se aprecia los resultados obtenidos de las muestras probadas a 28 días, se determinó los siguientes resultados:

**Tabla 64***Resistencia a la compresión del mortero, sin incorporación – dosificación al 0%*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga Máxima (kg)</b>	<b>Deformación Máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación Unitaria Máxima</b>
M1	8631	1,94	337,12	18,98
M2	9270	1,18	351,56	11,13
M3	5998	2,16	225,73	20,77
M4	5775	1,28	219,9	12,28
M5	9228	0,67	344,59	6,45
M6	9063	1,14	343,85	11,22
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			303,8	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 65***Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado – dosificación al 10%*

<b>Espécimen</b>	<b>Carga Máxima (kg)</b>	<b>Deformación Máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Deformación Unitaria Máxima</b>
L1	5544	1,61	210,25	16,43
L2	5486	1,36	225,76	13,88
L3	8002	0,42	309,5	4,2
L4	6762	1,13	207,86	11,21
L5	4818	0,67	176,17	6,49
L6	4477	1,96	165,94	18,49
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			215,92	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

**Tabla 66**

*Resistencia a la compresión del mortero con incorporación de ladrillo reciclado – dosificación al 20%*

Espécimen	Carga Máxima (kg)	Deformación Máxima (mm)	Esfuerzo Máximo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación Unitaria Máxima
L1	8176	0,52	301,91	4,95
L2	8363	1,21	309,40	11,52
L3	8438	0,47	302,72	4,46
L4	7588	0,45	291,29	4,3
L5	4325	0,61	155,43	5,91
L6	6831	1,35	247,37	13,58
<i>Esfuerzo a compresión promedio=</i>			268,02	Kg/ cm <sup>2</sup>

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

*Resumen General de Resistencia a Compresión del Mortero a 28 días (10% -20%)*

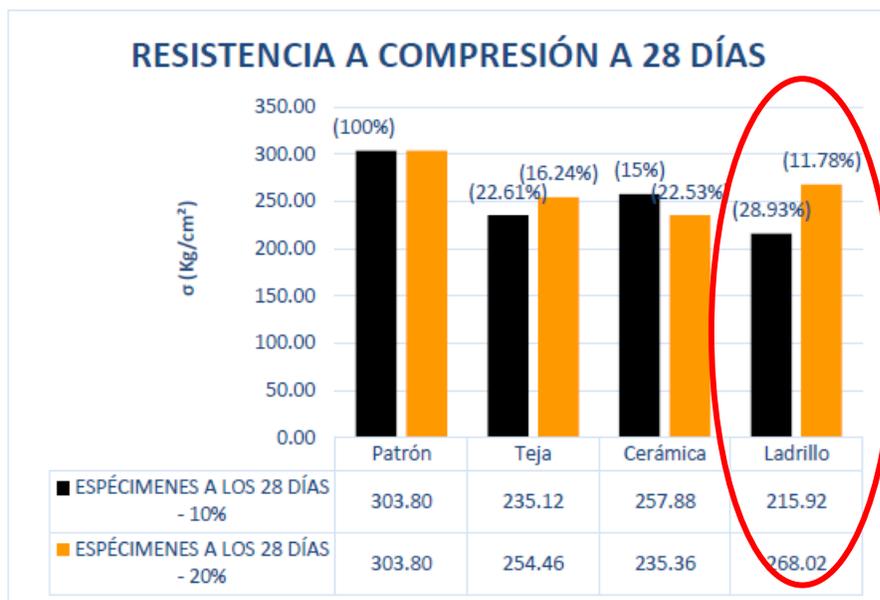


Figura 26. Resistencia a Compresión de Mortero elaborado a los 28 días 10% -20%.

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

En la anterior figura 26, se registra un resumen general de resistencia a compresión del mortero a 28 días. En el óvalo de color rojo se identifica la resistencia dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado el cual es el que se está estudiando en este inciso.

Se prueba que el mortero convencional o patrón al 10% y 20% es más resistente con 303.80 kg/cm<sup>2</sup> en comparación con los demás evaluado a los 28 días, ya que contiene un mayor porcentaje de silicato de calcio (C: S) que aumenta la resistencia. Por otro parte, se puede controlar que el mortero con adición de cerámica triturada es de al menos 235.36 kg/cm<sup>2</sup> al 20% y de ladrillo triturado 215.92 kg/cm<sup>2</sup> al 10%. Ósea, los menos resistentes, ya que no es fácil adherirse al mortero, para el cual se genera un aumento de la porosidad y la pérdida de resistencia. (Ruiz Hernandez , 2020).

### **9) Absorción (%)**

A continuación, se observan los resultados obtenidos en el ensayo de absorción de las muestras, utilizando agregado fino con una incorporación de ladrillo triturado al (0% - 10% - 20%) respectivamente.

#### **a) Especímenes al (10%)**

En la tabla 67 y en la figura 27, se aprecia los resultados obtenidos en el ensayo de capacidad de absorción del mortero en remplazo del agregado fino por porcentaje de (0% - 10%)

de ladrillo, cerámica y teja de arcilla, reciclados, se determinó los siguientes resultados: En este inciso estudiamos el ladrillo triturado como agregado de mortero. Por tal motivo, es en el que nos enfocaremos en los análisis. En el óvalo de color rojo se identifica la absorción dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado a 10%.

**Tabla 67**

*Resumen especímenes al (0%-10%)*

Especímenes al (0% - 10%)	Absorción (%)
Muestra patrón del mortero 0%	16,23
Mortero con incorporación de Teja reciclado al 10%	8,6
Mortero con incorporación de cerámica reciclado al 10%	10,98
Mortero con incorporación de ladrillo reciclado al 10%	9,99

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

En la siguiente figura “se refleja que el mortero patrón al 10% tiene mayor capacidad de absorción que los demás a los 28 días” (Ruiz Hernandez , 2020)

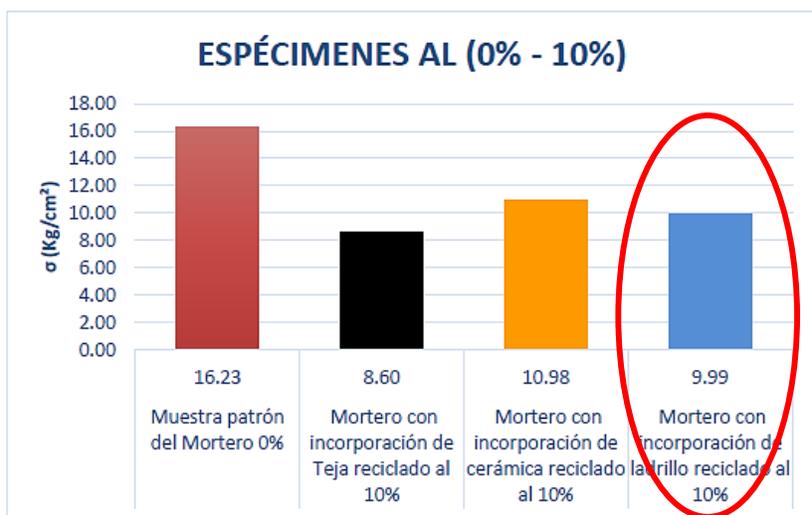


Figura 27. Absorción de Especímenes al (0%-10%).

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

b) *Especímenes al (20%)*

En la tabla 68 y en la figura 28, se aprecia los resultados obtenidos en el ensayo de capacidad de absorción del mortero en remplazo del agregado fino por porcentaje de (0% - 20%) de ladrillo, cerámica y teja de arcilla, reciclados, se determinó los siguientes resultados: En este inciso estudiamos el ladrillo triturado como agregado de mortero. Por tal motivo, es en el que nos enfocaremos en los análisis. En el óvalo de color rojo se identifica la absorción dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado a 20%.

**Tabla 68**

*Resumen especímenes al (0%-20%)*

Especímenes al (0% - 20%)	Absorción (%)
Muestra patrón del mortero 0%	16,22
Mortero con incorporación de Teja reciclado al 20%	7,16
Mortero con incorporación de cerámica reciclado al 20%	10,08
Mortero con incorporación de ladrillo reciclado al 20%	11,13

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

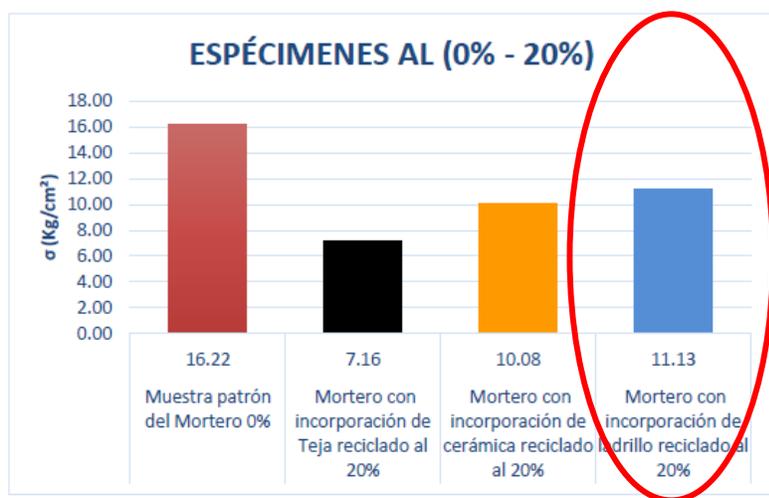


Figura 28. Absorción de Especímenes al (0%-20%).

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

“Se demuestra que el mortero patrón al 20% tiene mayor capacidad de absorción que los demás los 28 días” (Ruiz Hernandez , 2020)

*Resumen General de la Absorción de Especímenes al (10% -20%)*

En la figura 29, se registra un resumen general de la capacidad de absorción del mortero en remplazo del agregado fino por porcentaje de (0% - 10% - 20%) de ladrillo, cerámica y teja de arcilla, reciclados. En el óvalo de color rojo se identifica la absorción dada del mortero bajo la incorporación de ladrillo triturado el cual es el que se está estudiando en este inciso.

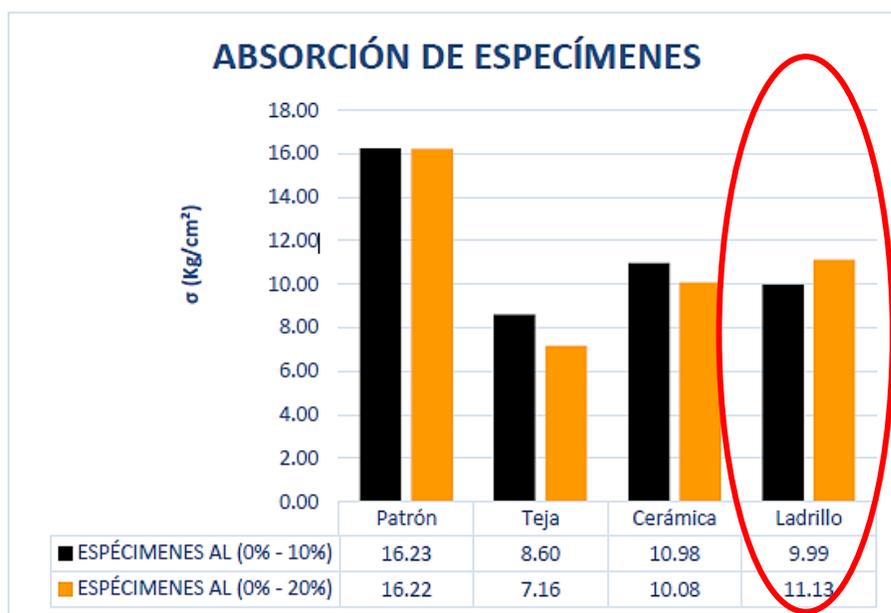


Figura 29. Absorción de Especímenes al (10%-20%).

Fuente: (Ruiz Hernandez , 2020).

“Se evidencia que el mortero patrón al 10% y 20% tiene mayor contenido de absorción que los demás a los 28 días” (Ruiz Hernandez , 2020).

Todo lo estipulado en este proyecto, es de gran trascendencia en la industria de la ingeniería en especial la del país, donde el principal beneficiario es el sector de construcción y todo el entorno que lo rodea, pues con estas alternativas se pueden tomar medidas de manera concentrada en función de las necesidades que se pueda originar a causa de la falta de fácil acceso al agregado natural.

Se realiza un comparativo de resultados con respecto a los obtenidos en la investigación “Morteros de albañilería con escombros de demolición” de Álvares, Urrutia, Lecusay y Fernández (1997), donde utilizó como aditivo los escombros de demolición donde su resistencia a los 28 días con una dosificación de 1:4 alcanzo 11.11MPa a diferencia de los resultados dados en esta investigación, donde se alcanzó la resistencia mínima de 21.16MPa con incorporación del 10% de ladrillo reciclado. Determinando por medio de esta comparación entre las dos investigaciones que, los materiales reciclados al 10% y 20% tienen mayores propiedades químicas que los escombros de demolición utilizados en la tesis de Álvares, Urrutia, Lecusay y Fernández (1997). Ya que, al comparar los resultados la resistencia a compresión dio mayor. (Ruiz Hernandez , 2020).

Para la resistencia a la compresión de 7 días, la hipótesis propuesta, la cual fue “La resistencia a compresión del mortero se disminuye en un 10% y la capacidad de absorción aumenta en un 10% conforme se incrementan los niveles de ladrillos, cerámica y teja de arcilla, reciclados, al 10% y 20%” no se comprueba. Ya que, se obtuvo un aumento de 2.12% y 11.06% para la incorporación de teja al 10% y 20% respectivamente; mientras que con la incorporación de cerámica se evidencia una disminución de 1.27% al 10% y un aumento de 5.86% al 20%; lo

mismo sucede con la incorporación de ladrillo se observó una disminución de 2.39% al 10% y un aumento de 18.4% al 20%. Con respecto a la resistencia de la compresión de las muestras de mortero convencional o patrón. De la misma manera, ocurre con la resistencia a la compresión a 14 y 28 días, no se cumple la hipótesis general, se observa que con la incorporación al 10% y al 20% de los materiales reciclados se obtuvieron disminución en las resistencias en cada uno de los tres casos, tanto para 14 como 28 días. Para la resistencia a la compresión de 14 días, en teja se observa una disminución de 19.22% al 10% y una de 24.95% al 20%; en cerámica una disminución de 13.62% y 10.61% para el 10% y 20% respectivamente; en ladrillo una disminución de 9.72% al 10% y una de 22.24% al 20%. Ahora, para la resistencia a la compresión de 28 días, en teja se observa una disminución de 22.61% al 10% y una de 16.24% al 20%; en cerámica una disminución de 15.12 % y 22.53% para el 10% y 20% respectivamente; en ladrillo una disminución de 28.93% al 10% y una de 11.78% al 20%. Todas estas disminuciones se toman con respecto a la resistencia de la compresión de las muestras de mortero convencional o patrón. (Ruiz Hernandez , 2020).

Se puede concluir por tanto que, la hipótesis general no se logra comprobar. Aunque se haya evidenciado una disminución en la resistencia del mortero reciclado con respecto al mortero patrón o convencional a los 14 y 28 días la disminución dada en los ensayos experimentales fue mucho mayor a la planteada en la hipótesis. Mientras que a los 7 días se evidencio un aumento de resistencia.

De acuerdo a lo anterior, se puede extraer los datos específicos obtenidos mediante la incorporación de ladrillo triturado al mortero, los cuales son los más relevantes en el estudio de

este inciso. En la figura 24, 25 y 26, se observa el resumen general de los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión del mortero realizado a las muestras probadas a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Utilizando agregado fino con una incorporación de ladrillo triturado al 0% ,10% y 20%. Donde, se nota que la resistencia del mortero reciclado con ladrillo a los 7 días disminuye en un porcentaje de 2.39% al 10% y aumenta en un porcentaje de 18.4% al 20%. A los 14 días, disminuye en un porcentaje de 9.72% al 10% y 22.24% al 20%. Y a los 28 días se observa que también disminuye la resistencia obteniendo un porcentaje de 28.93% al 10% y 11.78% al 20%. Estos datos se comparan respecto a las muestras elaboradas con mortero convencional. O sea, con la incorporación de 0% de ladrillo triturado.

Se realizó el comparativo de los resultados obtenidos incorporando el material proveniente de RCD, dando como resultados que la resistencia a compresión del mortero con agregados reciclados siempre se mantuvo por debajo a la resistencia del mortero elaborado sin incorporación de RCD. Pero, aun así, cumple con lo estipulado en la Norma Técnica Peruana E070. La cual establece como resistencia mínima a compresión  $F'c=140 \text{ kg/cm}^2$ . Ninguno de los morteros estudiados estuvo por debajo de este valor y en lo que respecta al ladrillo el menor valor que arrojo fue a los 14 días con la incorporación del 20% el cual fue  $172.38 \text{ kg/cm}^2$ . Lo que indica que cumple con la resistencia.

Con respecto a los resultados obtenidos en los ensayos de la capacidad de absorción de los morteros elaborados tenemos: En la figura 29, se registra un resumen general de la capacidad de absorción del mortero en remplazo del agregado fino por porcentaje de (0% - 10% - 20%) de ladrillo, cerámica y teja de arcilla, reciclados. En el cual se aprecia que, la absorción en el

mortero patrón o el elaborado con 0% de material reciclado, el cual arrojó un resultado de 16.23 kg/cm<sup>2</sup>, tiene mayor contenido de absorción respecto al mortero elaborado al 10% y el 20% de cada uno de los materiales reciclados utilizados.

Con la incorporación del 10% y 20% de material reciclado al mortero se nota una disminución de la absorción con respecto al mortero patrón. Al 10% en teja se aprecia un porcentaje de disminución del 47.012%; en cerámica un porcentaje de 32.348 %; en ladrillo un porcentaje de 38.447%. Ahora, al 20% en teja se observa un porcentaje de disminución de 55.857%; en cerámica 37.855%; en ladrillo 31.381%. lo que indica que la hipótesis general planteada por el autor de esta investigación no se comprueba ni se cumple, porque la disminución promedio al 10% radica en un 39.269% y al 20% radica en un 41.697% aproximadamente y la disminución planteada por el autor fue del 10%. (Ver tabla 69).

**Tabla 69**  
*Promedio de absorción general*

Muestra	Absorción (kg/cm <sup>2</sup> )		Porcentaje de disminución con respecto al mortero patrón (16.23 kg/cm <sup>2</sup> )	
	0% - 10%	0% - 20%	0% - 10%	0% - 20%
Patrón	16,23	16,22	100%	100%
Teja	8,6	7,16	-47,012%	-55,857%
Cerámica	10,98	10,08	-32,348%	-37,855%
Ladrillo	9,99	11,13	-38,447%	-31,381%
<b>Promedio de absorción por porcentaje independiente</b>			-39,269%	-41,697%
<b>Promedio de absorción general</b>			-40,483%	

*Nota:* Se registran los porcentajes de disminución de la absorción del agua respecto a las muestras patrón. Fuente: Autoras de la monografía.

En ladrillo la diferencia entre los especímenes evaluados al 10% con respecto al 20% se observa un aumento de absorción del 7.066%. Lo que puede proyectar que a mayor % de incorporación de ladrillo triturado mayor absorción.

Finalmente, es importante mencionar que el autor analizó las propiedades mecánicas del mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usados en elementos estructurales y no estructurales, calculando las propiedades físico – mecánicas del agregado fino a utilizar en la elaboración del mortero, tales como: módulo de finura es 2.81, porcentaje de absorción 1.74%, peso unitario suelto 1385.19 kg/m<sup>3</sup>, peso unitario compactado 1585.19 kg/m<sup>3</sup>, peso específico agregado fino 2.64 g/m<sup>3</sup>, contenido de humedad 5.53 % y peso específico del cemento 3.11 gr/cm<sup>3</sup>, la Consistencia normal del cemento portland tipo V 46.31%. (Ruiz Hernandez , 2020).

### **3.2.2. Afectación del mortero de albañilería con el aporte de polvillo de ladrillo como material complementario de cemento.**

La investigación analizada en este inciso fue elaborada en la ciudad de Cali, Colombia. Por (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017). La cual consistió en el estudio de un material cementicio ecoeficiente para elementos de construcción de bajo costo, financiada por COLCIENCIAS. Los autores mencionan que, el 5% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en todo el mundo es generado debido a la producción del cemento portland. Una importante contribución al desarrollo sostenible de la industria de la construcción consiste en utilizar puzolanas para reducir el contenido de Cemento Portland, utilizado para hacer hormigón,

morteros etc., y más si el material puzolánico utilizado son de residuos provenientes de demolición y construcción, por lo que se recomienda el empleo de residuos de mampostería como material alternativo a las puzolanas. Es por esto, que surge dicha investigación.

En este artículo se presentan los resultados experimentales de la caracterización de un residuo de mampostería (RM) y su evaluación puzolánica. El objetivo de esta investigación fue explorar la viabilidad de producir morteros de cemento portland mediante el empleo de residuos de mampostería (RM). En consecuencia, esto ayudará a reducir el costo de la producción del mortero y disminuir el impacto ambiental producido por los RCD y la industria cementera. Para ello se evaluó y caracterizó la reactividad puzolánica de los RM provenientes de una demolición domiciliaria, para su posterior uso en la elaboración de morteros. El RM en primera instancia se sometió a un estudio de molienda y posterior análisis mediante las técnicas de fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), análisis termo-gravimétrico (TG) y microscopía electrónica de barrido (MEB). Luego, se evaluó el efecto de la incorporación del residuo de mampostería en la resistencia a la compresión en morteros de cemento hidráulico portland mediante el reemplazo de este en un rango de 0 a 50% a diferentes edades de curado (7; 28; 65 y 90 días), así como las propiedades de densidad y porosidad a 28 días de curado. Los resultados exhiben que este residuo (RM) presenta un comportamiento puzolánico y su porcentaje óptimo de reemplazo en morteros de cemento portland es de 20%. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017) El método utilizado para seleccionar el material y los resultados obtenidos en esta investigación se reseñan a continuación por las autoras de este proyecto monográfico de forma detallada, deductiva y concisa:

### 1) Metodología de la investigación:

En la figura 30, se muestra el método utilizado para realizar esta investigación. El autor plantea que primero, se tomó una muestra de residuos de mampostería de una casa que se estaba demoliendo en el área de Cali, Colombia. Los cuales fueron aptos en el proceso selección del material. El material escogido contenía residuos triturados de ladrillos de arcilla y mortero de cemento Portland. Posteriormente, se tritura el material con ayuda de una trituradora de mandíbulas y luego se realiza el proceso de triturado por medio de un molino de bolas para lograr la suficiencia del residuo (RM) reduciendo el tamaño hasta llegar al adecuado como material cementicio. Los resultados obtenidos en el estudio de molienda se registran en la tabla 70 y la figura 31, la cual muestra los valores de distribución y la curva granulométrica del RM a diferentes tiempos de molienda, se tomaron valores cada hora a partir de la 3 hora, hasta alcanzar las 5 horas de molienda. En este caso, se puede observar un comportamiento bimodal cuando se obtienen diferentes partículas medias. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

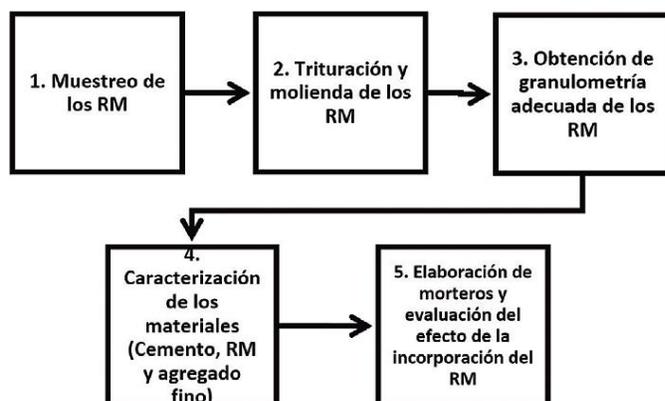


Figura 30. Metodología desarrollada para la caracterización y evaluación del residuo de mampostería (RM).

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

**Tabla 70**

Valores de distribución granulométrica del RM a diferentes tiempos de molienda

RM	Tiempo de Molienda		
	3 horas	4 horas	5 horas
Diámetro medio ( $\mu\text{m}$ )	44,16	31,65	24,08
Diámetro d(0.1) ( $\mu\text{m}$ )	4,99	2,19	1,8
Diámetro d(0.5) ( $\mu\text{m}$ )	29,01	20,01	15,89
Diámetro d(0.9) ( $\mu\text{m}$ )	106,95	78,75	65,04

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

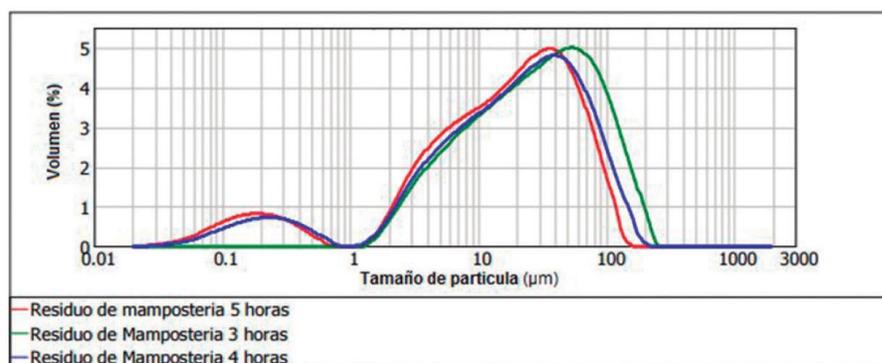


Figura 31. Curva de granulometría del RM a diferentes tiempos de molienda.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Luego de caracterizar el material reciclado de RM se realiza la selección del material aglomerante de cemento Portland, se utilizaron dos tipos, uno es cemento para hormigón caracterizado por puzolana llamado RM sin adición, y el otro es cemento que se suele utilizar para preparar mortero. La composición química del cemento se obtiene por fluorescencia de rayos X. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Los residuos de mampostería obtenidos del proceso de molienda se caracterizaron mediante diferentes técnicas. En primer lugar, la composición química y mineral se determina

mediante fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x, respectivamente. Además, se utiliza un microscopio electrónico de barrido para determinar la morfología de las partículas.

Finalmente, el análisis térmico se realiza mediante análisis termogravimétrico para determinar la pérdida o aumento de masa de la muestra, y el análisis termogravimétrico se utiliza para observar el cambio de peso con la temperatura. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017). Se utilizaron dos métodos para determinar la evaluación de la actividad puzolánica del residuo de mampostería (RM):

#### I. Evaluación de la puzolanicidad por la norma ASTM C618:

La norma ASTM C618 presenta los requisitos químicos y físicos de la puzolana natural y las cenizas volantes, e incorpora el método de prueba estándar establecido en la norma ASTM C311. El criterio más importante para la actividad de puzolana es (1) la suma de la composición química de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  (2) Índice de actividad de puzolana (IAP), que se define como la relación de la resistencia a la compresión del mortero reciclado ósea, con reemplazo del material puzolánico con un 20% de la masa de cemento (RM en este caso) con un mortero de referencia (100% Cemento Portland). Para la preparación de estos morteros se utilizó un cemento sin adición y arena estándar de Ottawa con una relación agua / cemento de 0,55. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

## II. Método químico:

El método químico utilizado para determinar la actividad de las puzolanas RM fue la prueba de Frattini a los días 7 y 28 de curado descrito en la norma NTC 1512, que compara el contenido de hidróxido de calcio presente en la solución acuosa en contacto con el cemento contra la cantidad de hidróxido de calcio que puede saturar el medio de la misma alcalinidad. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Por otra parte, se hace importante mencionar que la influencia de los residuos de mampostería en el rendimiento de las propiedades mecánicas del mortero endurecido, se determinó preparando diferentes niveles de mortero en el que se reemplazó el cemento Portland por un porcentaje de RM de (0% a 50%) tomado en peso. la resistencia a la compresión se evaluó por medio de un cubo con lados de 5,08 cm. Para ello, se utiliza 1 parte de cemento Portland de uso general en 2,75 partes de arena de río, con una relación agua / aglutinante de 0,65, con la que se logró una consistencia suficiente para todas las mezclas. Para controlar la reacción puzolánica, se evaluó la resistencia a la compresión a los 7,28, 65 y 90 días de curado. La absorción y la porosidad también se determinaron de acuerdo con los procedimientos descritos en ASTM C642, para lo cual las muestras se secaron en un horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Después de sacar las muestras del horno, se dejaron enfriar al aire seco y se pesaron. A continuación, la muestra se sumergió en agua durante 48 horas y se pesó. Posteriormente, la muestra se volvió a sumergir en agua y se hirvió durante 5 horas, luego se enfrió y se eliminó la humedad de la superficie con una toalla para pesar. Como último paso, se obtuvo el peso hidrostático de cada muestra. En este estudio, a través de un diseño

experimental completamente aleatorizado y un efecto de fijación equilibrado, es posible comprender el rango óptimo de reemplazo de cemento por residuos de ladrillo después de 28 días de curado. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

El diseño de la mezcla realizado por los autores se muestra en la siguiente tabla 71, en la cual se aprecia las condiciones de diseño experimental para la optimización de reemplazo de residuos de mampostería en morteros, se propone un solo factor (tipo de mezcla) con 6 niveles, esta condición produce 6 métodos de tratamiento, los cuales se asignan aleatoriamente a unidades experimentales, y la resistencia se mide como variable de respuesta.

**Tabla 71**

*Condiciones de diseño experimental para optimización de reemplazo de RM en morteros*

Factores	Niveles (%OPC - %RM)	Tratamientos	Unidad experimental	Variable de respuesta
Tipo de mezcla	M1 : (1 - 0)	6	Especímenes de morteros	Resistencia a la compresión. (28 días de curado)
	M2 : (0.9 - 0.1)			
	M3 : (0.8 - 0.2)			
	M4 : (0.7 - 0.3)			
	M5 : (0.6 - 0.4)			
	M6 : (0.5 - 0.5)			

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Ahora bien, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

## 2) Resultados

### a) Cemento.

En la tabla 72, se aprecia los resultados obtenidos del ensayo de composición química del cemento de uso general y sin adición, el cual fue elaborado mediante fluorescencia de rayos X.

**Tabla 72**

*Composición química del cemento de uso general (CG) y cemento sin adición (CA)*

Componente		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PI
CG	% en peso	19,39	4,13	4,70	55,68	1,70	0,31	0,28	3,90	9,21
CA	% en peso	17,99	3,88	4,76	62,28	1,71	0,23	0,32	4,03	4,14

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

De la anterior tabla, los autores (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017) mencionan que se observa una mayor pérdida por ignición (PI) en el cemento de uso general (CG), esto se debe al contenido de (piedra caliza) que presenta este cemento en su fabricación.

En la tabla 73, se registran los valores de distribución del tamaño de partícula dados por el autor, los cuales están determinados por un analizador de tamaño de partículas láser. Donde se observa que el 50% de partículas de cemento CG y CA son inferiores a 15.821 y 17.079 respectivamente. El porcentaje de partículas finas en CG es mayor. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

**Tabla 73**

*Valores de distribución granulométrica de los dos cementos Portland (CG y CA)*

<b>Cemento Portland</b>	<b>CG</b>	<b>CA</b>
Diámetro medio ( $\mu\text{m}$ )	20,67	21,65
Diámetro d(0.1) ( $\mu\text{m}$ )	1,964	3,594
Diámetro d(0.5) ( $\mu\text{m}$ )	15,821	17,074
Diámetro d(0.9) ( $\mu\text{m}$ )	46,818	46,555

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

*b) Residuo de Mampostería (RM)*

En la tabla 74, se aprecia los resultados obtenidos del ensayo de composición química de los residuos de mampostería. En esta, se puede observar que su composición principalmente está dada por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$  en cantidades predominantes.

Según el autor (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017), La arcilla roja se caracteriza por un bajo contenido de calcio y un mayor contenido de alúmina en comparación con la arcilla amarilla o negra. En esta situación, los residuos de ladrillo seleccionados y molidos para el desarrollo de esta investigación al tener mortero de cemento portland en su composición se puede presentar una variación en los componentes respecto al material de arcilla que se utiliza para la fabricación de mampuestos. A causa de esto, por medio de un microscopio electrónico de barrido, el autor realiza un análisis de microscopía electrónica de los residuos de mampostería (RM) molidos, con el fin de analizar la estructura de la superficie y composición química de la muestra, las imágenes obtenidas fueron tomadas a 500X y 1000X, las cuales se presentan en la figura 32, donde se observa que la morfología SEM del RM reveló diferentes tamaños de

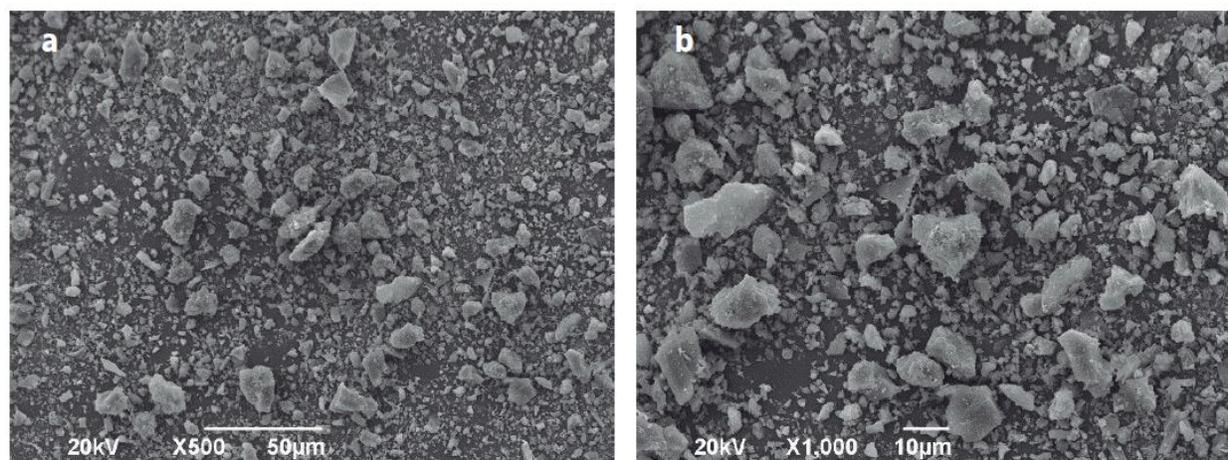
partículas no mayores a 30  $\mu\text{m}$ . Algunas partículas más finas que otras, con forma irregular.

**Tabla 74**

*Composición química del residuo de mampostería*

Componente	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	PI
% en peso	56,859	15,528	7,636	7,881	2,954	2,492	1,362	0,557	3,39

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).



*Figura 32.* Micrografía SEM del residuo de mampostería. a) 500X y b) 1000X.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

A continuación, se presentan dos figuras en las cuales se proyecta los resultados del RM sometidos a un análisis de difracción de rayos X (DRX) y un análisis simultáneo de termogravimetría (TGA / DTG) dados por el autor.

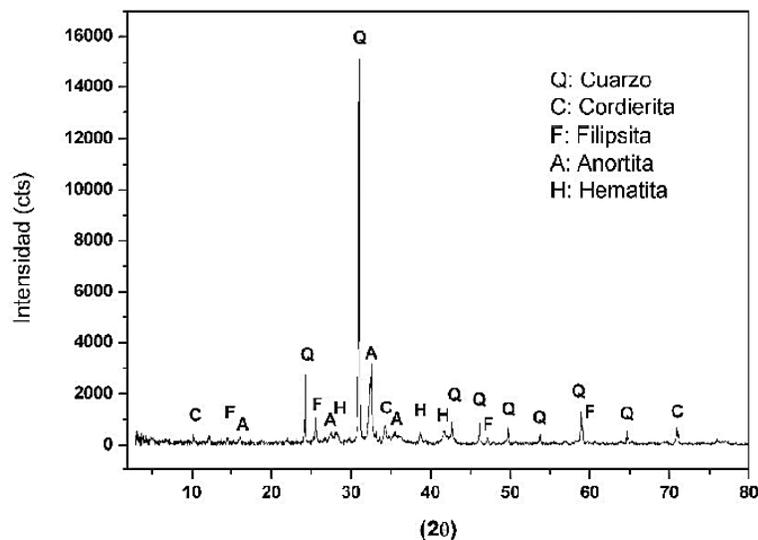


Figura 33. Patrón de DRX de residuo de mampostería.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

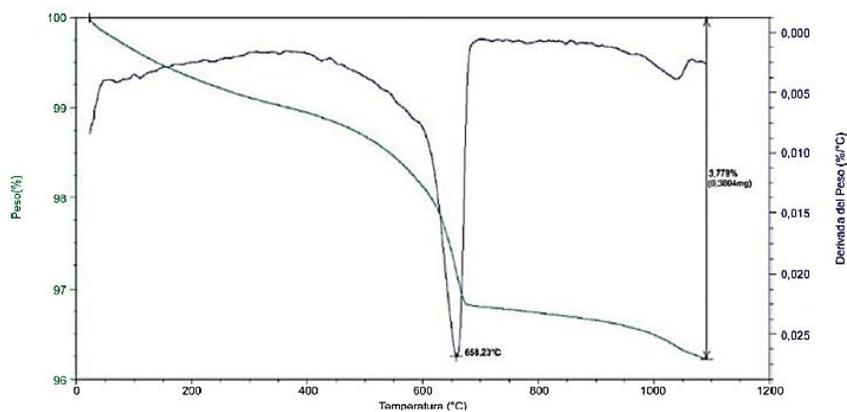


Figura 34. Resultados del análisis térmico diferencial del residuo de mampostería.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

La figura 33, muestra el patrón de difracción del residuo de mampostería experimentado obtenido por el análisis de difracción de rayos X (DRX). Se observan picos prominentes correspondientes al cuarzo (picos característicos en  $2\theta$  - 24,267; 31,032; 46,16; 49,718; 58,943; 64,69) y otros picos de minerales menos intensos, como albita, cordierita, anortita y hematita. El pico más intenso indica que la muestra tiene mucho cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), correspondiente a la arena existe en el mortero de pega y al cuarzo que se encuentra en el polvo del mampuesto reciclado

molido. Mientras que, la figura 34 muestra los resultados de los residuos de mampostería sometidos a un análisis termogravimétrico simultáneo (TGA / DTG). detectando los cambios asociados a pérdida de masa por la temperatura. Para determinar la pérdida de peso en las diferentes etapas de calentamiento hasta 1100 ° C se utilizó el TGA / DTG, detectando en el rango de 25 ° C a 150 ° C de temperatura una pérdida de peso relacionada con la humedad presente en la muestra. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

*c) Valoración de la actividad puzolánica:*

Como se mencionó anteriormente, se utilizaron dos métodos para determinar la evaluación de la actividad puzolánica del residuo de mampostería (RM). A continuación, se presentan los datos de los resultados dados por el autor de la investigación analizada por las autoras de este proyecto monográfico.

En el primer método, se evaluó la Puzolanicidad del material (RM) por la norma ASTM C618, la cual indica que el índice de actividad de puzolana (IAP) es uno de los estándares más importantes para determinar el rendimiento de las puzolanas. Según la norma ASTM C311, el IAP se calcula en base a la relación entre la resistencia a la compresión del mortero con 20% de incorporación de residuos (RM) y la resistencia a la compresión del mortero sin adición de residuos reciclados o mortero convencional. En la tabla 75, se relaciona los valores obtenidos en los ensayos de caracterización de propiedades físicas y químicas de las puzolanas RM de acuerdo con la norma ASTM C618, se analiza el rango y se identifica si este material cumple con lo establecido en la norma. Conforme con la Tabla 75, el RM cumple con los requisitos de la norma

ASTM C618, la suma de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> excede el 80%, y el IAP después de curar durante 28 días excede el valor límite especificado en la norma el cual es 75%. Puede decirse que, desde el punto de vista de la composición química y las propiedades mecánicas, el RM tiene el potencial de ser utilizado como un aditivo de puzolana natural. Sin embargo, el comportamiento puzolánico del material debe ser confirmado por otras técnicas que permitan el establecimiento de reactividad RM. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

**Tabla 75**

*Propiedades químicas y física de las puzolanas de acuerdo con la norma ASTM C618*

Requerimientos	Puzolana	
	clase N, ASTM C618	RM
<b>Requerimiento Químico</b>		
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	min, 70	80,023
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	Max, 4	0,557
Contenido de humedad (%)	Max, 3	0,21
Perdida por ignición (%)	Max, 10	3,39
<b>Requerimiento Físico</b>		
Índice de actividad Puzolanico (IAP) a 28 días, porcentaje de control.	min, 75	84,36

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

En el segundo método, se evaluó la puzolanicidad del material (RM) por el método químico de Frattini, este tuvo como finalidad complementar los resultados obtenidos de la actividad puzolánica de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C618, Este método evalúa los días activos de puzolana comparando los contenidos de [Ca<sup>2+</sup>] y [OH<sup>-</sup>] en la solución acuosa de muestras (80% cemento + 20% puzolana) que han sido hidratadas durante un tiempo determinado (7 y 28 días) a 40 ° C, utilizando la curva de solubilidad del hidróxido de calcio en solución alcalina a la misma temperatura. Dependiendo de la cantidad máxima de hidróxido de

calcio con que la puzolana pueda combinarse y la velocidad a la que ocurre esta reacción, el material estará en la región de la puzolana (por debajo de la isoterma de solubilidad) o en la región no puzolánica de la curva de saturación de Frattini. En la figura 35, se aprecia que después de 7 días de contacto entre materiales, debido al consumo insuficiente de iones de calcio y alcalinidad total, no se observa la actividad puzolana aceptable, por lo que RM está por encima de la isoterma de Ca (OH). Sin embargo, a los 28 días, la concentración de CaO en la solución disminuyó a medida que disminuía la alcalinidad, por lo que el RM logró ubicarse en la zona puzolánica volcánicas o de baja saturación. Este comportamiento indica que se produce una gran cantidad de hidróxido de calcio durante la hidratación del cemento Portland, que ha sido consumido por la reacción puzolánica, confirmando así los resultados obtenidos por el método mecánico (IAP). (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

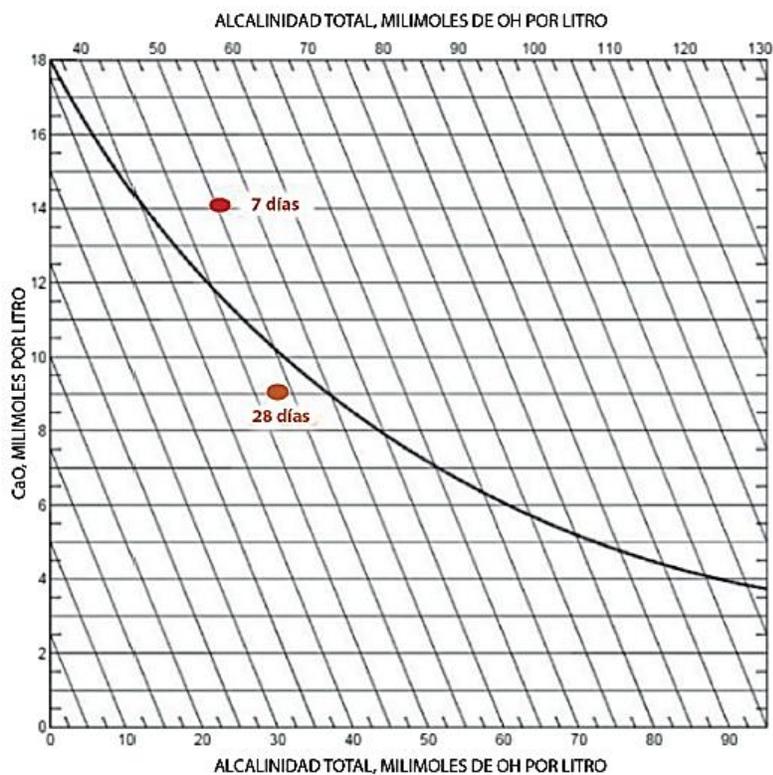


Figura 35. Diagrama de la prueba de Frattini para el residuo de mampostería.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

*d) Efecto de la incorporación del residuo de mampostería en diferentes proporciones en las propiedades del mortero en estado endurecido*

Luego de evaluar el comportamiento mecánico de las puzolanas del RM, los autores realizaron seis dosificaciones diferentes de mezclas de mortero, aumentando el porcentaje de incorporación de RM a la mezcla proporcionalmente, con las proporciones en peso de material cementante: 1:2,75 arena. en la tabla 76, se presenta la relación de dosificaciones y la designación de las mezclas utilizadas por el autor.

**Tabla 76**  
*Relación entre los porcentajes de residuos provenientes de mampostería utilizados y cemento Portland*

<b>Mezclas de mortero</b>	<b>% de RM incorporado</b>	<b>Relación Cemento Portland-RM</b>
M1 (Mezcla de control)	0%	(1,0-0,0)
M2	10%	(0,9-0,1)
M3	20%	(0,8-0,2)
M4	30%	(0,7-0,3)
M5	40%	(0,6-0,4)
M6	50%	(0,5-0,5)

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

La resistencia a la compresión de las mezclas de mortero elaboradas se evaluó bajo diferentes edades de curado 7, 28, 65 y 90 días, los resultados obtenidos se muestran en la figura 36. Se observa en la gráfica dada por el autor, que la resistencia a la compresión se ve afectada por el porcentaje de sustitución del cemento portland por RM, se aprecia una mayor disminución de la resistencia a medida que se aumenta el porcentaje de incorporación de RM. Lo que indica

que, el reemplazo parcial del cemento por RM conduce a menos resistencia. La influencia del decrecimiento es más importante a edades cortas como 7 y 28 días de curado. Se aprecia que la resistencia de la mezcla patrón se hace casi estable en el rango de 65 a 90 días de curado, mientras que los morteros con RM incrementaron continuamente hasta los 90 días de curado. En los morteros con RM, cuando el nivel de sustitución cambio de 0 a 10%, 20%, 30%, 40% y 50% la resistencia a la compresión se redujo en un 9,4%, 19,3%, 32,3%, 48,5% y 59,9% respectivamente a los 28 días y 7,1%, 13,1%, 24,4%, 38,43% y 48,42% a los 90 días. Esta reducción puede ser causado por dilución y baja reactividad de las sustancias reactivas presentes en los residuos RM principalmente a edades tempranas, por lo que el efecto puzolanico de la adición se evidencio a 90 días después del curado, decreciendo la diferencia entre la resistencia del mortero de referencia y las mezclas que contiene este residuo. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

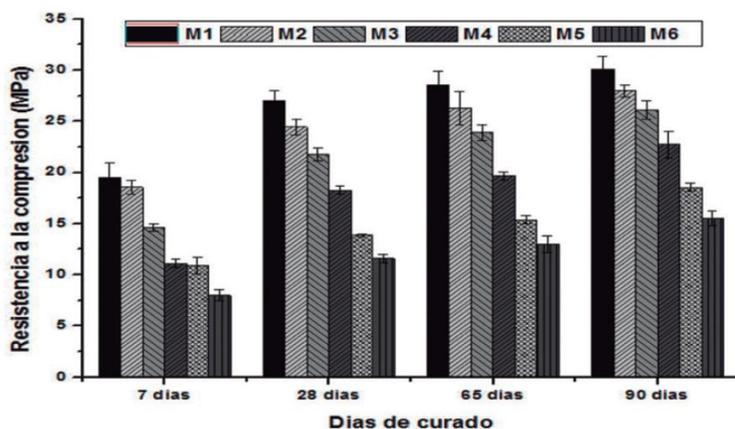


Figura 36. Resistencia a la compresión de morteros con RM.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

En la tabla 77, se registran los datos obtenidos por los autores en la prueba post-anova, realizada con el propósito de determinar cuál es la mezcla óptima de sustitución de cemento portland por RM en morteros a los 28 días de curado, dicha prueba se realiza empleando el

método Tukey a un nivel de significancia del 5%.

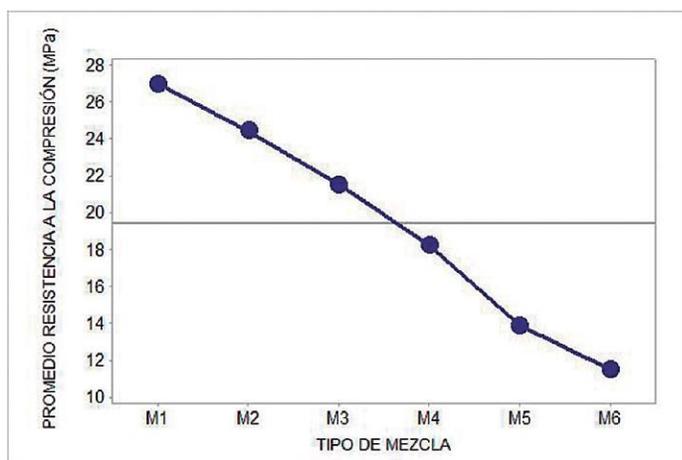
**Tabla 77**

*Prueba Post-Anova empleando el método Tukey*

Tipo de mezcla	N	Subconjunto					
		1	2	3	4	5	6
M6	3	11,52					
M5	3		13,89				
M4	3			18,26			
M3	3				21,51		
M2	3					24,46	
M1	3						26,99

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Se encontró que las mezclas M2 y M3 se hallan por encima de la media, ubicadas en el mismo grupo de la mezcla de referencia (M1), esto muestra que hasta un 20% de incorporación de residuos RM en la mezcla de mortero presentan resultados apropiados a los 28 días de curado, los cuales superan los 21 Mpa de resistencia, como se observa en la figura 37. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).



*Figura 37.* Gráfico de efectos principales de la resistencia a la compresión a 28 días de curado.

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Otras variables importantes medidas son la absorción, la densidad aparente y el volumen de poros permeables, que se calcularon de acuerdo con la norma ASTM C642 después de 28 días de curado. Los resultados se muestran en la tabla 78. Como se muestra en la tabla, la adición de RM aumenta el porcentaje de absorción y el volumen de los poros permeables y viceversa. Y la densidad aparente se reduce. Esto se puede atribuir al hecho de que debido a la presencia de RM, el agua de la mezcla no reacciona completamente y por lo tanto permanece libre en la estructura, y al evaporarse quedan poros en la mezcla. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

**Tabla 78**

*Resultados de absorción, densidad y porosidad de acuerdo con la norma ASTM C642*

Mezcla	% de absorción después de inmersión	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	% de Volumen de poros permeables
M1	11,62	2599	22,59
M2	11,91	2554	22,77
M3	12,28	2537	23,01
M4	12,7	2536	24,16
M5	13,4	2525	25,21
M6	13,54	2524	25,52

Fuente: (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Los autores (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017) concluyen esta investigación con lo siguiente: La caracterización del comportamiento físico y químico de los residuos provenientes de mampostería (RM), muestra que este material puede considerarse como material puzolánico, ya que, por medio de los ensayos realizados se obtuvo un IAP superior al 75%, valor estándar establecido en la norma ASTM C618 y en la prueba de Frattini muestra la fijación del calcio ubicándolo por debajo de la curva de saturación a los 28 días de curado.

Mientras tanto, en la resistencia a la compresión del mortero elaborado con material RM, se puede concluir que, independientemente del porcentaje de cemento portland que se sustituye por residuos del mampuesto molido, se presentaron valores inferiores de resistencia en comparación al mortero de referencia o mortero de la mezcla patrón (M1). Esta diferencia de disminución en la resistencia se hizo menor a medida que la edad de curación del mortero aumentó, lo que conlleva a que el RM es una adición de lenta reacción ya que a edades tempranas no aporta a la evolución de resistencias, por el contrario, afecta estos desarrollos por el efecto dilución. Por último, a modo de cierre en el aspecto arquitectónico, se puede decir que, los morteros elaborados con residuos RM puede ser interesante su utilización para fines de conservación, rehabilitación o restauración. Ya que, el RM presenta un color rojizo y al ser mezclado con cemento Portland otorga a la mezcla una pigmentación, generando en algunos casos prescindir de la necesidad de pinturas. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

Para finalizar el análisis monográfico de esta investigación, es importante mencionar que la implementación de esta alternativa además de tener una ventaja desde el punto de vista constructivo, desde una perspectiva medioambiental y económica se aprecia un mayor grado de importancia ya que se está dando un empleo apropiado a este residuo generando una disminución en el consumo de cemento portland, lo que conduce a menores emisiones de CO<sub>2</sub> derivado de la fabricación de este aglomerante, además de darle un uso a los grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición, lo que evita la necesidad de más zonas de disposición final. (Silva Urrego, Gordillo, & Delvasto Arjona, 2017).

### **3.2.3. Uso de RCD de ladrillo para morteros de albañilería en busca de una construcción sostenible.**

Este artículo presenta los resultados de una investigación experimental realizada entre el Department of Materials and Environment Engineering and Physics, University of Ancona (Departamento de Ingeniería y Física de Materiales y Medio Ambiente, Universidad de Ancona) y el Institute of Structural Engineering, University of Ancona (Instituto de Ingeniería Estructural, Universidad de Ancona), en diciembre del año 2003 en la ciudad de Ancona, Italia; Por G. Monconi, V. Corinaldesi y R. Antonucci. El objetivo principal de la investigación fue buscar nuevas áreas de aplicación de materiales reciclables de alta calidad procedentes de la construcción y/o demolición de edificios, encontrando en la elaboración de morteros, una alternativa viable para la utilización de estos materiales. El enfoque de la investigación estuvo orientado en dos experiencias, la primera en la utilización de estos residuos como material de agregado fino y la segunda como material cementicio. En la experiencia uno, los residuos utilizados fueron molidos, limpiados y tamizados, utilizando un porcentaje del material resultante en remplazo de la arena natural y luego fueron probados. Mientras que, en la experiencia dos, se molieron los residuos y se investigó el polvo de ladrillo como sustituto parcial del cemento para aquellos morteros que contenga cenizas volantes.

Según (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003), mencionan que, basado en características y resultados de la evaluación del desempeño, el mortero elaborado con la adición de agregado fino reciclado parece ser superior en lo que respecta a la fuerza de unión de mortero-ladrillo, se debe principalmente a sus propiedades. Además, al utilizar finos reciclados en lugar

de arena natural contribuye al concepto de desarrollo sostenible.

Además de esto, con el fin de evaluar la posibilidad de utilizar escombros de mampostería triturados como reemplazo de material cementoso, se realizó una investigación sobre las propiedades puzolánicas existentes del polvo de ladrillo. El comportamiento mecánico de la mampostería depende mucho más sobre la fuerza de unión entre ladrillo y mortero que en las propiedades mecánicas intrínsecas del mortero. La fuerza de unión es relacionada con la adherencia del mortero fresco al ladrillo. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003).

Las pruebas de laboratorio estandarizadas se utilizan para evaluar el desempeño de los morteros estándar o convencionales y para comprobar la viabilidad técnica de reciclar y utilizar en morteros los residuos generados por la industria de ladrillo. A continuación, se presentan una compilación de los materiales, procedimientos, resultados y datos útiles obtenidos de los ensayos realizados por los autores investigados.

### ***1. Materiales y procedimientos utilizados***

Se utilizaron tres tipos de materiales para la realización de las pruebas de laboratorio estandarizadas:

a) *Pastas*

Para la elaboración de la pasta se utilizó Cemento portland con caliza, de gama alta de Clinker, tipo CEM II/A-L 42.5 R de resistencia media-alta 42,5 MPa, según norma UNE-EN 197-1. Se estudió una sustitución del 30% (en masa) de una ceniza volante baja en calcio, Clase F según norma ASTM C 618 para el cemento. La finura Blaine de las cenizas volantes fue de 0,45 m<sup>2</sup>/g, y su gravedad específica de 2250 kg / m<sup>3</sup> y también se estudió una sustitución del 30% (en masa) de polvo de ladrillo molido para el cemento. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003). “Según Winkler y Mueller hay un límite del 40% en la sustitución de polvo de ladrillo molido para cemento, porque con mayor porcentaje no hay suficiente Ca (OH) para un completo reacción puzolánica” (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 703). Por medio del aparato de permeabilidad de aire (Blaine), se realiza el método de ensayo para determinar la finura del cemento hidráulico y finura de los materiales experimentados. Los resultados dados se aprecian en la tabla 79.

**Tabla 79**

*Composición química y finura Blaine de materiales pasando el tamiz ASTM No.170*

<b>Composición química y finura Blaine de los materiales que pasan por el tamiz ASTM No. 170</b>				
	<b>Cemento</b>	<b>Ceniza volante</b>	<b>Polvo de ladrillo</b>	<b>Polvo de escombros</b>
<b>Fineza de blaine (m<sup>2</sup>/g)</b>	0,42	0,45	0,33	0,73
	29,67	59,94	71,18	84,99
<b>Oxido (%)</b>	A <sub>2</sub> IO <sub>3</sub>	3,74	22,87	10,89
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80	4,67	4,95
	TiO <sub>2</sub>	0,09	0,94	0,28

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

“Tabla 79” “Continuación”

CaO	59,25	3,08	6,48	2,94
MgO	1,15	1,55	2,86	1,10
SO <sub>3</sub>	3,25	0,35	0,60	1,30
K <sub>2</sub> O	0,79	2,19	1,58	0,77
Na <sub>2</sub> O	0,26	0,62	1,18	0,41
L.O.I.*	11,62	3,34	1,83	26,57

En la tabla anterior (tabla 79) se puede apreciar la composición química y finura de todos los materiales experimentados. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003) mencionan que, se trituraron y molieron unos ladrillos rojos de alta combustión pasando el material molido por el tamiz n° 170 con apertura de 90 µm según ASTM, hasta obtener un polvo de ladrillo con una finura Blaine de 0,33 mVg (p.703) el cual se utilizó como sustituto de un porcentaje del material cementante. Se observa que el óxido que más destacó en el experimento del polvo de ladrillo fue el silicio con 71.18% de contenido; al compararlo con el Cemento portland utilizado, el cual contiene 29,67% de (SiO<sub>2</sub>) se nota un aumento de silicio de aproximadamente 139.90%. En cuanto al óxido de calcio (CaO) se evidencia que existió una disminución bastante notoria en el experimento del polvo de ladrillo aproximadamente un 89,06% de disminución respecto al cemento portland.

Para comparar los cambios en el comportamiento reológico del mortero provocados por la adición y sustitución del polvo de ladrillo, se estudió también la sustitución del 30% (masa) de cenizas volantes, polvo de arena de cemento por piedra triturada y polvo de escombros. A través del tamiz N ° 170 con apertura de 90 µm según ASTM, se pudo obtener el polvo de la arena y escombros, dando una finura Blaine de 0,30 y 0,73 m<sup>2</sup> / g, respectivamente. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003). En la siguiente tabla 80, se muestra la dosificación

utilizada para las mezclas de pasta estudiadas, se observan cinco tipos de mezcla Cem(Cemento), Cem+FA(Cemento + ceniza volante), Cem+PB(Cemento+ Polvo de ladrillo), Cem+PR(Cemento + polvo de escombros) y Cem+PS(Cemento + polvo de arena). En la primera se elabora la pasta con solo cemento, ósea convencional, mientras que en los otros tipos de pasta se elabora con una proporción (70:30), 70% de cemento portland y 30% del material adicionado como ceniza volante, polvo de ladrillo, polvo de escombros y polvo de arena.

**Tabla 80**  
*Proporciones de la mezcla de pasta*

Proporciones de la mezcla de pasta							
Mezcla	A/C	Proporciones de la mezcla, g					
		Agua	Cemento	Ceniza volante	Polvo de ladrillo	Polvo de escombros	Polvo de arena
Cem	0,50	50	100	-	-	-	-
Cem+FA	0,60	60	70	30	-	-	-
Cem+PB	0,50	50	70	-	30	-	-
Cem+PR	0,55	55	70	-	-	30	-
Cem+PS	0,45	45	70	-	-	-	30

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

“El contenido de agua de cada pasta se estableció para lograr un caudal dado, correspondiente a un tiempo de 30 segundos para 500 ml de pasta de cemento para fluir a través del cono Marsh (8 mm de diámetro interior)” (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 703).

#### *b) Morteros*

En la fabricación del mortero se utilizó la fracción fina de áridos reciclados en un porcentaje de remplazo de la arena natural, este material fue suministrada directamente por una

planta trituradora industrial en Villa Musone, Italia, en la que los escombros de la demolición de edificios se seleccionan adecuadamente, molido, limpiado y tamizado. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 703). En la figura 38, se muestra la distribución granulométrica de los áridos utilizados resultante del ensayo de granulometría, para ambos áridos se empleó un tamaño de partícula máximo de 6 mm; y en la tabla 81 señala las proporciones de la mezcla de mortero utilizadas.

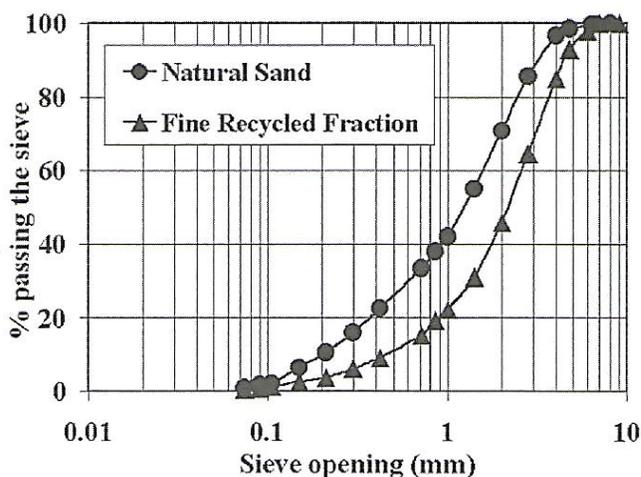


Figura 38. Distribución granulométrica de los áridos utilizados.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

**Tabla 81**

*Proporciones de mezcla de mortero*

Proporciones de la mezcla de mortero							
Mezcla	W/CM	Proporciones de la mezcla, kg/m <sup>3</sup>					
		Agua	Cemento	Arena natural	Agregado reciclado	Ceniza volante	Polvo de ladrillo
Ref	0,50	225	450	1350	-	-	-
RA	0,60	300	450	-	1350	-	-
PB	0,50	250	315	1350	-	-	135
FA	0,45	225	315	1350	-	135	-

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

En condiciones de secado de superficie saturada, la gravedad específica de la arena natural y el polvo fino reciclado es de 2620 kg / m<sup>3</sup> y 2150 kg / m<sup>3</sup>, y la absorción de agua fue de aproximadamente 3% y 10%, respectivamente. La relación cemento / arena que se utilizó fue de 1: 3 (en masa); evaluado según la norma EN 1015-3, el contenido de agua de cada mortero se coloca para alcanzar la misma consistencia de  $110 \pm 5$  mm. Cuando se utiliza arena con material reciclado, fue necesario utilizar una mayor dosis de agua respecto a la arena natural, dado que la arena reciclada tiene una mayor tasa de absorción de agua que la arena natural. Con el propósito de mantener la misma consistencia que los otros morteros estudiados. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 703). En la tabla 3, se observa las proporciones dadas para cuatro tipos de mezcla de mortero, el primero es el mortero de Ref o convencional, el segundo el elaborado con cemento portland y agregado fino reciclado (AR) en su totalidad ósea un 100%; y los dos últimos son morteros elaborados con un porcentaje de sustitución del cemento portland por polvo de ladrillo(PB) y ceniza volante(FA) en una proporción de (70:30), 70% de cemento portland y 30% del material adicionado.

### *c) Ladrillos*

En la tabla 82 que se encuentra a continuación, se registra el comportamiento físico y algunas características de absorción y porosidad de los dos tipos de ladrillos que se probaron en este experimento. Los cuales fueron uno rojo y uno amarillo quemado. La tasa de absorción inicial (IRA) representa la masa de agua absorbida por unidad de área en 1 minuto por la cara del ladrillo en contacto con el mortero cuando se sumerge a una profundidad de 3 mm en agua; generalmente, el IRA (Inicial Rate Absorption) se expresa en kg / m<sup>2</sup> / min. (Moriconi,

Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 704).

**Tabla 82**  
*Absorción, porosidad y características mecánicas de los ladrillos*

<b>Absorción, porosidad y características mecánicas de los ladrillos.</b>		
	<b>Ladrillo amarillo</b>	<b>Ladrillo rojo</b>
Absorción de agua después de 24 h (% en peso)	35	19
IRA* (kg/m <sup>2</sup> /min)	5,94	2,42
Porosidad abierta total** (%)	60	43
Diámetro de poro medio** (µm)	0,6	1,8
Fuerza compresiva (Mpa)	8,28	10,89
Módulo elástico dinámico (Mpa)	8850	9150

*Nota:* \* tasa inicial de absorción; \*\* determinado mediante el uso de la técnica de intrusión de mercurio. Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

## **2. Resultados**

Se realizaron cinco tipos de ensayos para evaluar la viabilidad de los morteros elaborados con material reciclado, estos fueron: la caracterización reológica de pastas, caracterización química de morteros, caracterización de la estructura porosa de los morteros, resistencias a la compresión y a la flexión de morteros y la resistencia de la unión del mortero a las unidades de mampostería (adherencia).

A continuación, se reseñan los resultados obtenidos por (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003) en su investigación:

a) *Caracterización reológica de pastas*

En este ensayo se analizó el comportamiento reológico de las pastas de cemento mediante modelo de flujo de Bingham que se describe a continuación:

$$\tau = \tau_y + \eta \cdot D$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $\tau_y$  es el límite elástico (Pa),  $\eta$  es la viscosidad plástica (Pa·s) y  $D$  es la velocidad de corte ( $s^{-1}$ ).

En la figura 39, se observan las curvas de bingham extrapoladas obtenidas a partir de pruebas experimentales probadas a los 35 minutos, después de mezclar los ingredientes. La pendiente de la curva descendente (disminución del flujo de cizallamiento) fue utilizada para calcular la viscosidad plástica, mientras que el interceptar a una tasa de cizallamiento cero se usó para calcular el límite elástico. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 704).

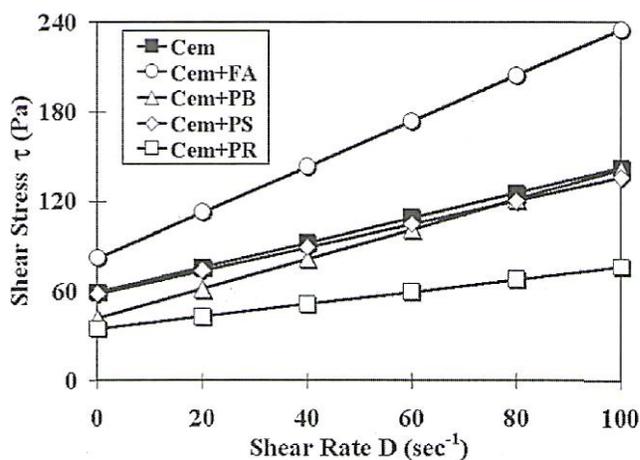


Figura 39. Curvas de Bingham después de 35 minutos desde que los ingredientes mezclando.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

Se puede observar en la gráfica anterior, en la cual se registra el esfuerzo cortante  $\tau$  (Pa) Vs. la velocidad de corte  $D$  (s<sup>-1</sup>), que el comportamiento de la curva (Cem) pasta elaborada con solo cemento portland y el de la curva (Cem+PB) pasta elaborada con 70% de cemento portland + 30% de adición de polvo de ladrillo son muy similares.

Mientras que, en la figura 40, se registran los valores medidos del límite elástico en función del tiempo. Se puede observar que la pasta que contiene polvo de escombros permanece el valor mínimo de tensión de fluencia a lo largo de la prueba; Además, esta pasta podría mantener su trabajabilidad por más tiempo, porque el tiempo para lograr el valor umbral del esfuerzo cortante para la interrupción de la prueba (tan alto como 380 Pa) fue doble con respecto a los otros morteros. En tanto, la mejor adherencia entre el mortero y el ladrillo debe esperarse como una consecuencia de este particular comportamiento reológico del mortero que contiene escombros en polvo. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 705)

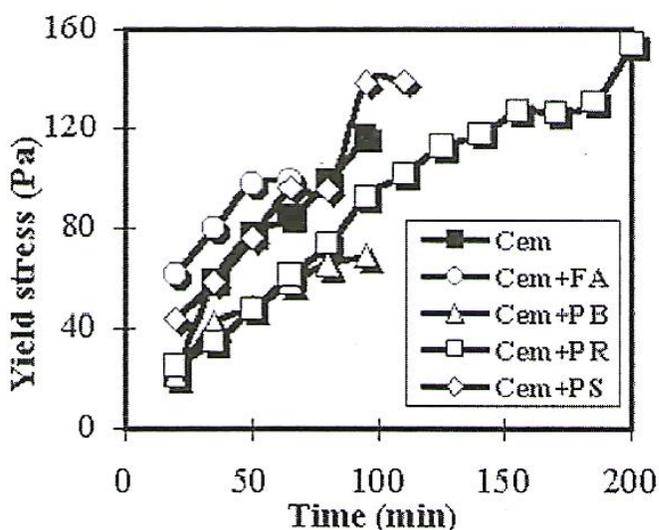


Figura 40. Valores de tensión de rendimiento graficados en función del tiempo.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

b) *Caracterización química de morteros*

El objetivo de este ensayo fue identificar el comportamiento químico de los morteros con adición de material reciclado según proporciones de mezcla registradas en la tabla 81. “El hidróxido de calcio, así como carbonato de calcio, en los morteros se determinaron por diferencial térmico análisis; los resultados se muestran respectivamente en las figuras 41 y 42, en función del tiempo de curado hasta 70 días”. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 705).

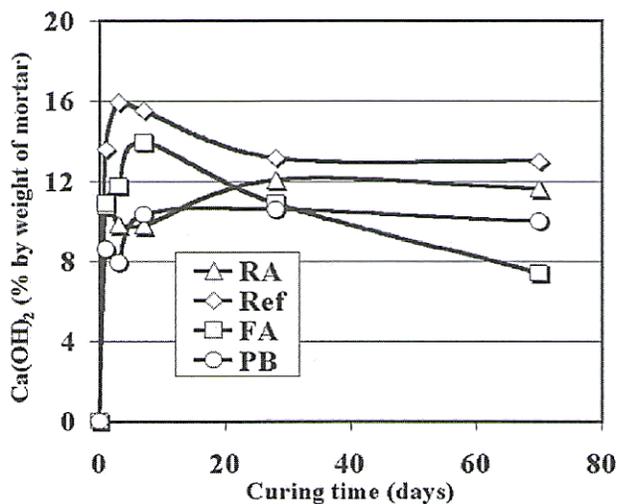


Figura 41. Contenido de hidróxido de calcio de los morteros en función de tiempo hasta 70 días de curado.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

En la anterior figura, se observa la actividad puzolánica de los morteros estudiados. En el caso de aquel que contiene cenizas volantes (FA) se notó una mayor actividad puzolánica y se observa registra un menor contenido de hidróxido de calcio a los 70 días de curado con respecto al demás morteros estudiados. En cuanto al mortero elaborado con sustitución de polvo de ladrillo, se aprecia que el comportamiento de la curva a los primeros 10 días de curado aumenta

linealmente pero luego del día 10 adopta un comportamiento constante hasta completar los 70 días de curado, manteniéndose en el rango de 8%-12% de contenido de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; rango que también se evidencio adoptó el mortero de referencia.

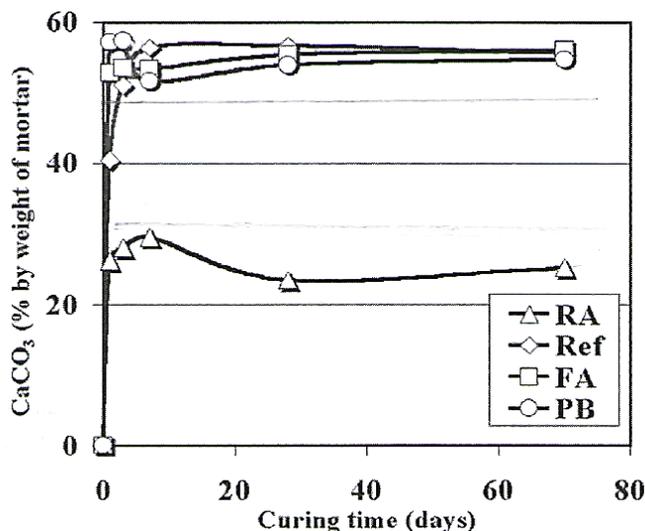


Figura 42. Contenido de carbonato de calcio de los morteros en función de tiempo hasta 70 días de curado.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

Con respecto a la figura anterior se aprecia que el mortero elaborado con material reciclado (RA) registra un menor contenido de piedra caliza ó contenido de carbonato de calcio y el mortero elaborado con sustitución de polvo de ladrillo, se aprecia en el comportamiento de la curva que fue muy similar al mortero de referencia, manteniendo valores aproximados de  $\text{CaCO}_3$ .

Mientras que, en la figura 43 se registran los resultados del análisis de difracción de rayos X de los morteros, el cual consiste en determinar el análisis de los materiales estudiados de forma más detallada. Un análisis de difracción de rayos X del agregado reciclado el mortero

confirmó tanto un contenido más bajo de piedra caliza como una mayor presencia de sílice de productos cementosos en el mortero elaborado con escombros, después de 70 días de curado no se encontraron sustancias peligrosas en ninguno de las muestras (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 705).

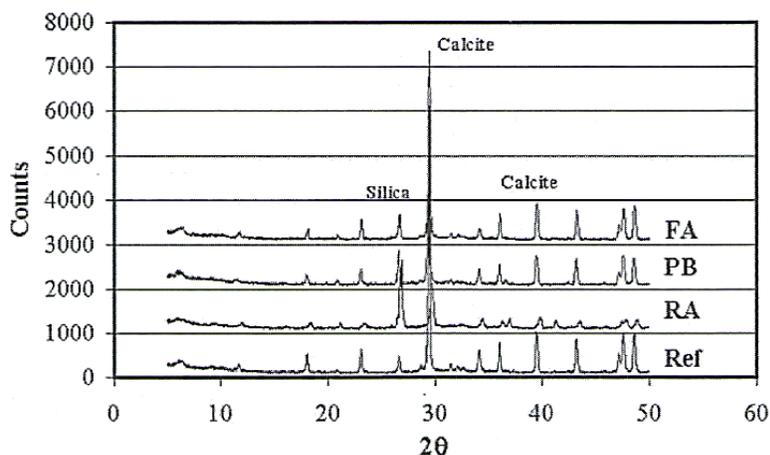


Figura 43. Resultados del análisis de difracción de rayos X de los morteros.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

### c) Caracterización de la estructura porosa de los morteros

La porosidad es una de las propiedades más importantes en los morteros de pañete, por tal motivo es de gran consideración resaltar los resultados obtenidos en este ensayo. Según (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003) mencionan en su investigación que para la realización del ensayo se probaron tres especímenes para cada mortero a los 1, 3, 7, 14 y 28 días de curación a través de la intrusión de mercurio. En la figura 44, se observan los valores de porosidad abierta total calculados como promedio de los resultados de la prueba en tres muestras secas. Para cada tiempo de curado, el mortero que contiene la fracción delgada reciclada (RA) mostró la mayor porosidad abierta total debido a un agregado más poroso (p.705). Mientras que,

el mortero elaborado con sustitución de polvo de ladrillo (PB), se aprecia en el comportamiento de la curva que fue muy similar al comportamiento de la curva del mortero de referencia (Ref), manteniendo porcentajes aproximados de porosidad abierta total.

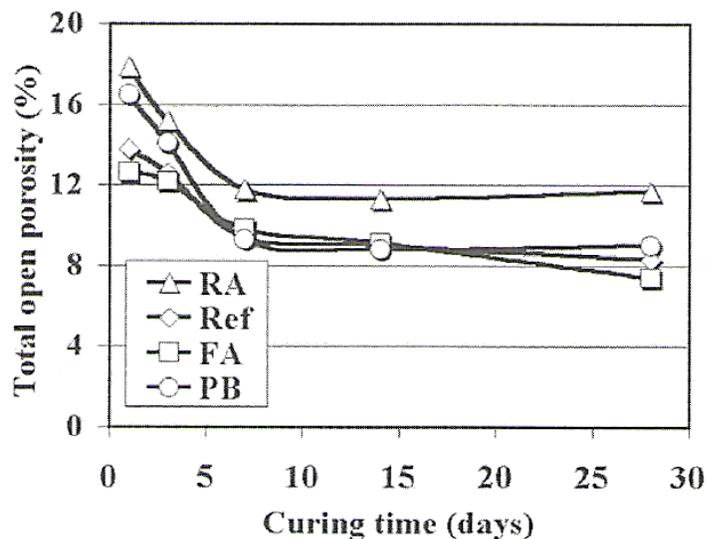


Figura 44. Evolución de la estructura de los poros hasta los 28 días de curado.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

#### d) Resistencias a la compresión y a la flexión de morteros

Para la ejecución de este ensayo se realizaron muestras prismáticas de (40 x 40 x 160 mm) fabricadas, fundidas y curadas en húmedo a 20 ° C. La resistencia a la compresión y a la flexión de morteros se evaluaron de acuerdo con la norma EN 196. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003) en las figuras 45 y 46 respectivamente, se muestran los resultados obtenidos. Se observa que el mortero elaborado con material de agregado reciclado y el mortero elaborado con material de ladrillo obtuvieron las menores resistencias.

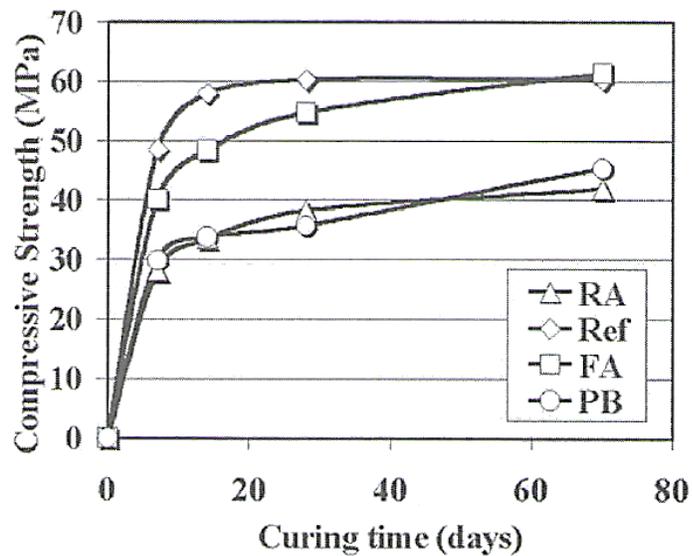


Figura 45. Desarrollo de la resistencia a la compresión en función de hora de curar.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

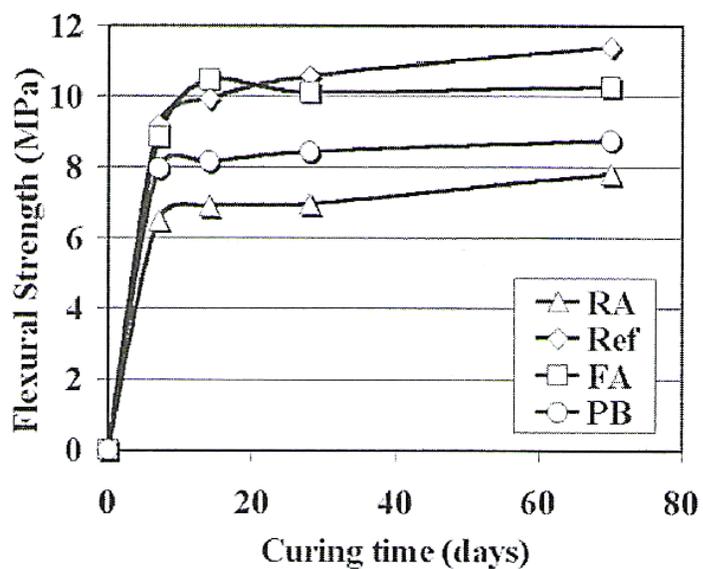


Figura 46. Desarrollo de la resistencia a la flexión en función de hora de curar.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

En la siguiente figura, (figura 47) se muestran los resultados del módulo de elasticidad tangente, el cual se midió a partir de la curva tensión-deformación en el punto de interés, que corresponde a aproximadamente la mitad de la resistencia a la compresión del mortero. Se puede apreciar que el mortero que contiene cenizas volantes (FA) tiene aproximadamente la misma rigidez que el mortero de referencia (Ref) y los morteros que contienen polvo de ladrillo (PB) y el agregado reciclado (RA) tienen menor rigidez, por tanto, una menor resistencia a la compresión. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003).

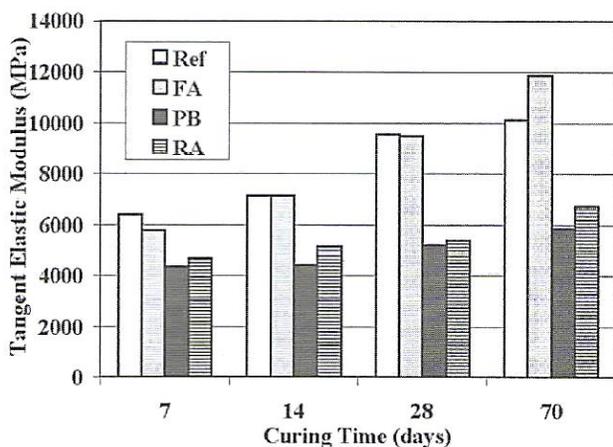


Figura 47. Valores del módulo elástico tangente en diferentes tiempos de curado.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

e) *Resistencia de la unión del mortero a las unidades de mampostería*

El ensayo analizado en este inciso, es también uno de los más importantes a tener en cuenta en la compilación de esta monografía, ya que nos ayuda a determinar la adherencia de los morteros estudiados, en especial el elaborado con residuos de ladrillo. La propiedad de adherencia en mortero de construcción para pañete es una de las principales.

Para la realización de este experimento se utilizaron dos tipos de ladrillos de mampostería, ladrillo amarillo y ladrillo rojo. En la figura 48 se observa el registro de los resultados obtenidos mediante un diagrama de barras simple. En ellos se reconocen los valores máximos de fuerza de adherencia en cada muro estudiado.

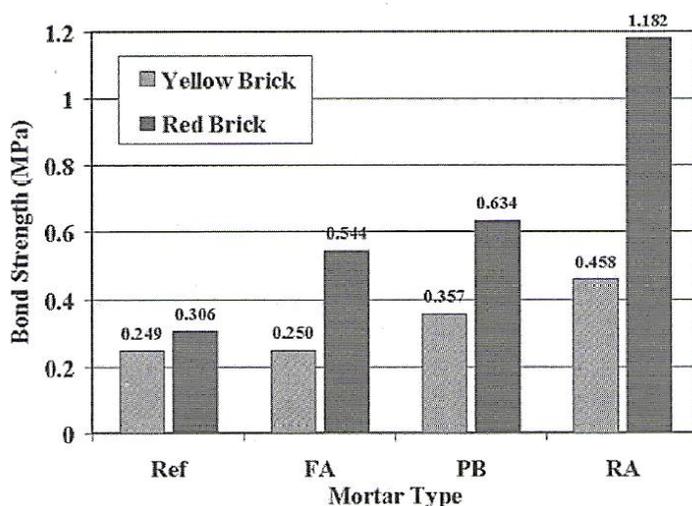


Figura 48. Valores máximos de fuerza de adherencia.

Fuente: (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003)

En particular, se obtuvo una fuerza de unión muy alta entre los ladrillos rojos y el mortero de áridos reciclados. Observando los datos reportados en la tabla 82 no es sorprendente que el ladrillo rojo funciona bien, principalmente debido a una tasa inicial de absorción cuyo valor estuvo alrededor de  $2 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{min}$ , en correspondencia con el valor recomendado para obtener la máxima adherencia. Una buena adherencia de los ladrillos de mortero depende principalmente de la calidad de la zona interfacial; de hecho, el mortero con agregado reciclado a pesar de tener el peor comportamiento mecánico, mostró la mejor adherencia. También los morteros que

contienen cenizas volantes o polvo de ladrillo mostraron mejores propiedades de adherencia en las mamposterías experimentadas, con respecto al mortero de referencia. Aunque la fuerza de adherencia no era tan alta como en el caso de mortero de áridos reciclados. Este hecho podría estar relacionado con los valores del límite elástico medidos en las pastas correspondientes; como obtenible de la comparación de las curvas reportadas en figura 40 con los histogramas reportados en figura 48, un rendimiento menor, la tensión de las pastas corresponde a una mayor fuerza de unión de morteros. También la menor rigidez de los morteros "RA" y "PB", como se muestra en la figura 47, podría desempeñar un papel en la mejora del comportamiento del mortero cuando se somete a la prueba de resistencia de la unión. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003).

Para finalizar el análisis de resultados es importante mencionar las conclusiones dadas por los autores de esta investigación. Según (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003), concluyen que, la presencia de la fracción fina del ladrillo molido en reemplazo de árido agregado natural es conocido por perjudicar a las propiedades mecánicas del mortero. Sin embargo, los resultados experimentales obtenidos en esta investigación mostraron la viabilidad de utilizar arena reciclada en lugar de natural o polvo obtenido por molienda de ladrillos como sustitución parcial del cemento para la producción de morteros (p.707).

Además, en el caso de que se requiera una alta resistencia a las capacidades externas de la mampostería sea uno de los requisitos de diseño, estos morteros experimentados, en particular los que contienen agregados reciclados, podrían ser de gran ventaja en términos de desempeño mecánico. De hecho, se encontró una excelente fuerza de unión, en particular cuando se unió la

mampostería con ladrillos rojos y el mortero elaborado con agregado reciclado, y debido a la baja tixotropía que presenta ese mortero y la distribución adecuada del tamaño del poro de esos ladrillos. Por otra parte, las evaluaciones de resistencia de la unión de mortero-ladrillo mostraron una fuerte influencia tanto de la distribución del tamaño de los poros del ladrillo como de la reológica comportamiento del mortero en su mutua adherencia. (Moriconi, Corinaldesi, & Antonucci, December 2003, pág. 707). De esta manera, se puede decir que el uso alternativo de fracciones de material reciclado de ladrillo para la producción de mortero tiene el efecto añadido de ser una alternativa viable y mejorar la calidad del proceso de selección de materiales, aportando con esta metodología impactos medioambientales positivos.

### **3.3. Morteros de albañilería elaborados con un porcentaje de reemplazo de áridos reciclados mixtos**

#### **3.3.1. Efecto de los agregados finos procedentes de escombros mixtos en las prestaciones mecánicas de los morteros de construcción**

En este inciso se estudia una investigación elaborada por P. Saiz Martínez y M. González Cortina del Technical University School of Architecture, Madrid Polytechnic University (Madrid, Spain) y F. Fernández Martínez de la University school of Technical Industrial Engineering, Technical University of Madrid (Madrid, Spain), titulada Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties (Caracterización e influencia de los áridos finos reciclados en las propiedades de los morteros de mampostería).

Cuyo objetivo principal fue “la caracterización físico-química del árido reciclado de fracción fina y estudiar la viabilidad de incorporar este material en la producción de morteros de mampostería.” (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

A continuación, se reseñan los materiales, metodología utilizada y resultados obtenidos de la investigación elaborada por P. Saiz Martínez, M. González Cortina y F. Fernández Martínez.

### ***1. Materiales***

Para el desarrollo de la investigación se utilizó CEM II / B - L 32,5 N; árido fino natural proporcionados por el Instituto Eduardo Torroja, arena reciclada procedentes del proceso de reciclaje de cerámica y hormigón aportada por dos Plantas Integradas de Tratamiento de Residuos de Construcción y Demolición situada en la Comunidad de Madrid. Los áridos finos reciclados RA-1 y RA-2 de la planta “Palentina” pertenecientes al proceso de reciclaje cerámico y al proceso de reciclaje del hormigón respectivamente; el agregado RA-3 de la planta “Molar” se originó en el proceso de reciclaje del concreto. Los porcentajes de áridos finos reciclados en sustitución de la arena estándar son: 10%, 15%, 25%, 35% y 45%. Se utilizó aditivo superplastificante Rheobuild 2100 de BASF Company para preparar morteros con arena estandarizada sustituida por agregado fino reciclado en niveles superiores al 10% y agua tratada. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015) La relación de volumen utilizada en la prueba es de 1: 3: 0,5. (Cemento-agregado-agua).

## 2. Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo experimental fue la siguiente: caracterización de áridos reciclados, proporciones de mezclas de mortero y el programa de ensayos realizados. “La distribución de tamaños es una de las propiedades más importantes de los agregados, porque afecta la compacidad, trabajabilidad y resistencia del mortero” (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

Según (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015) los tres tipos de agregados finos reciclados cumplen con los límites de tamaño superior e inferior y el porcentaje máximo de escombros especificado por el estándar de mortero de mampostería. La distribución del tamaño de partícula del agregado fino reciclado fue determinada por la norma. UNE-EN-933-2 y UNE-EN-933-1. (p.3). En la figura 49 que se muestra a continuación se aprecian los resultados del ensayo de determinación de la distribución granulométrica.

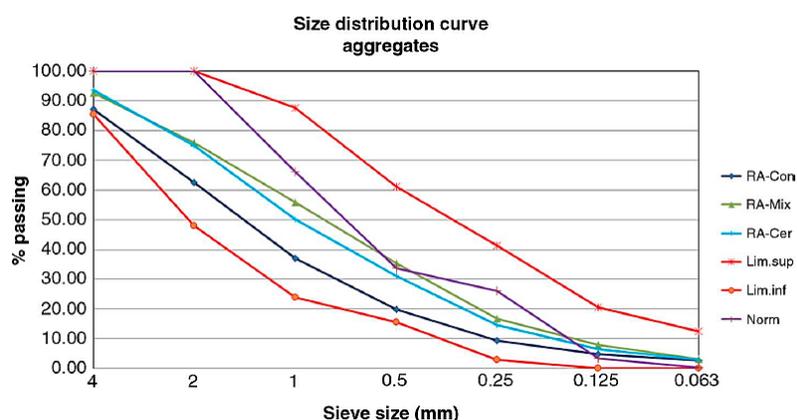


Figura 49. Curva de distribución del tamaño del agregado reciclado respecto a los límites de NBE.FL 90 adaptada al tamaño de tamiz establecido por UNE-EN-933-2.

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

De la anterior figura, se puede observar una curva de distribución de tamaño continua, y las principales fases cristalinas identificadas fueron cuarzo, calcita y yeso. Las pruebas de resistencia a la compresión, contracción y adherencia muestran que el rendimiento del mortero reciclado es deficiente en comparación con el mortero tradicional; sin embargo, el valor específico está dentro del rango establecido por el fabricante y las normativas. Esta investigación muestra que el mortero a base de cemento con una relación de volumen de 1: 3: 0,5 puede contener hasta un 45% de árido fino reciclado sin que las propiedades ensayadas se vean afectadas con pérdidas significativas. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

En la tabla 83, se muestra un resumen de los datos obtenidos del ensayo para determinar las características físicas de áridos reciclados, en cuanto al contenido fino, forma de partículas, módulo de finura, densidad aparente, densidad relativa y absorción de agua.

**Tabla 83**  
*Resumen de características de áridos reciclados*

<b>Características de los agregados</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Norma</b>	<b>RA 1</b>	<b>RA 2</b>	<b>RA 3</b>	<b>Estandarizado</b>
Buen contenido	UNE-EN-933-1	4,53%	4,22%	3,91%	0,12%
Forma de partícula	UNE-EN-13139	No relevante	No relevante	No relevante	No relevante
Módulo de finura	UNE-EN-13139	4,77%	4,12%	4,26%	3,71%
Densidades a granel (kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN 1097-3	1210	1130	1320	1666
Densidad relativa (kg/m <sup>3</sup> )	UNE-EN-1097-6	2130	2040	2100	2550
Absorción de agua	UNE-EN-1097-6	7,48	6,35	6,12	0,68

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

Mediante el método de fluorescencia de rayos X, se analizaron los tres tipos de muestras de AR, los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 84 que se presenta a continuación.

**Tabla 84**  
*Análisis químico de RA*

Análisis químico de RA												
Muestras	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	SiO <sub>2</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	L.Perdida%
RA-1	10,3	16,9	2,85	2,36	1,79	43,5	-	0,37	4,32	0,12	0,82	16,5
RA-2	6,18	11,4	1,57	2,17	0,61	67,5	0,024	0,17	-	0,08	0,35	9,5
RA-3	6,98	10,67	1,22	2,16	0,54	68,2	0,022	0,15	-	0,1	0,22	9,4

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

Como se puede observar, la fracción fina de tres tipos de áridos reciclados está compuesta principalmente por silicatos, siendo la mayoría de ellos silicatos de calcio y aluminio.

En la siguiente tabla 85, se observa las proporciones de mezclas de mortero empleadas, se utilizó una proporción única para la preparación de morteros reciclados: 1: 3: 0,5 (cemento, arena y agua respectivamente), tomando como referencia arena estandarizada. Los porcentajes de áridos finos reciclados utilizados fueron: 10%, 15%, 25%, 35% y 45% para tres tipos de áridos reciclados. El diseño de la mezcla se lleva a cabo en dos etapas, la primera etapa no utiliza aditivos. El segundo está elaborado con el aditivo Rheobuild 2100. Según los datos técnicos, este aditivo puede reducir el contenido de agua del mortero manteniendo la trabajabilidad y mejorando su resistencia, durabilidad y retracción. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

**Tabla 85**  
*Proporciones de mezclas de mortero*

	<b>M-Ref.</b>	<b>RA-10%</b>	<b>RA-15%</b>	<b>RA-25%</b>	<b>RA-35%</b>	<b>RA-45%</b>
Arena estándar	1350	1215	1147,5	1012,5	877,5	742,5
Agregado reciclado	-	135	202,5	337,5	472,5	607,5
Agua	225	225	225	225	225	225
Cemento	450	450	450	450	450	450
% Aditivo	-	-	2%	2%	2%	4%

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

### **3. Resultados experimentales**

El procedimiento de prueba se dividió en dos etapas: En la primera etapa, las muestras de agregados finos recicladas se caracterizan y prueban para determinar su consistencia, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión. En la segunda etapa, una vez analizados todos los resultados obtenidos previamente, se prueba la fuerza de unión y la contracción de los lotes de mejor desempeño en la primera etapa. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

#### *a) Propiedades físicas de los áridos finos*

Según (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015), el mortero de cemento elaborado con agregado reciclado puede causar un rendimiento deficiente en las propiedades mecánicas, como una densidad más baja y una tasa de absorción más alta en comparación con la arena natural. Dado que se pueden crear poros en el interior del material

después de que el agua se evapora, esta característica puede tener un impacto negativo en las propiedades mecánicas del mortero reciclado. La alta tasa de absorción del árido fino reciclado afecta la proporción de mortero, haciendo necesario el uso de aditivos en morteros con un nivel de sustitución superior al 10%. Los coeficientes de absorción de agua de los áridos de hormigón reciclado RA 2 y RA3 son 6,35 y 6,12, respectivamente. Los datos se registran en la tabla 83.

#### *b) Consistencia*

Una de las principales desventajas de este material es su trabajabilidad. La prueba de consistencia determina la cantidad de agua necesaria para hacer un mortero con suficiente trabajabilidad como se muestra en la figura 50, mezclar agregados reciclados reducirá la consistencia del mortero, por lo que se necesitan aditivos para promover la mezcla de varios compuestos. A medida que aumenta el porcentaje de árido reciclado mezclado, fue necesaria la adición de las proporciones de aditivo para obtener valores de consistencia entre 165 mm y 185 mm según la norma UNE-EN 1015-3. La cantidad de aditivos incorporados varía del 2% al 4% en peso del cemento. En ningún caso se superará el valor límite establecido por el fabricante. Otra posibilidad para mejorar la trabajabilidad es ajustar la cantidad de agua para reducir la tasa de incorporación de aditivos. Con relación al lote de referencia, la pérdida de consistencia obtenida al incorporar 45% de agregado reciclado fue de 11%, 11.5% y 7% para los agregados RA-1, RA-2 y RA-3, respectivamente. Sin embargo, otros estudios han demostrado que mezclar hasta un 15% de concreto fino y un 10% de agregado cerámico fino tiene una mejor consistencia. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

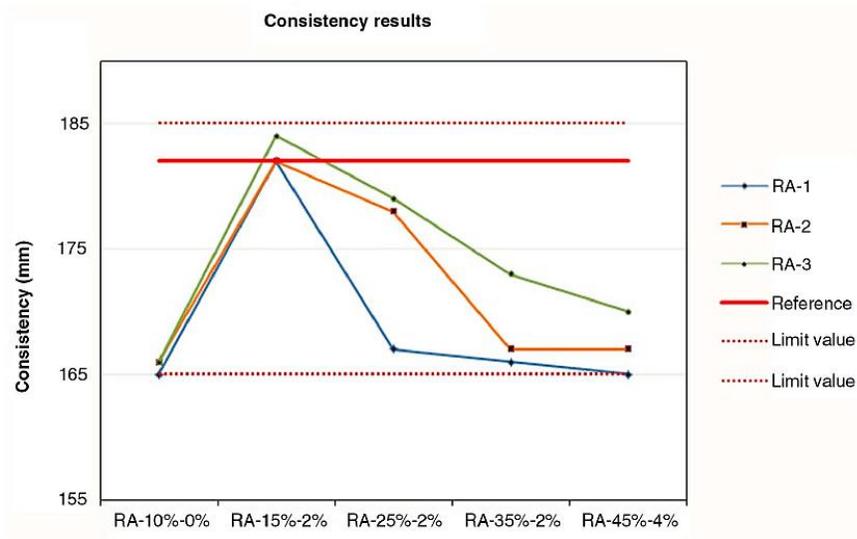


Figura 50. Resultados de la prueba de consistencia.

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

### c) Resistencia a la compresión y a la flexión

La resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión se evalúan según la norma UNE-EN 1015-11 y se prueban después de 28 días de curado. En cuanto a la resistencia mecánica, los resultados de resistencia a la compresión de los tres tipos de morteros reciclados, los cuales se observan en la figura 51, son menores en comparación con las muestras de referencia. Las reducciones de resistencia de los lotes que contenían 45% de agregado reciclado fueron: 23,8%, 32,9% y 23,8% para RA-1, RA-2 y RA-3 respectivamente. Sin embargo, de acuerdo con las normas existentes, el valor mínimo aceptable de resistencia a la compresión es de 7,5 MPa. Por tanto, no es necesario modificar las proporciones del mortero. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

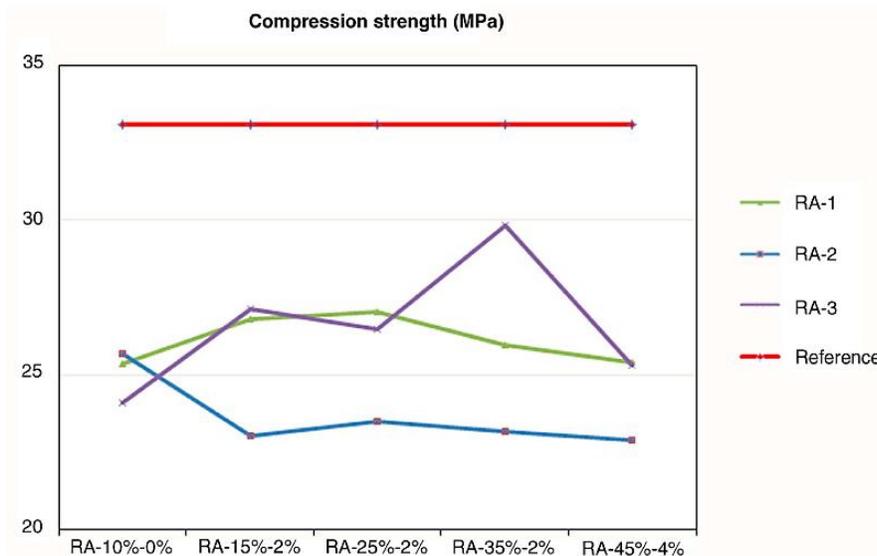


Figura 51. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

Por otro lado, en la figura 52, se muestran los resultados de resistencia a la flexión de los tres tipos de morteros reciclados estudiados, mostraron valores más altos en comparación con las muestras de referencia. La mezcla RA-3 preparada con residuos de la planta “Molar” destaca el equipo de procesamiento, con un valor promedio superior a 6 MPa. Cuando la tasa de reemplazo del agregado reciclado alcanza el 45%, la mejora de los agregados RA-1, RA-2 y RA-3 es del 9.03%, 9.97% y 30.34%, respectivamente. No existen normas que definan el valor mínimo aceptable para la resistencia a la flexión de los morteros. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

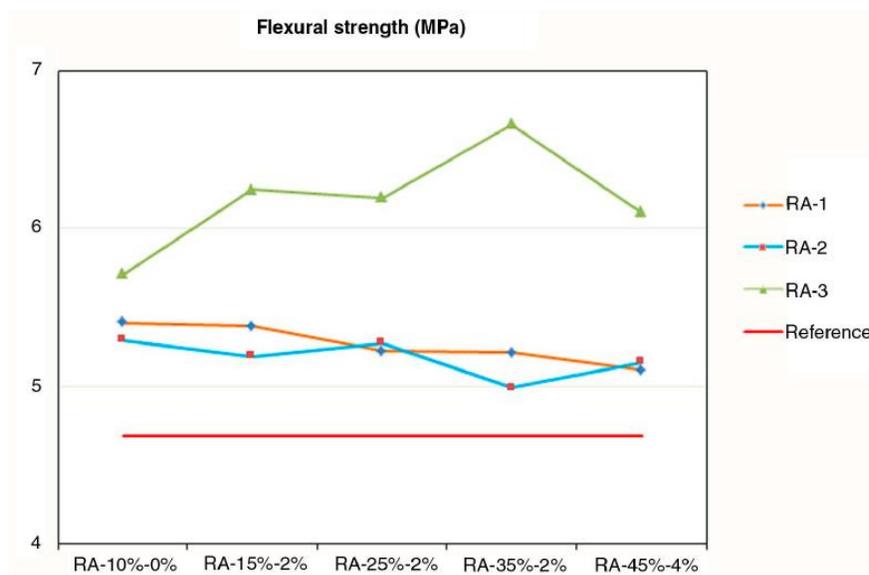


Figura 52. Resultados de la prueba de resistencia a la flexión.

Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

#### d) Fuerza de unión y contracción

En la segunda etapa de la investigación, se llevaron a cabo la prueba de resistencia de la unión y contracción, dos de las propiedades más significativas en este proyecto monográfico, debido a su alta influencia en los morteros para pañete. La prueba de adhesión se realizó sobre un soporte cerámico con un tamaño de 40 x 50 x 5 cm, un diámetro de muestra de 5 cm y un espesor de revestimiento de 1 cm; los resultados de la fuerza de unión y la contracción se muestran en la Tabla 86. En la tabla, se observa que los tres tipos de morteros reciclados que contienen un 45% de agregado reciclado mostraron el peor valor, pero los valores fueron superiores al valor límite de 0,30 N / mm<sup>2</sup> establecido por la UNE-EN 998-1. Esto puede deberse a la mala distribución del tamaño de las calificaciones de este tipo de agregado. El valor de adherencia obtenido con el mortero reciclado producido por RA-3 da el mejor resultado (0,56 N / mm<sup>2</sup>), que es superior al

valor de referencia. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

Mientras que, en la prueba de contracción muestra que los tres tipos de áridos reciclados estudiados tienen valores más altos. La prueba mide el cambio en la longitud del mortero durante las primeras 24 horas, y la lectura se toma cada 30 minutos. Como se muestra en la tabla 6, debido a la mayor porosidad y absorción de agua que presenta el agregado reciclado AR, un aumento en el porcentaje de agregado reciclado incorporado al mortero producirá un mayor valor de contracción. Estas características afectan significativamente el mecanismo de migración del agua. La mezcla que presenta el valor más desfavorable es RA-2-45% -4%, siendo este valor prácticamente el doble que el del mortero de referencia, pero cumple con los límites marcados por la normativa española. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

**Tabla 86**  
*Resultados de la fuerza de unión y la contracción*

Mezcla	Fuerza de unión	Max. Contracción
	Valor promedio (N/mm <sup>2</sup> )	(mm/m)
Reference	0.55/A(100) <sup>1</sup>	0,013
RA-1-15%-2%	0.49/A(100) <sup>1</sup>	0,013
RA-1-25%-2%	0.51/A(100) <sup>1</sup>	0,017
RA-1-45%-4%	0.43/A(100) <sup>1</sup>	0,021
RA-2-10%-0%	0.45/A(100) <sup>1</sup>	0,014
RA-2-25%-2%	0.54/A(100) <sup>1</sup>	0,018
RA-2-45%-4%	0.55/A(100) <sup>1</sup>	0,025
RA-3-10%-0%	0.47/A(100) <sup>1</sup>	0,016
RA-3-25%-2%	0.56/A(100) <sup>1</sup>	0,02
RA-3-45%-4%	0.56/A(100) <sup>1</sup>	0,021

*Nota:* Tipo de fisura y superficie afectada%. Fuente: (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015)

Finalmente, Las principales conclusiones extraídas de este estudio según (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015) son las siguientes: Los tres tipos de áridos finos reciclados se caracterizan por un alto contenido de partículas de 4 mm retenidas en el tamiz, alta absorción de agua y valores de baja densidad; el valor de absorción de agua obtenido está entre el 5% y el 10%, porcentaje aceptable para áridos reciclados; las curvas de distribución de tamaño de los tres tipos de áridos reciclados son continuas y están dentro del rango especificado por la norma; debido a la alta tasa de absorción de agua del agregado reciclado, se puede obtener un mortero procesable con consistencia fluida agregando aditivos sin cambiar la proporción; se incorporan aditivos para reemplazar más del 10% de los tres tipos de áridos reciclados.

También, concluyen que los rendimientos mecánicos de los agregados reciclados son más bajos en términos de compresión y superiores en resistencia a la flexión para los tres tipos de agregados reciclados en comparación con el mortero de referencia. En el caso de la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos cumplen con la norma EN, permitiendo su uso en la construcción como morteros de albañilería, así como de revestimiento o pañete. Los resultados de las pruebas de adherencia son similares a los de referencia en el caso del hormigón RA-3 y peor el caso de la cerámica RA-1 y RA-2 Sin embargo, Los valores de retracción de los morteros reciclados son superiores a los de los morteros de referencia. pero, estos valores están dentro de los límites establecidos por las normas. En vista de lo anterior, se puede concluir que los morteros de albañilería con proporción 1: 3: 0.5, incorporando aditivo, pueden contener hasta un 45% de agregados reciclados provenientes de procesos de reciclaje cerámico y concreto, presentando características que cumplen con los límites establecidos por Estándares españoles. (Saiz Martínez, González Cortina, & Fernández Martínez, 2015).

**3.3.2. Análisis de las propiedades de un mortero de albañilería empleando agregados finos de reciclaje, procedentes de la trituración de escombros y tamizado directamente el RCD seleccionado.**

El Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae de La Habana, Cuba; junto con la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona, España en el año 2012, realizan una investigación nombrada “Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención” La cual tuvo por objetivo, evaluar el comportamiento de morteros de construcción en La Habana, Cuba, mediante la utilización de material de desecho de construcción y demolición como áridos fino. Dicha investigación es de gran importancia para este proyecto monográfico debido a un alto contenido interesante respecto al tema de estudio.

“En La Habana se generan diariamente más de 1.000 m<sup>3</sup> de RCD. La mayoría de estos residuos son de composición mixta, pues provienen de derrumbes de edificaciones en mal estado o de demoliciones que no se realizan de forma selectiva” (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11). A partir de esto, nace la idea de reciclar dicho material y someterlo a un proceso de trituración y selección del agregado fino (menor de 5 mm) para la producción de morteros tanto de colocación como de revestimiento.

En el proyecto analizado se evaluaron los áridos reciclados del mismo RCD mixto, uno se obtuvo triturando la parte gruesa del residuo y el otro se obtuvo a partir de la parte fina. Se utilizaron dos tipos de áridos reciclados para fabricar morteros de albañilería de acuerdo con las

especificaciones de las normas cubanas. Se determinaron las siguientes propiedades del mortero: retención de agua, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, adherencia y absorción de agua por capilaridad; luego se comparó el desempeño del mortero reciclado con el de un mortero estándar o de referencia hecho de agregado natural. Por último, se comparó con el valor determinado por la norma cubana. Los resultados muestran que el mortero elaborado a partir de la fracción gruesa de los residuos tiene mejores propiedades mecánicas y cumple con los estándares cubanos. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11).

A continuación, se reseñan los materiales, fase experimental utilizados y resultados obtenidos por Iván Emilio Martínez Herrera, Miren Etxeberria Larrañaga, Elier Pavón de la Fé y Nelson Emilio Díaz Brito.

### *1. Materiales utilizados*

#### *a) Cemento*

Para la realización de todos los morteros se utilizó cemento Portland (P-350) con una resistencia a la compresión media de 35 MPa a los 28 días. Las propiedades físicas y mecánicas del cemento se muestran en la tabla 87, comparadas con los valores determinados por la norma cubana NC 95: 2001 para este tipo de cemento. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11).

**Tabla 87**  
*Propiedades físicas mecánicas del cemento utilizado*

<b>Propiedades físicas mecánicas del cemento P-350</b>				
<b>Propiedades</b>	<b>UM</b>	<b>Valores</b>	<b>Aceptación NC 95: 2011</b>	
Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	3,12	-	
Superficie específica (Blaine)	g/cm <sup>2</sup>	3089	>2800	
Retenido en el tamiz de 2 900 mallas	%	1,0	<10	
Tiempo de fraguado final	min	66	>45	
Tiempo de fraguado inicial	h	2,15	<10	
Estabilidad de volumen (Le Chatelier)	mm	0,95	<10	
	3	6,5	>3	
Resistencia a flexión	7	Mpa	7,2	>4
	28		9	>6
	3	29,7	>17	
Resistencia a compresión	7	Mpa	34,5	>25
	28		42,6	>35

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11).

### *b) Áridos*

El árido fino utilizado para el desarrollo de la investigación fue arena natural y arena reciclada. Para la fabricación del mortero estándar o de referencia se utilizó arena lavada proveniente de la zona y para la elaboración del mortero reciclado se empleó áridos reciclados mixtos provenientes de una única fuente de escombros, los morteros reciclados se realizaron con dos procesos de obtención diferentes nombrados (ARD1 y ARD2). El agregado reciclado ARD1 es obtenido después de moler las partículas gruesas (mayores de 5 mm) de los residuos utilizados, mientras que para obtener el árido reciclado ARD2 se tamizó directamente el RCD seleccionado a través de un tamiz de 4,76 mm. Para todos los morteros se empleó un filler calizo

(FR) el cual se usa ampliamente en la ciudad. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 13).

De acuerdo con las regulaciones de la norma cubana NC 178: 2002, se realizó el análisis granulométrico para determinar el tamaño de los granos, los resultados de la prueba se muestran en la figura 53.

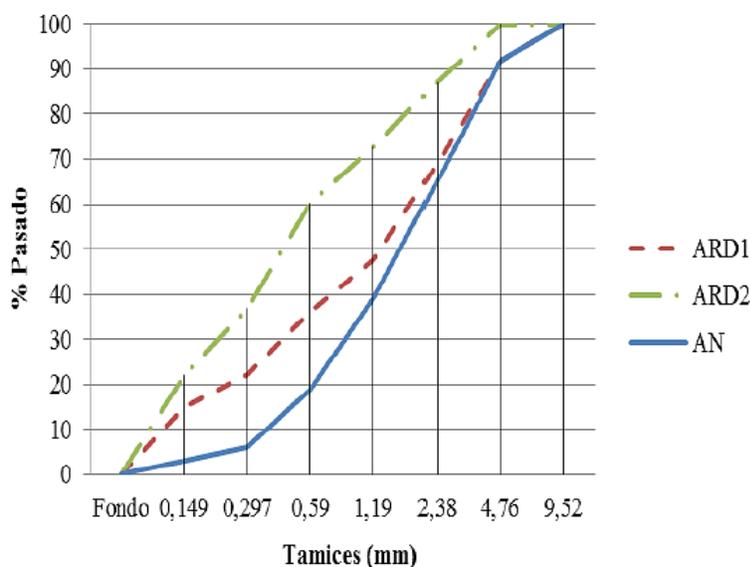


Figura 53. Distribución granulométrica del árido natural y los áridos reciclados.

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 13).

En la siguiente tabla 88, se observan las propiedades físicas del agregado natural, agregado reciclado y relleno de piedra caliza obtenidos por los autores en los ensayos de “(Densidad y Absorción de agua: NC 177: 2002; Masa volumétrica suelta: NC 181: 2002; Material más fino que el tamiz 200: NC 182: 2002.” (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012). Los ensayos se realizaron de acuerdo a los estándares establecidos por Cuba.

**Tabla 88***Propiedades físicas de los áridos y el filler calizo utilizados*

<b>Propiedades físicas de los áridos y el filler calizo</b>				
<b>Propiedad</b>	<b>AN</b>	<b>ARD 1</b>	<b>ARD 2</b>	<b>FR</b>
Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	2,49	2,11	2,02	2,53
Absorción de agua (%)	2,5	10,6	13,0	-
Masa volumétrica suelta (kg/dm <sup>3</sup> )	1,436	1,159	1,092	1,141
Material más fino que el tamiz #200 (%)	4,4	11,3	14,3	37,2

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11).

En la tabla 89, se muestra los resultados obtenidos del análisis químico de los áridos reciclados y el filler calizo. “Según la normativa, el contenido de sulfatos se puede considerar admisible siempre que el contenido total de azufre (expresado en el anhídrido sulfúrico SO<sub>3</sub>) sea menor del 1% con respecto al peso de los áridos secos” (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012). Se aprecia que ninguno de los materiales analizados sobrepasa el valor establecido en la norma cubana NC 657: 2008.

**Tabla 89***Análisis químico de los áridos reciclados y el filler calizo*

<b>Análisis químico de los áridos reciclados y el filler calizo</b>			
<b>Compuesto</b>	<b>ARD 1 (%)</b>	<b>ARD2 (%)</b>	<b>FR (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	8,62	16,69	5,72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	2,13	1,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,35	4,95	2,95
CaO	52,53	46,67	47,36
MgO	1,15	1,54	1,79
Na <sub>2</sub> O	0,35	0,28	0,11
K <sub>2</sub> O	0,25	0,43	0,19
SO <sub>3</sub>	0,57	0,42	0,17

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11).

## 2. Fase experimental

Esta fase se enfoca en especificar la dosificación de la mezcla utilizada para cada uno de los morteros utilizados para la investigación. Se empleó una proporción volumétrica para morteros tipo III (mortero de colocación y revestimiento) de acuerdo a lo establecido en la Norma Cubana NC 175: 2002; la cual recomienda utilizar una dosificación de 1: 4: 2 (Cemento: arena: cal hidratada) sustituyendo el hidrato de cal por un filler calizo, pues este último es más comercializado en la ciudad., esta proporción fue la utilizada para elaborar el mortero estándar y para morteros hechos de áridos reciclados se utilizó una proporción de es 1: 5: 1 (cemento: agregado Reciclado: relleno de piedra caliza) Esta dosis es igual a 1: 4: 2 la utilizada para mortero estándar debido a su alto contenido de finos que contiene los agregados reciclados. Todos los morteros se procesan con fluidez constante (185 mm-195 mm) establecido de acuerdo con las normas cubanas NC 170: 2002, variando la relación de agua / cemento (A / C) no se utilizó aditivos, el curado de los morteros se realizó en un ambiente húmedo hasta la edad de prueba. Como se especifica en NC 173: 2002. En la siguiente tabla 90, se muestra la proporción de mezcla, la relación a / c y la fluidez de los morteros estudiados. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 13)

**Tabla 90**  
*Morteros estudiados*

Morteros estudiados				
Nomenclatura	Árido utilizado	Dosificación	Relación a/c	Fluidez (mm)
MRD1	ARD1	1 : 5 : 1	1,40	192
MRD2	ARD2	1 : 5 : 1	1,49	193
MP	AN	1 : 4 : 2	1,35	189

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 11)

### 3. Resultados

Se realizó la determinación de las siguientes propiedades en estado fresco; la fluidez y la retención de agua; y en estado endurecido la resistencia a flexión, resistencia a compresión, adherencia y absorción de agua por capilaridad. “Los resultados obtenidos con los morteros reciclados se comparan con los obtenidos por el mortero patrón y con los establecidos por la normativa cubana para morteros de albañilería tipo III” (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012, pág. 14)

a) Capacidad de retención de agua de los morteros reciclados y patrón.

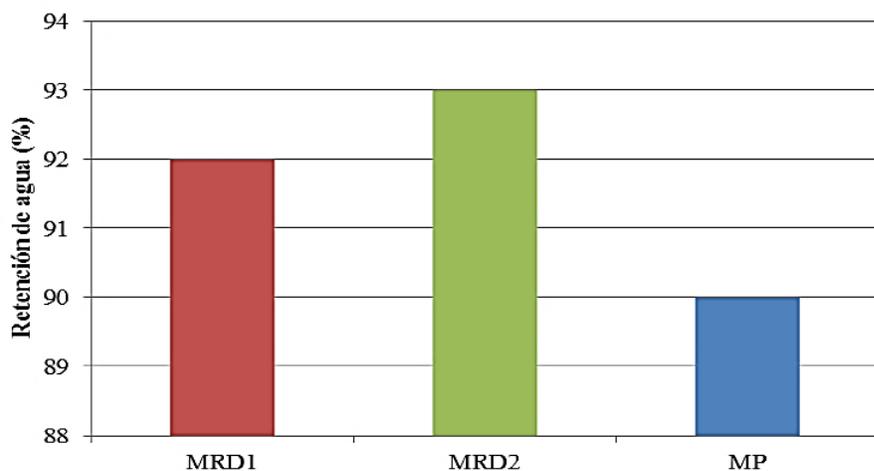


Figura 54. Capacidad de retención de agua de los morteros reciclados y patrón.

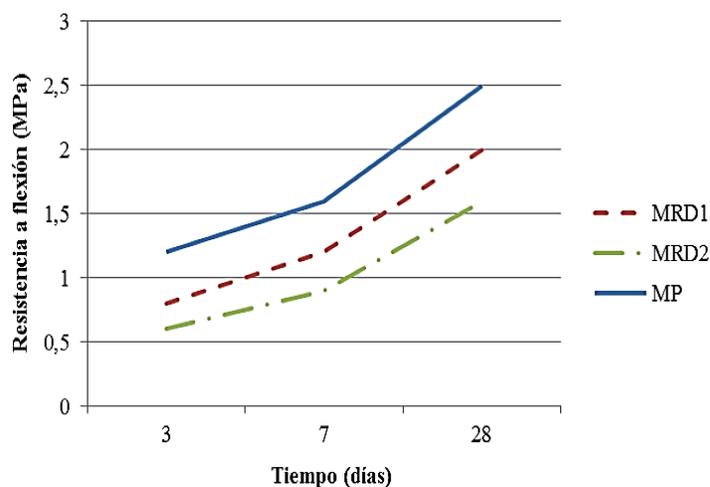
Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012).

La figura 54 que se presenta anteriormente, muestra los tres morteros estudiados, los cuales según (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012), cumplen con el valor fijado por la Norma cubana NC 175: 2002, la cual establece como valor mínimo admisible de retención de agua para morteros de albañilería tipo III un 90 %. La cantidad de

polvo fino presente en el mortero tiene un efecto significativo sobre la retención de agua., por lo tanto, el mortero MRD2 tiene la tasa de retención más alta los dos morteros restantes.

*b) Resistencia a flexión y compresión de los morteros reciclados y patrón.*

La figura 55 que se presenta a continuación, muestra el valor de la resistencia a la flexión dado para los tres morteros estudiados. Se puede ver que, a los 28 días de curado, el mortero estándar (MP) supera en 0,5 MPa al MRD1 y este a su vez presenta mejores valores de resistencia a flexión que MRD2. La normativa cubana no establece ningún valor de resistencia a la flexión para regular el uso de mortero de albañilería. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012).



*Figura 55.* Resistencia a flexión de los morteros reciclados y patrón.

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012).

Mientras que, los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de los morteros estudiados se muestran en la figura 56, según (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012), la resistencia a la compresión afecta directamente al definir el propósito del mortero, la resistencia a la compresión del mortero MRD2 no cumplió con los requisito que establece la norma cubana NC 175, la cual establece como valor mínimo para morteros de albañilería tipo III los 5,2 MPa a los 28 días dio un valor casi inferior a 5 MPa, pero, en el caso del mortero reciclado MRD1 supera este valor quedando un poco más bajo que el mortero de referencia.

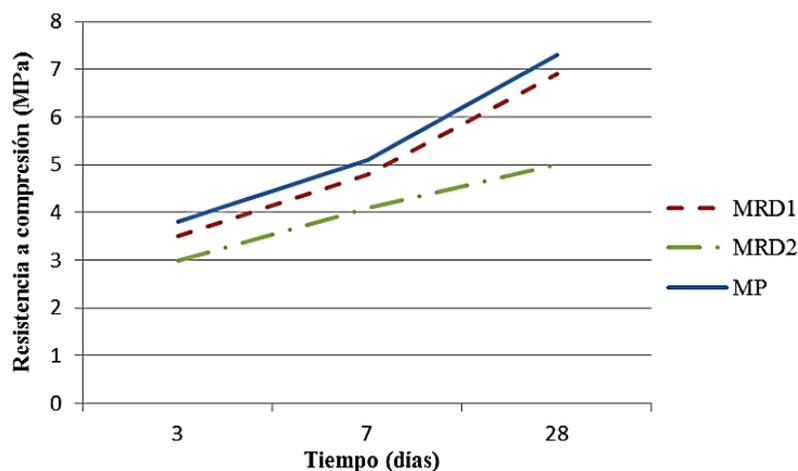


Figura 56. Resistencia a compresión de los morteros reciclados y patrón.

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012)

c) *Resistencia a la adherencia por tracción de los morteros reciclados y patrón.*

La resistencia a la adherencia en los morteros elaborados mediante el uso de material RCD y arena natural es una de las propiedades más importantes a estudiar en este proyecto

monográfico, debido a su gran influencia en mortero para pañete. Según (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012) para morteros de revestimiento, una de las características más fundamental es la adherencia con la superficie sobre la que será utilizado. En la figura 57 se observan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la adherencia por tracción de los morteros reciclados y patrón estudiados, el mortero MRD2 es el único que no cumple con las especificaciones de la Norma cubana NC 175: 2002. La cual establece como valor mínimo para paredes que no utilizarán enchapes los 0,2 MPa.

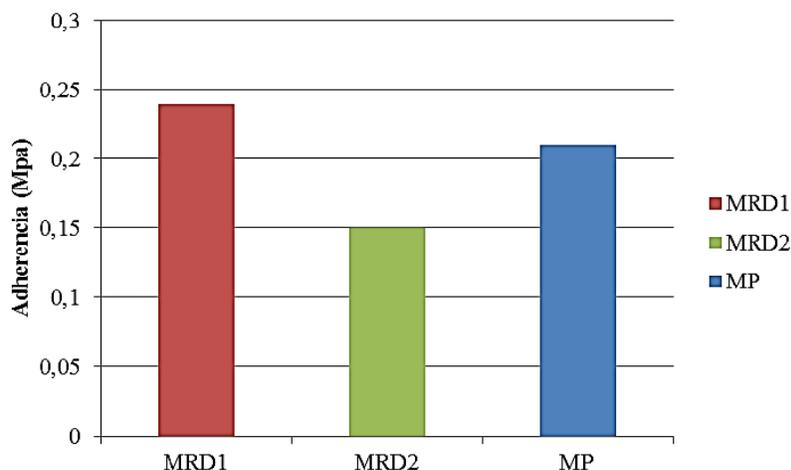


Figura 57. Resistencia a la adherencia por tracción de los morteros reciclados y patrón.

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012).

*d) Absorción de agua por capilaridad de los morteros reciclados y patrón.*

La figura 58, muestra el valor de absorción de agua producida por la capilaridad que poseen los morteros de estudio. Se observa que el mortero MRD2 tiene la tasa de absorción capilar más alta. Este resultado es Debido a la relación  $a/c$  requerida por el mortero que Provoca

la aparición de poros capilares, porque el agua evaporación. (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012)

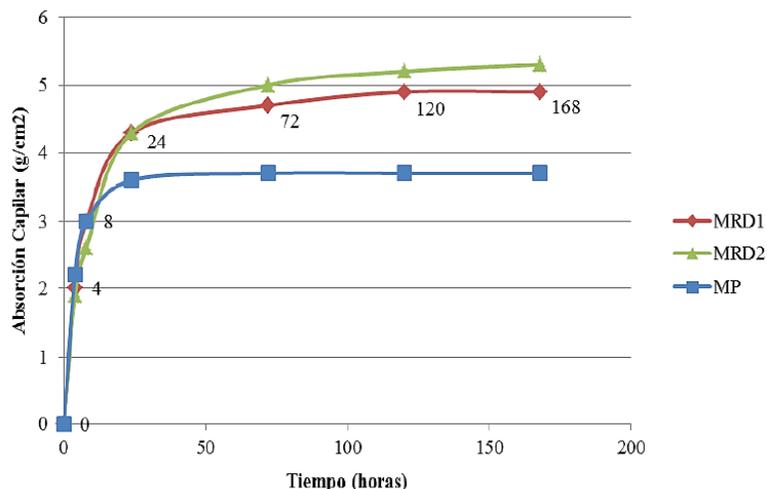


Figura 58. Absorción de agua por capilaridad de los morteros reciclados y patrón.

Fuente: (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012).

Finalmente (Martínez Herrera, Etxeberria Larrañaga, Pavón de la Fé, & Díaz Brito, 2012) concluyen que, el procesamiento utilizado con los RCD para la obtención de áridos finos influye en las propiedades de los morteros elaborados con estos áridos. Debido a los resultados obtenidos en la investigación, ya que para el mortero MRD1 elaborado con agregado reciclado obtenido después de moler las partículas gruesas (mayores de 5 mm) de los residuos utilizados, se obtuvieron resultados que cumplieron con lo establecido en el rango de las normas cubanas mientras que el MRD2 fabricado con árido reciclado que se obtuvo de tamizar directamente el RCD seleccionado a través de un tamiz de 4,76 mm no se obtuvo buenos resultados en cuanto a la resistencia a flexión, a la compresión y a la adherencia; estuvieron por debajo a lo que exige la norma. El MRD1 es adecuado para muros de carga y muros no portantes según especificaciones de la norma cubana, como para revestimiento de paredes interiores no enchapadas.

### **3.4. Morteros de construcción empleando un porcentaje de reemplazo de vidrio triturado reciclado.**

#### **3.4.1. Residuos de vidrio reciclado como agregado fino en mortero de construcción y su efecto en las propiedades físico mecánicas en especial a temperaturas altas.**

El presente estudio fue desarrollado en el año 2018 por Vicente Flores Alés, Víctor Jiménez Bayarria y Alexis Pérez Fargallo, titulado “Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento”. Su objetivo fue “comprobar el comportamiento de morteros cuyo árido se encuentra parcialmente sustituido por vidrio doméstico triturado procedente de reciclado, a partir de la caracterización de productos con porcentajes de sustitución del 25 y el 50% respecto a una muestra de referencia” (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 259).

Debido a que los residuos de vidrio tienen una alta tasa de reciclaje y con el fin de comprender el comportamiento mecánico que tiene la fracción fina de vidrio triturado como sustituto del agregado fino natural en mortero de cemento, se estudió el método de incorporar estos residuos de vidrio triturado a la mezcla de mortero convencional, analizando la modificación producida en el mortero de referencia (cemento / arena) con una proporción de 1: 3 con la sustitución parcial de la arena natural por vidrios domésticos rotos con una proporción de 25% y 50% (en peso). Se ha realizado una caracterización química, mineralógica, física, térmica y mecánica. Posteriormente, las muestras se calentaron a temperaturas de 600 y 800 ° C con el fin de evaluar su comportamiento en condiciones similares a las del mortero refractario. El

resultado revela la diferencia de sensibilidad en la muestra, que refleja el mejor desempeño para los morteros que incorporaban la fracción de vidrio en su composición. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 257).

## ***1. Materiales y metodología***

### *a) Materiales*

Para la realización de la investigación y la eficaz fabricación de los morteros de estudio se consideró una dosificación de referencia con una relación 1:3 (cemento: arena) utilizando como material cementante, un cemento comercial CEM IV/B (V) 32,5 conforme a la UNE-EN 197-1; como agregado fino, arena natural silícea (98%) con un diámetro máximo de 2 mm de granulometría conforme a las curvas de máxima compacidad y vidrio procedente de reciclado doméstico para la sustitución parcial del árido, cuya granulometría garantiza la adecuada compacidad de las mezclas finales utilizadas y finalmente como contenido en agua se utilizó una relación agua/cemento de 0,5, para todas las muestras ensayadas garantizando la consistencia plástica de los especímenes conforme a las especificaciones de la norma UNE-EN-1015-3 (2007). Por otra parte, las probetas sometidas a calentamiento se han acompañado en su designación por los valores de temperatura alcanzados: 600 y 800°C, respectivamente. La fabricación de las probetas se realizó de acuerdo con la norma UNE-EN 1015-11 (2007), manteniéndose el período de curado durante 28 días en cámara climática, en unas condiciones de  $20 \pm 2$  y  $95\% \pm 5$  de humedad ambiental. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo,

2018, pág. 259). En la siguiente tabla (tabla 91), se observa los resultados dados mediante fluorescencia de rayos X, con el fin de obtener la composición química del vidrio domestico empleado en los morteros de estudio.

**Tabla 91**  
*Composición química (% en peso) del vidrio empleado*

Composición química (% en peso) del vidrio empleado en la fabricación de los morteros											
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	PC
71,05	1,50	0,19	-	0,76	11,38	13,19	0,72	-	-	-	0,10

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

Con el propósito de conocer el tamaño de los agregados utilizados y seleccionar el material adecuado para la elaboración de los morteros de estudio se realiza el ensayo de análisis granulométrico, en la siguiente figura (figura 59), se aprecia la curva granulométrica obtenida del ensayo.

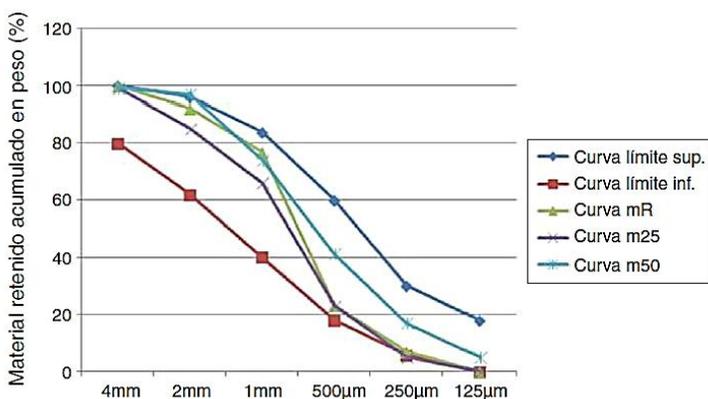


Figura 59. Curvas granulométricas de los agregados utilizados.

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018).

La composición completa de los morteros por componentes de cada una de las dosificaciones empleadas se encuentra en la siguiente tabla (tabla 92). Las muestras se han nombrado como mR (mortero de referencia con un 100% de agregado natural), m25 (agregado con un 25% de vidrio triturado) y m50 (agregado con un 50% de vidrio triturado).

**Tabla 92**

*Composición por componentes de cada una de las dosificaciones empleadas*

<b>Composición por componentes de cada una de las dosificaciones empleadas</b>				
<b>Dosificación</b>	<b>Cemento (g)</b>	<b>Arena (g)</b>	<b>Vidrio (g)</b>	<b>Agua (cm<sup>3</sup>)</b>
Mortero de referencia (mR)	450	1350	-	225
Mortero 25% sustitución (m25)	450	1012,5	337,5	225
Mortero 50% sustitución (m50)	450	675	675	225

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

### *Metodología*

Es importante mencionar la metodología utilizada por los autores en su proyecto de investigación. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018) mencionan que, una vez completado el proceso de endurecimiento de las muestras, se caracteriza químicamente por fluorescencia de rayos X con el fin de conocer la composición química del material de vidrio reciclado incorporado, y luego los especímenes se secaron hasta peso constante y se sumergieron en agua para determinar la absorción de agua a presión atmosférica y la densidad aparente geométrica en el porosímetro de mercurio Pore Master 60 GT, esto es necesario para calcular la conductividad térmica y para obtener más información sobre la distribución del sistema poroso de la muestra.

Además de lo anterior, las probetas fueron sometidas a ensayo mecánico a flexión y compresión, en la figura 60, se observa dispositivo de ensayo a flexión y compresión utilizado para dicho ensayo, conforme a la norma UNE-EN 196-1 (2005) a 28 días, con una velocidad de carga de 50 N/s hasta la rotura. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 260).



*Figura 60.* Dispositivo de ensayo a flexión y compresión.

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

A continuación, en la figura 61 se observan los planos de fractura de las probetas de mortero con adición del 50% de material de vidrio reciclado (m50), el cual fue el máximo porcentaje de sustitución realizado en los morteros en esta investigación, se aprecia la distribución de las partículas de vidrio.



*Figura 61.* Imagen de la distribución del agregado de vidrio triturado en el interior de las probetas de mortero (m50).

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018).

### *Análisis de resultados*

#### *Caracterización química*

En la tabla 93 que se encuentra a continuación, se observa sensibles diferencias en los elementos afectados por la incorporación de vidrio (sodio, calcio), cuya proporción se incrementa sensiblemente con relación a los materiales de referencia; se destaca la disminución proporcional del contenido en SiO<sub>2</sub> que presentan las muestras con un mayor contenido en vidrio, relacionada con el incremento en los cationes aportados por el agregado reciclado. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 261)

**Tabla 93**

*Composición química de los 3 tipos de morteros y composición tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C*

<b>Composición química de los 3 tipos de morteros y composición tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C</b>												
	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>MnO</b>	<b>MgO</b>	<b>CaO</b>	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>TiO<sub>2</sub></b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>PC</b>
mR	67,96	8,20	3,10	0,04	0,67	10,10	1,12	1,85	0,33	0,08	0,76	5,70
mR - 600	71,38	8,34	3,09	0,04	0,63	9,70	1,19	1,92	0,32	0,08	0,74	3,38
mR - 800	74,08	8,45	3,07	0,04	0,60	8,91	1,21	2,03	0,32	0,08	0,70	1,02
m25	70,10	6,20	2,30	-	0,58	10,31	3,95	1,51	0,23	0,06	0,65	4,70
m25 - 600	70,44	7,01	2,63	-	0,64	11,13	3,39	1,60	0,29	0,07	0,74	2,68
m25 - 800	71,14	6,70	2,49	-	0,65	11,35	4,19	1,54	0,27	0,07	0,73	1,19
m50	70,84	5,80	2,28	-	0,67	10,29	4,35	1,25	0,23	0,07	0,78	3,48
m50 - 600	71,02	5,58	2,03	-	0,68	11,05	4,26	1,26	0,20	0,06	0,73	2,65
m50 - 800	71,62	6,10	2,39	-	0,71	11,10	4,69	1,31	0,25	0,07	0,84	1,29

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

### *Caracterización mineralógica*

En la tabla 94, se registran los valores obtenidos mediante el ensayo de la caracterización mineralógica por DRX a los tres tipos de mortero estudiados a temperatura ambiente y tras los procesos de calentamiento a 600°C y 800 °C.

**Tabla 94**

*Composición mineralógica de los 3 tipos de morteros a temperatura ambiente y tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C*

<b>Composición mineralógica de los 3 tipos de morteros a temperatura ambiente y tras los procesos de calentamiento a 600 y 800 °C</b>						
	<b>Cuarzo</b>	<b>Calcita</b>	<b>Feldespatos</b>	<b>Dolomita</b>	<b>Hermatites</b>	<b>Larnita</b>
mR	++++	+	++	-	-	-
mR - 600	++++	+	++	-	-	-
mR - 800	++++	-	++	-	-	-

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

“Tabla 94” “Continuación”

m25	++++	+	++	+	-	-
m25 - 600	++++	+	++	-	-	-
m25 - 800	++++	-	++	-	-	-
m50	++++	+	++	-	-	-
m50 - 600	++++	+	++	-	-	-
m50 - 800	++++	-	++	-	+	+

+: indicios; ++:medio; ++++: muy abundante; -: no detectado.

### *Ensayos físicos*

En la figura 62, se registra la evolución de la absorción de agua (%) y velocidad de transmisión de ultrasonido (m/s.103) a medida que se aumenta la temperatura, desde T°ambiente a 600 °C y a 800°C. Este ensayo físico muestra que la tasa de absorción de agua de las muestras en las que el agregado natural ha sido reemplazado por vidrio triturado se reduce significativamente. Los materiales procesados a alta temperatura mantienen esta tendencia, y el comportamiento es más favorable para muestras con agregados mixtos de arena / vidrio. Esto se ha confirmado claramente en la medición de la velocidad de transmisión ultrasónica y se ha observado que aumenta con el aumento del contenido de vidrio. Cabe señalar que la velocidad ultrasónica en el vidrio está entre 5.200 y 5.900 m / s, que es significativamente mayor que la velocidad ultrasónica del mortero de cemento mR (aproximadamente 2500 m / s). Por lo tanto, se ha encontrado que la mezcla de vidrio reciclado puede mejorar el rendimiento de esta propiedad. Los resultados muestran que existe una continuidad entre el aumento de la absorción de agua y las propiedades físicas relacionadas. Este hecho debe explicarse por la mayor compacidad de las partículas de vidrio con respecto a la arena natural y las características de la superficie de la partícula. Independientemente de la resistencia, las partículas de vidrio son beneficiosas para el

desarrollo de la adhesión más completa del agregado de vidrio y el cemento. Cuando se calienta el material, se observa cómo aumenta la tasa de absorción, y, por tanto, la densidad aparente, manteniendo así una clara tendencia, que favorece los especímenes con fracción de agregado de vidrio. Así mismo, ocurre con la velocidad de transmisión de ultrasonidos, en la que se evidencio una disminución en los 3 casos, y de manera particularmente significativa para las probetas de referencia. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 261).

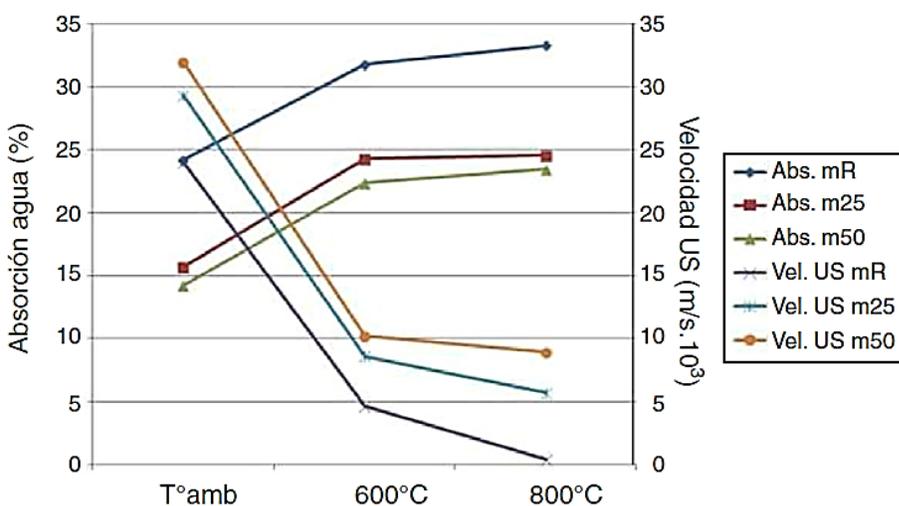


Figura 62. Evolución de la absorción de agua (%) y velocidad de transmisión de ultrasonido (m/s.103).

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 261).

### *Propiedades térmicas*

Los resultados de conductividad térmica confirman plenamente el comportamiento físico y mecánico observado en las muestras de ensayo, por lo tanto, la conductividad térmica de los morteros con adición del 25% y 50% de vidrio triturado es significativamente menor que la del mortero de referencia, lo que prueba que la degradación es mínima y se produce durante la estancia en el horno a alta temperatura. En la tabla 95, se registran los resultados obtenidos de

realizar el cálculo de la conductividad térmica, la difusividad térmica y calor específico. Se aprecia la relevancia de la difusividad térmica, indicando el índice de respuesta térmica ( $\text{cm}^2 / \text{s}$ ) del producto a los cambios de temperatura, el cual es de importancia decisiva para las diferentes muestras estudiadas. En comparación con la conductividad térmica obtenida por mR, la conductividad térmica del mortero m25 se reduce en un 18% y la conductividad térmica del mortero m50 se reduce en un 33%. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018, pág. 261).

### Tabla 95

*Resultados obtenidos de calor específico ( $C_p$ ), difusividad térmica ( $\alpha$ ) y conductividad térmica ( $\rho$ ) a  $30^\circ\text{C}$*

<b>Resultados obtenidos de calor específico (<math>C_p</math>), difusividad térmica (<math>\alpha</math>) y conductividad térmica (<math>\rho</math>) a <math>30^\circ\text{C}</math></b>				
	<b><math>\rho</math> (<math>\text{g}/\text{cm}^3</math>)</b>	<b><math>C_p</math> (<math>\text{J}/\text{g}\cdot^\circ\text{C}</math>)</b>	<b><math>\alpha</math> (<math>\text{cm}^2/\text{s}</math>)</b>	<b><math>\rho</math> (<math>\text{W}/\text{K}\cdot\text{m}</math>)</b>
Mr	1,6030	0,6588	0,0122	1,2884
m25	1,9570	0,6713	0,0081	1,0589
m50	2,0395	0,6872	0,0062	0,8662

*Nota:* Mortero m25 y un 33% más bajo para m50, respectivamente. Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

### *Ensayos mecánicos*

En los resultados obtenidos de los ensayos físicos, se evidencia que la influencia del vidrio como sustituto de la arena en mortero es muy favorable en cuanto a la resistencia, tras el proceso de calentamiento. En la figura 63 se observa la gráfica de Temperatura vs. Resistencia, en la cual se registra la evolución de la resistencia mecánica a compresión; mientras que, en la tabla 96 se registra los resultados medios obtenidos de los ensayos de resistencia a flexión ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ).

(Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018) mencionan que, el comportamiento de las tres muestras estudiadas inicialmente fue muy similar, siendo el mortero de referencia (mR) el que tenía una ligera ventaja con respecto a los morteros con adición de vidrio, pero después de calentar a 600 ° C, la resistencia de la muestra de referencia cae significativamente, un 90% para la flexión y un 73% para la compresión, en cuanto a los morteros con material que agregados de vidrio, la disminución de la resistencia es mucho menor, especialmente la disminución de la resistencia a la compresión. Para la muestra con una tasa de reemplazo del 25%, la reducción para flexión fue del 76% y la reducción de la compresión fue del 21%. En la muestra con una tasa de reemplazo del 50%, la reducción de la resistencia a la flexión fue del 73% y la reducción de la compresión es cero. En el caso del calentamiento hasta 800°C los resultados evidencian una importante caída de resistencias, propiciada por la descomposición térmica del cemento hidratado y, en mucha menor medida, de la fracción caliza del árido. (p.263).

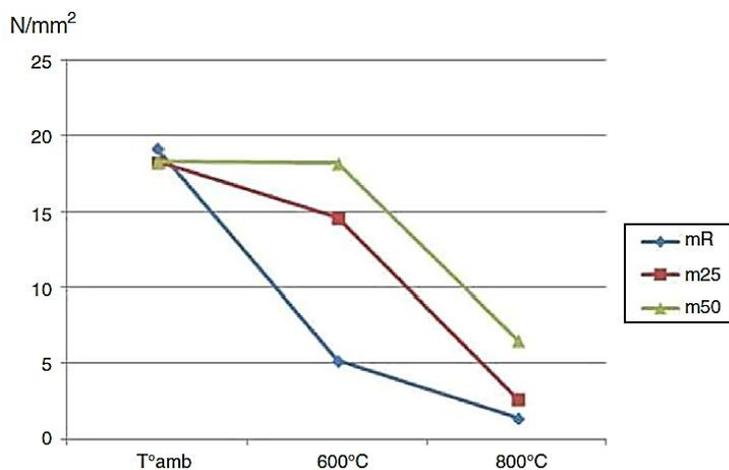


Figura 63. Evolución de las resistencias mecánicas a compresión (N/mm<sup>2</sup>).

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

**Tabla 96**

*Resultado medios obtenidos de los ensayos de resistencia a flexión (N/mm<sup>2</sup>)*

<b>Resultados medios obtenidos de los ensayos de resistencia a flexión (N/mm<sup>2</sup>)</b>			
	<b>mR</b>	<b>m25</b>	<b>m50</b>
Resistencia a flexión (N/mm <sup>2</sup> )	1,94	1,77	1,88

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018)

*Alteraciones cromáticas.*

Con el fin de verificar objetivamente el cambio de color resultante, se ha medido el color de la superficie interior de la superficie de corte para cada tipo de mortero. Los valores medios obtenidos son similares, reflejando la diferencia en los morteros utilizados cuando se ven afectados por la temperatura. (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018). En la figura 64, se observa la alteración cromática en las probetas tras el proceso de calentamiento a 800°C la máxima temperatura de exposición utilizada.



*Figura 64.* Alteración cromática en las probetas tras el proceso de calentamiento a 800°C.

Fuente: (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018).

Finalmente, (Flores Alés, Jiménez Bayarria, & Pérez Fargallo, 2018) concluyen, que la sustitución del agregado fino natural con vidrio triturado en porcentajes de 25 y 50% puede hacer que el mortero estudiado tenga un mejor desempeño a alta temperatura. La conductividad térmica medida demuestra que el mortero de agregado reciclado tiene mejores propiedades físicas y mecánicas a altas temperaturas, porque a medida que la tasa de transferencia de calor se vuelve más lenta, el nivel de degradación térmica del material también disminuye. El resultado es una mejora en el rendimiento físico, que es consistente con el valor determinado de la velocidad de transmisión ultrasónica y es inversamente proporcional al rendimiento mencionado anteriormente. Cuando el material se procesa a altas temperaturas (600 y 800 ° C), las propiedades físicas se deterioran en menor grado en el mortero de vidrio, situación que también se refleja en la menor reducción de la velocidad de transmisión ultrasónica. (p.264).

De las conclusiones dadas por los autores podemos constatar que los morteros elaborados mediante el uso de RCD en este caso material de vidrio domestico triturado es una gran alternativa beneficiosa para pañete de edificaciones que requieran o estén expuestas a altas temperaturas, en el caso del mortero con incorporación del 25% de agregado de vidrio sería una mejor opción para pañete ya que como se observa en la figura 64, en la cual se aprecia la alteración cromática en las probetas tras el proceso de calentamiento a 800°C máxima temperatura experimental, la distribución del material reciclado se registra en menor cantidad que en el mortero con incorporación del 50%.

### **3.4.2. Sustitución del agregado fino convencional por agregado reciclado de vidrio y su afectación en las propiedades del mortero**

“Influencia de la cantidad adicionada de vidrio de desecho en reemplazo de agregado fino, sobre la densidad, absorción y resistencia a la compresión en morteros y pilas de albañilería” es un proyecto de investigación realizado en el año 2016 en la ciudad de Trujillo, Perú; por los estudiantes Magali Maribel Contreras Laiza y Andrés Guillermo González Pérez, para optar el título de ingenieros de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo. En este proyecto monográfico es de gran provecho dicha investigación debido al análisis minucioso que los autores realizan en el comportamiento mecánico de los morteros para la construcción con la adición de material RCD el cual fue vidrio triturado.

El estudio está orientado a dos componentes, la influencia del RCD de vidrio en morteros y la influencia del RCD de vidrio en pilas de albañilería, este caso de estudio se enfatizó en los resultados dados solo para mortero. A continuación, se reseña, la metodología y resultados obtenidos por los estudiantes Magali Maribel Contreras Laiza y Andrés Guillermo González Pérez en su proyecto.

En el trabajo de investigación estudiado, se realizó un diseño experimental de factor único, en el cual se varió el porcentaje de sustitución del agregado fino natural con residuos provenientes de la molienda del vidrio seleccionado, los porcentajes incorporados son los siguientes: (0%, 20%, 40%, 60, 80%, 100%), para un total de seis especímenes. Cabe señalar que

el incorporado con 0% es el mortero de referencia.

En la tabla 97, que se muestra a continuación, se observa la matriz del diseño Unifactorial experimental, Se registra los niveles de las variables de estudio.

**Tabla 97**  
*matriz del diseño Unifactorial experimental*

<b>Variabes Independientes de Estudio</b>	<b>Niveles de Estudio</b>
Factor A: Vidrio desechado	0, 20, 40, 60, 80, 100%
<b>Variabes Dependientes de Estudio</b>	
Factor X <sub>1</sub> : Resistencia a la compresión de morteros (kg/cm <sup>2</sup> )	
Factor Y <sub>1</sub> : Absorción de agua (%)	
Factor Z <sub>1</sub> : Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

El procedimiento experimental utilizado para el correcto desarrollo de esta investigación fue el siguiente: Compra de insumos y materiales, se utilizó agregado fino proveniente de la zona, cemento tipo ICO y agua tratada; recolección, triturado, moliendo y tamizado del vidrio de desecho; caracterización fisicoquímica de los materiales; diseño de mezcla, utilizando una relación de agua/ cemento de 0.45; preparación de los morteros según la norma ATM C 109 y curado de las probetas durante 28 días según la norma ASTM C-31.

A continuación, se muestra la figura 65, en la cual se observa el vidrio reciclado molido utilizado para la elaboración del mortero de estudio. “Se molió el vidrio hasta obtener la granulometría requerida para los ensayos, en un molino de bolas de acero, luego se procedió al análisis granulométrico según norma ASTM C- 136” (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).



*Figura 65.* Residuos de Construcción y Demolición provenientes de vidrio molido.

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

Los ensayos físicos y mecánicos realizados son los expuestos a continuación: Análisis granulométrico según norma ASTM C- 136 con el fin de conocer el tamaño de las partículas del agregado natural y reciclado; ensayo para determinar el peso específico del agregado fino según la norma ASTM C-128, obteniendo a su vez la densidad relativa seca, densidad relativa en estado saturado, densidad relativa aparente y porcentaje de Absorción (%); ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino según norma ASTM C-566; ensayo de compresión a morteros según la norma ASTM C 109; ensayo de absorción del mortero según norma ASTM C 642 y el ensayo para la determinación de la densidad del motero según norma ASTM C 642.

La investigación en general estuvo constituida por 52 probetas de mortero, con medidas de 10cm x 10cm x 10cm de lado acuerdo a la norma ASTM C – 109; para cada uno de los ensayos realizados a los morteros de estudio se fabricaron 18 especímenes de ensayo, en las cuales se realizó la variación de seis porcentajes de vidrio de desecho triturado y tres replicas para cada

diseño según la norma ASTM C-109 para el ensayo de resistencia a la compresión de morteros (Kg/cm<sup>2</sup>), según la norma ASTM C 642 para la prueba de absorción de agua (%) y de acuerdo a la norma UNE EN1015 para el ensayo de Densidad (gr/cm<sup>3</sup>). (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016). Los resultados obtenidos luego de realizar los ensayos correspondientes son los siguientes:

### *1. Análisis granulométrico*

Para la realización del ensayo de análisis granulométrico del agregado fino natural y el agregado fino reciclado proveniente de vidrio molido se realizan tres pruebas para uno de los agregados utilizados. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de granulometría y las respectivas curvas granulométrías de los dos tipos de agregados finos usados en la investigación:

#### *a) Resultados obtenidos del análisis granulométrico del agregado fino natural según*

*norma: ASTM C 136 (TNP 400.012)*

**Tabla 98**

*Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 1*

<b>Agregado fino: Prueba 1</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Peso Retenido</b>	<b>%Peso Ret. Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

“Tabla 98” “Continuación”

N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	9	1	1	99
N° 8	2,36	57	9	10	90
N° 16	1,18	72	11	21	79
N° 30	0,60	75	12	33	67
N° 50	0,30	74	12	45	55
N° 100	0,15	243	38	83	17
N° 200	0,08	72	11	94	6
Malla ciega	menor de 0.08	39	6	100	0

**Tabla 99**

*Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 2*

<b>Agregado fino: Prueba 2</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Peso Retenido</b>	<b>%Peso Ret. Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100
N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	9	2	2	98
N° 8	2,36	54	9	11	89
N° 16	1,18	76	13	24	76
N° 30	0,60	71	12	37	63
N° 50	0,30	66	12	48	52
N° 100	0,15	209	37	85	15
N° 200	0,08	71	12	97	3
Malla ciega	menor de 0.08	15	3	100	0

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 100***Análisis granulométrico del agregado fino natural prueba 3*

<b>Agregado fino: Prueba 3</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Peso Retenido</b>	<b>%Peso Ret. Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100
N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	5	1	1	99
N° 8	2,36	56	9	10	90
N° 16	1,18	78	13	24	76
N° 30	0,60	75	13	36	64
N° 50	0,30	68	12	48	52
N° 100	0,15	218	37	85	15
N° 200	0,08	75	13	98	2
Malla ciega	menor de 0.08	13	2	100	0

Fuente: (Contreras Laiza &amp; Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 101***Módulo de Fineza (Prueba 1, 2,3), Norma: ASTM C 136 (TNP 400.012)*

<b>Prueba 1</b>		<b>Prueba 2</b>		<b>Prueba 3</b>	
<b>Peso Inicial (gr)</b>		<b>Peso Inicial (gr)</b>		<b>Peso Inicial (gr)</b>	
639		571		588	
<b>Comp. de la muestra</b>		<b>Comp. de la muestra</b>		<b>Comp. de la muestra</b>	
% Grava	0	% Grava	0	% Grava	0
% Arena gruesa	10	% Arena gruesa	11	% Arena gruesa	10
% Arena media	23	% Arena media	25	% Arena media	26
% Arena fina	50	% Arena fina	49	% Arena fina	49
% Limo	11	% Limo	12	% Limo	13
% Arcilla	6	% Arcilla	3	% Arcilla	2
Total	100	Total	100	Total	100
Módulo de fineza (MF)	<b>1,9</b>	Módulo de fineza (MF)	<b>2,1</b>	Módulo de fineza (MF)	<b>2,0</b>

Fuente: (Contreras Laiza &amp; Gonzalez Perez, 2016)

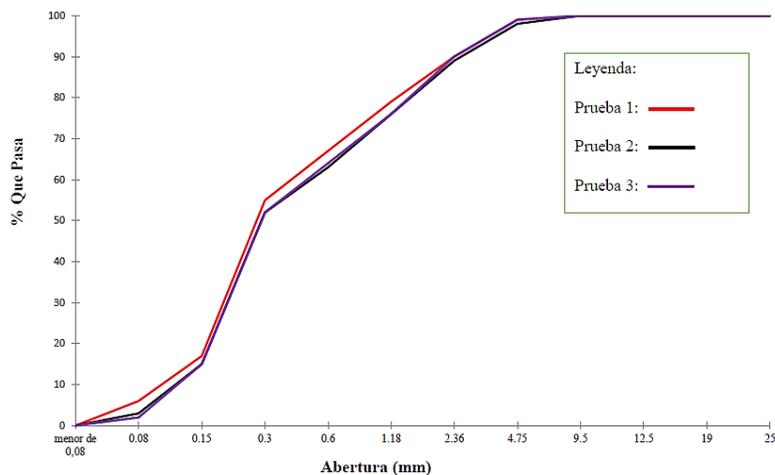


Figura 66. Curva Granulométrica del agregado fino (Prueba 1, 2,3).

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

b) Resultados obtenidos del análisis granulométrico del agregado fino proveniente del vidrio de desecho, Norma: ASTM C 136 (TNP 400.012).

**Tabla 102**

*Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 1*

Vidrio de desecho: Prueba 1					
Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido	%Peso Ret. Acumulado	% Pasa
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100
N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 8	2,36	0	0	0	100
N° 16	1,18	3	1	1	99
N° 30	0,60	247	47	48	52
N° 50	0,30	143	28	76	24
N° 100	0,15	80	15	91	9
N° 200	0,08	37	7	98	2
Malla ciega	menor de 0.08	9	2	100	0

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 103***Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 2*

<b>Vidrio de desecho: Prueba 2</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Peso Retenido</b>	<b>%Peso Ret. Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100
N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 8	2,36	0	0	0	100
N° 16	1,18	4	1	1	99
N° 30	0,60	291	56	57	43
N° 50	0,30	126	24	81	19
N° 100	0,15	64	12	93	7
N° 200	0,08	33	6	99	1
Malla ciega	menor de 0.08	3	1	100	0

Fuente: (Contreras Laiza &amp; Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 104***Análisis granulométrico del vidrio de desecho prueba 3*

<b>Vidrio de desecho: Prueba 3</b>					
<b>Tamiz N°</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Retenido (gr)</b>	<b>% Peso Retenido</b>	<b>%Peso Ret. Acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
N° 1"	25	0	0	0	100
N° 3/4"	19	0	0	0	100
N° 1/2"	12,5	0	0	0	100
N° 3/8"	9,5	0	0	0	100
N° 4	4,75	0	0	0	100
N° 8	2,36	0	0	0	100
N° 16	1,18	4	1	1	99
N° 30	0,60	274	53	53	47
N° 50	0,30	128	25	78	22
N° 100	0,15	72	14	92	8
N° 200	0,08	40	8	99	1
Malla ciega	menor de 0.08	3	1	100	0

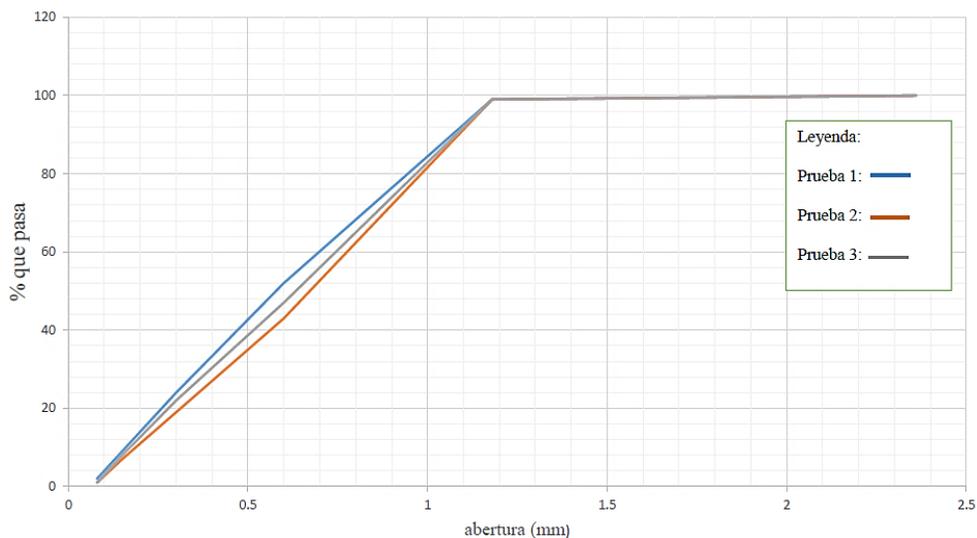
Fuente: (Contreras Laiza &amp; Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 105**

*Módulo de Fineza (Prueba 1, 2,3) del vidrio de desecho, Norma: ASTM C 136 (TNP 400.012)*

Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
Peso Inicial (gr)		Peso Inicial (gr)		Peso Inicial (gr)	
520		521		521	
Comp. de la muestra		Comp. de la muestra		Comp. de la muestra	
% Grava	0	% Grava	0	% Grava	0
% Arena gruesa	0	% Arena gruesa	0	% Arena gruesa	0
% Arena media	48	% Arena media	57	% Arena media	54
% Arena fina	43	% Arena fina	36	% Arena fina	39
% Limo	7	% Limo	6	% Limo	8
% Arcilla	2	% Arcilla	1	% Arcilla	1
Total	100	Total	100	Total	100
Módulo de fineza (MF)	<b>2,2</b>	Módulo de fineza (MF)	<b>2,3</b>	Módulo de fineza (MF)	<b>2,2</b>

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)



*Figura 67. Curva Granulométrica de Vidrio de Desecho (Prueba 1, 2,3), Cumple la norma E-070.*

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

“Los agregados con forma equidimensional producen un mejor acomodo entre partícula dentro del mortero, que los que tienen forma plana o alargada, y requieren menos agua y pasta

de cemento para un determinado grado de trabajabilidad.” (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

## 2. *Peso específico del agregado fino*

**Tabla 106**

*Método de Ensayo para la determinación del Peso Específico de Agregados Finos, ASTM C 128 (NTP 400.022)*

Peso Unitario Suelto								
Código	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso del envase, Kg (T)	Volumen, m <sup>3</sup> (V)	Peso unitario suelto, Kg/m <sup>3</sup> (M)	Peso de la muestra compactada + envase Kg (G)	Peso del envase, Kg (T)	Volumen, m <sup>3</sup> (V)	Peso unitario compactado Kg/m <sup>3</sup> (M)
1	12,01	6,595	0,003194	1695	12,605	6,595	0,0031944	1881
2	12	6,595	0,0031944	1692	12,640	6,595	0,0031944	1892
3	12,04	6,595	0,0031944	1705	12,650	6,595	0,0031944	1896

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 107**

*Método de Ensayo para la determinación de la Densidad de Agregados Finos (Prueba 1, 2,3), ASTM C 128 (NTP 400.022)*

Código	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Densidad Relativa Seca	2,65	2,65	2,68
Densidad Relativa en Estado SSD	2,69	2,68	2,70
Densidad Relativa aparente	2,74	2,75	2,73
Porcentaje de Absorción	1,23	1,40	0,65

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

### 3. contenido de humedad del agregado fino

**Tabla 108**

*Resultados de humedad de Agregado Fino para la Muestra de Arena Gruesa, ASTM C 566 (NTP 339.185)*

T : 110 ± 5°C, 24 hrs							
Muestra	Código	Peso del contenedor (g)	Peso del contenedor + muestra húmeda (g)	Peso del contenedor + muestra secada en el horno (g)	Peso de la muestra húmeda (g)	Peso de la muestra seca (g)	% humedad
	N°	Mc	(Mcws)	(Mcs)	Mws	(Ms)	W
Arena gruesa	1	66,64	173,21	172,53	106,57	105,89	0,64
	2	66,67	199,17	198,33	132,50	131,66	0,63
	3	75,9	289,30	287,73	213,40	211,83	0,74

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

### 4. Resistencia a la compresión de morteros

“La resistencia en compresión esta inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico” (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016). En la figura 68, se observa un diagrama de barras sencillo en el que se aprecia la resistencia a la compresión de los morteros estudiados, el mortero de referencia (0%) y los morteros bajo la influencia de adición de vidrio (20%, 40%, 60, 80%, 100%), se observa un incremento en la resistencia cuando se adiciona 20% y 40% de vidrio respecto a la muestra de referencia, mientras que para los porcentajes de adición de vidrio mayores e iguales al 60 % se nota la resistencia disminuye.

**Tabla 109**  
*Resistencia a la Compresión de Morteros (MPA)*

% de Reemplazo	Velocidad (KN/S)	Fuerza (KN)	Resistencia (N/mm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (Mpa)	Altura (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	A (mm <sup>2</sup> )
0%	3	315,07	32,44	30,47	106,18	97,32	99,8	9712,5
	3	333,03	32,02		108,93	102,73	101,25	10401,4
	3	288,01	26,95		105,2	103,82	102,93	10686,2
20%	3	312,07	30,98	33,39	102,7	100,67	100,07	10074,0
	3	329,01	32,43		102,69	100,65	100,81	10146,5
	3	380,01	36,76		102,31	103,62	99,77	10338,2
40%	3	332,03	33,80	32,15	103,26	100,44	97,8	9823,0
	3	304,08	29,48		101,9	103,22	99,94	10315,8
	3	331,2	33,18		103,93	100,08	99,74	9982,0
60%	3	290,9	30,33	30,45	111,78	95,98	99,93	9591,3
	3	286,3	30,3		112,37	94,73	99,73	9447,4
	3	295,4	30,73		108,08	97,05	99,06	9613,8
80%	3	287,8	27,98	28,29	102,4	101,86	100,99	10286,8
	3	293,5	29,07		103,33	100,92	100,05	10097,0
	3	281,7	27,82		101,82	100,7	100,56	10126,4
100%	3	285	27,75	27,08	104,49	100,77	101,93	10271,5
	3	266,9	26,10		104,84	101,51	100,73	10225,1
	3	275,4	27,40		103,08	100,49	100,01	10050,0

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

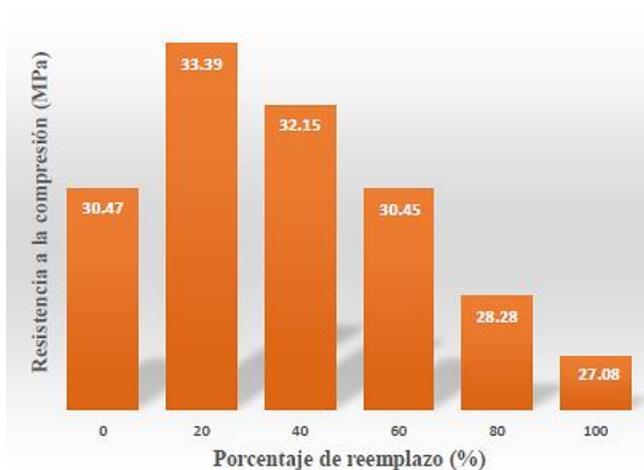


Figura 68. Resistencia a la compresión de morteros.

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

La tendencia en la figura 68 muestra que el vidrio mejora la resistencia a la compresión del mortero por el método de medición del tamaño de partícula (módulo de finura aceptable según la norma E 0.70), y mejoró la distribución del tamaño; reduciendo así el número de poros internos, haciendo un material más compacto por la variedad de tamaños en el agregado y la distribución volumétrica de las partículas, dado que estas características son muy importantes para obtener una estructura densa, eficaz y una trabajabilidad suficiente en morteros, su agregación y distribución del volumen de partículas son muy importantes. Está científicamente probado que casi todas las partículas deben ensamblarse para que la partícula más pequeña ocupe los espacios entre la partícula más grande y el conjunto este unido por la pasta de cemento. (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

“El aumento de la resistencia se debe a las propiedades adherentes del mortero ya que las unidades (ladrillos) son de propiedades similares para todos los ensayos realizados. La

adherencia se ve aumentada por la forma angular y textura de las partículas de vidrio que influyen grandemente en los resultados a obtenerse en las propiedades del mortero” (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

### 5. *Porcentaje de absorción de agua*

“La absorción está ligada a la porosidad. Los valores usuales en agregados normalmente pueden oscilar entre 0 y 15% aunque por lo general el rango común es del 1 al 5%. En agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15 al 50%”.(Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

En la siguiente tabla 110, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de absorción de agua (%) de los morteros; los porcentajes de absorción de agua de cada uno de los morteros se aprecian en la figura 69.

**Tabla 110**  
*Absorción de Agua (%)*

	<b>M</b>	<b>S</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>A Prom</b>
<b>% de Reemplazo</b>	<b>Peso Saturado</b>	<b>Peso Sumergido</b>	<b>Peso Seco</b>	<b>Absorción de agua</b>	<b>Absorción promedio</b>
	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
	2314,18	1280	2279,46	1,52	
0,00%	2275,83	1255	2241,16	1,55	1,536
	2303,84	1215	2268,97	1,54	

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

"Tabla 110" "Continuación"

	2226,05	1240	2192,55	1,53	
20,00%	2257,47	1220	2222,99	1,55	1,539
	2247,81	1200	2213,75	1,54	
40,00%	2211,44	1110	2177,81	1,54	1,542
	2213,85	1240	2180,47	1,53	
	2207,18	1290	2173,44	1,55	
60,00%	2213,42	1150	2179,92	1,54	1,561
	2223,05	1275	2189,29	1,54	
	2177,61	1180	2143,21	1,61	
80,00%	2156,14	1140	2119,45	1,73	1,763
	2162,53	1170	2125,32	1,75	
	2153,5	1125	2115,29	1,71	
100,00%	2184,4	1080	2133,79	2,37	2,141
	2155,79	1095	2112,84	2,03	
	2130,96	1075	2088,81	2,02	

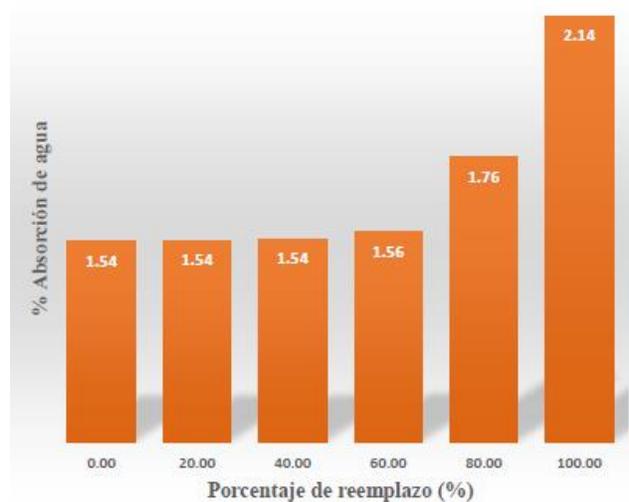


Figura 69. Porcentaje de absorción de agua.

Fuente: (Contreras Laiza &amp; Gonzalez Perez, 2016)

De los anteriores datos, se puede ver claramente que para porcentajes menores e iguales a 60 % de reemplazo de árido natural con vidrio triturado, la variación de la tasa de absorción de agua permanece constante, debido a que ocurren dos fenómenos en forma simultánea que se complementan y restan efectos entre sí en este amplio rango de estudio. Por un lado, tenemos el mejor acomodo de partículas disminuyendo porosidad interior haciendo que disminuya la absorción y por otro el exceso de agua de mezcla no absorbida por la impermeabilidad del vidrio; mientras que, cuando la tasa de reemplazo es superior al 60%, se nota claramente que la relación agua cemento se vuelve demasiado baja, generando un aumento significativo de la absorción de agua (40 %). Según tabla 111, los morteros están en el rango de absorción de agua baja. (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

**Tabla 111**

*Clasificación según la absorción del agua que tiene un material cerámico*

<b>Capacidad de absorción de agua</b>	
Absorción de agua muy baja	<0.5%
Absorción de agua baja	0.5% - 3%
Absorción de agua media - baja	3% - 6%
Absorción de agua media - alta	6% - 10%
Absorción de agua alta	>10%

Fuente: Curso básico de tecnología del concreto, 2004

## **6. Densidad global o bulk**

La densidad global, bulk o a veces también denominada densidad aparente esta “ligada directamente a la absorción de agua.” (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016).

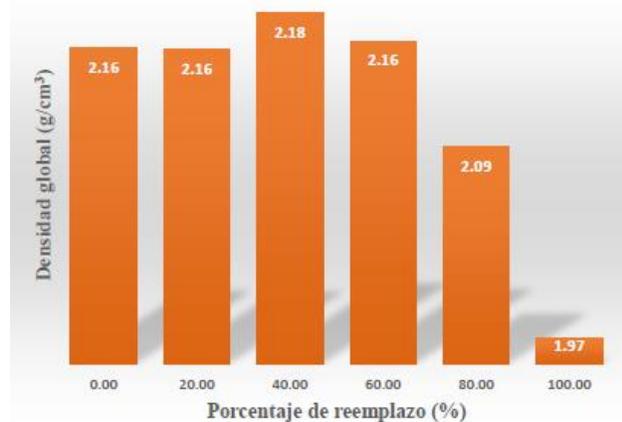
La siguiente tabla 112 muestra los resultados obtenidos de la densidad global o bulk ( $\text{g/cm}^3$ ) del mortero de referencia y de los morteros elaborados con los diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino por vidrio de desecho utilizados.

**Tabla 112**  
*Densidad Global o Bulk ( $\text{g/cm}^3$ )*

% de Reemplazo	D	V	V Prom	B	B Prom
	Peso Seco	Volumen global o bulk	Volumen global promedio	Densidad gobal	Densidad global Promedio
	g	$\text{cm}^3$	$\text{cm}^3$	$\text{g/cm}^3$	$\text{g/cm}^3$
0,00%	2279,46	1034,2		2,18	
	2241,16	1020,8	1047,95	2,14	2,160
	2268,97	1088,8		2,17	
20,00%	2192,55	986,1		2,14	
	2222,99	1037,5	1023,78	2,17	2,158
	2213,75	1047,8		2,16	
40,00%	2177,81	1101,4		2,18	
	2180,47	973,9	997,49	1,19	2,183
	2173,44	917,2		1,18	
60,00%	2179,92	1063,4		2,17	
	2189,29	948,1	1003,03	2,18	2,164
	2143,21	997,6		2,14	
80,00%	2119,45	1016,1		2,09	
	2125,32	992,5	1012,39	2,10	2,094
	2115,29	1028,5		2,09	
100,00%	2133,79	1104,4		1,99	
	2112,84	1060,8	1073,72	1,97	1,967
	2088,81	1056,0		1,95	

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

En la figura 70 se aprecia la gráfica de barras sencilla de porcentaje de reemplazo de vidrio (%) Vs. La densidad global de morteros ( $\text{g/cm}^3$ )



*Figura 70.* Densidad global o bulk de morteros para diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino.

Fuente: (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016)

De los datos registrados en la gráfica anterior, los autores (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016) mencionan que, como se esperaba, a porcentajes de reemplazo bajos y medios, la densidad es constante, su valor se reduce hasta en un 9% en comparación con la muestra de referencia para porcentajes mayores al 60 % de reemplazo de arena por vidrio. Esta tendencia solo confirma lo discutido anteriormente, porque al existir mucha mayor cantidad de agua de mezcla absorbida provoca defectos como la segregación, la porosidad excesiva entre otras. Lo cual causa reducción en las propiedades mecánicas del mortero, porque el agua ocupa un espacio que después de fraguado queda libre (poros abiertos, capilares o poros internos). (p.61)

“Los resultados muestran que el vidrio no afecta la densidad global del mortero para porcentajes de reemplazo considerables coincidiendo con catalán, quien considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad controlada de arena”. (Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016, pág. 62).

(Contreras Laiza & Gonzalez Perez, 2016) concluyen que, luego de determinar el impacto o influencia significativa de la cantidad de reemplazo de vidrio de desecho en los porcentajes desde 20 al 100 % de reemplazo como sustituto del agregado fino sobre la densidad de residuos, tasa de absorción y resistencia a la compresión en mortero para construcción se obtuvo que el porcentaje de absorción máximo obtenido para aquel mortero elaborado con el 100% de los residuos de vidrio como agregado fino fue de 2,14% y este fue el mínimo para todos los morteros estudiados; que la resistencia máxima a la compresión de mortero fabricado a base de cemento tipo ICo con un 20% de sustitución de agregado fino por vidrio de desecho fue de 33,39 MPa, siendo este el porcentaje máximo también para todos los morteros de estudio y que la densidad mínima del mortero a base de cemento ICo con proporción de reemplazo de agregado fino por vidrio usado al 100% es 1.97 g/cm<sup>3</sup> compartiendo el mínimo porcentaje con respecto a todos los morteros evaluados. (p.63)

### **3.5. Mortero de albañilería producidos mediante el empleo de un porcentaje de reemplazo de cerámica de arcilla roja reciclada.**

#### **3.5.1. Morteros de albañilería implementando el uso de áridos reciclados como agregado fino.**

En Madrid España, (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez), con el Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, realizan actas del I congreso Internacional de construcción sostenible y soluciones Eco-eficientes, investigación “UTILIZACIÓN DE ARENAS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, RCD, EN LA FABRICACIÓN DE MORTEROS DE ALBAÑILERÍA”. En donde su objetivo principal es estudiar el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería, remplazando el agregado convencional por diferentes porcentajes de arena reciclada, en las que para una dosificación de 1:3:0.5 contemplaron porcentajes de 10%, 15%, 25% 35% y 45%, para tres tipos de arenas recicladas, entre las cuales está la arena o árido procedente de los residuos de la cerámica (A1). En la que obtuvieron como resultados para obtener un mortero considerable para las actividades de albañilería; Un aumento en la cantidad de agua para obtener una buena plasticidad, siendo necesario la aplicación de aditivos a partir del 10% de sustitución de agregado (A1), las resistencias mecánicas son superiores en el caso de la flexión e inferiores a la compresión con respecto al mortero convencional y presentan una desventaja en la adherencia.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez), realizaron y concluyeron lo siguiente: Se realizaron ensayos con tres tipos de arenas recicladas entre estas líneas están las de reciclaje de residuos cerámicos y hormigones, representada como A1 Y A2, y las de reciclajes de hormigón, representada como A3. En este caso para la exposición de este autor se tendrá en cuenta la arena proveniente de residuos cerámicos (A1).

- **Granulometría**

En la siguiente figura de la granulometría obtenida no se muestran partículas de tamaño superior a 8mm y las partículas de tamaño mayor a 5.6 mm no superan el 5%. El porcentaje que pasa por el tamiz 0.063 no supera los valores límites fijados por la norma Europea UNE-EN-13139, del 5% para morteros para revoco y enlucido y el 8% para morteros de albañilería.

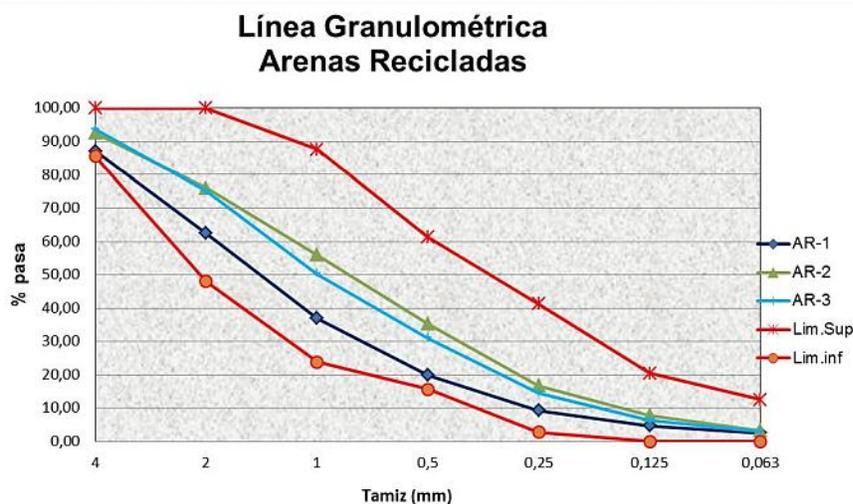


Figura 71. Línea granulométrica de las arenas recicladas, en referencia a los límites superiores y límites inferiores indicados por la norma europea.

Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez)

**Tabla 113***Contenido máximo de finos en los áridos*

Contenido máximo de finos en los áridos		
Árido	Porcentaje máximo que pasa por el tamiz 0,063 mm	Tipos de áridos
Grueso	1,50%	- Cualquiera -Áridos redondeados.
	6%	- Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F.
Fino	10%	- Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición IIIa, IIIb, IIIc, IV o bien a alguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F. - Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb,Qc,E,H y F.
	16%	- Áridos de machaqueo no calizos para obras sometidas a las clases generales de exposición I, IIa o IIIb y no sometidas a ninguna de las clases específicas de exposición Qa, Qb, Qc, E, H y F.

Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, &amp; Fernandez Martinez).

- **Características de las arenas obtenidas del reciclaje**

**Tabla 114***Características de las arenas obtenidas del reciclaje*

Ensayo	Norma	AR 1	AR 2	AR 3
Contenido de Finos	UNE-EN-933-1	2.53%	3.22%	2.91%
Forma de las partículas	UNE-EN-13139	No relevante	No relevante	No relevante
Módulo de finura	UNE-EN-13139	4.77%	4.12%	4.26%
Densidad Conjunto (gr/cm <sup>3</sup> )	UNE-EN-1097-3	1.21	1.73	1.52
Densidad Relativa (gr/cm <sup>3</sup> )	UNE-EN-1097-6	2.34	2.74	2.66
Absorción	UNE-EN-1097-7	5.21	4.49	4.63

Nota: Características de las arenas recicladas. Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, &amp; Fernandez Martinez).

Se observa en la tabla de las características de las arenas recicladas que el contenido de finos, la densidad húmeda y la densidad relativa seca es menor en los áridos de residuos cerámicos, que el módulo de finura y el porcentaje de absorción es mayor que los áridos con residuos de hormigón.

Las características de los tres tipos de arenas recicladas son su elevado contenido en finos y de partículas retenidas en el tamiz 4mm, así como una elevada absorción de agua. Las líneas granulométricas están dentro de los límites marcados por la NBE-FL 90 previa adaptación de los tamices a los reflejados en la Norma UNE-EN-933-2 (...). La densidad relativa es similar para los áridos reciclados y superior a la densidad de la arena de referencia, por lo que podemos deducir que los morteros reciclados serán más pesados que los morteros de referencia. El coeficiente de absorción de agua de las arenas recicladas es mucho mayor. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

- **Consistencia**

Se estructuró el diseño de mezclas en dos niveles, el primero de ellos se empleó sin aditivos, en el segundo se consideró la utilización del aditivo Rheobuild 2100.

A partir del 10% de sustitución en cualquiera de las tres arenas recicladas, ha sido necesario incorporar aditivo para obtener consistencias que permitan morteros reciclados

trabajables (...) A medida que se incrementa el porcentaje de sustitución de arena normalizada por arena reciclada, fue necesario incrementar el % de aditivo para conseguir valores e consistencia comprendidos entre 160 y 185 mm. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez)

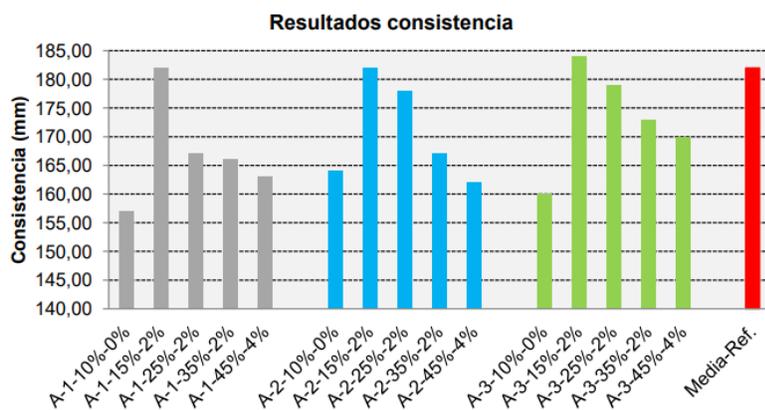


Figura 72. Resultado de ensayo de consistencia.

Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez)

Debido a esto, el porcentaje máximo de sustitución es de hasta 45% para los tres tipos de morteros reciclados empleando un 4% de aditivo sobre peso del cemento.

- **Resistencias mecánicas (compresión y flexión)**

Los morteros elaborados con áridos de reciclaje tienen menor resistencia a compresión que el mortero de referencia, pero mayores en la resistencia a la flexión.

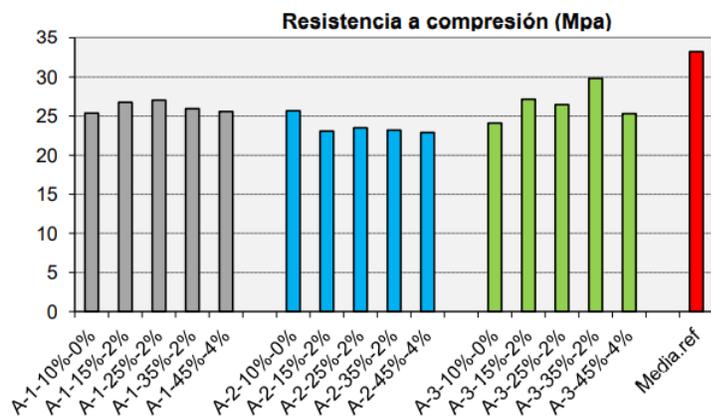


Figura 73. Resultado de ensayo a compresión .

Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez)

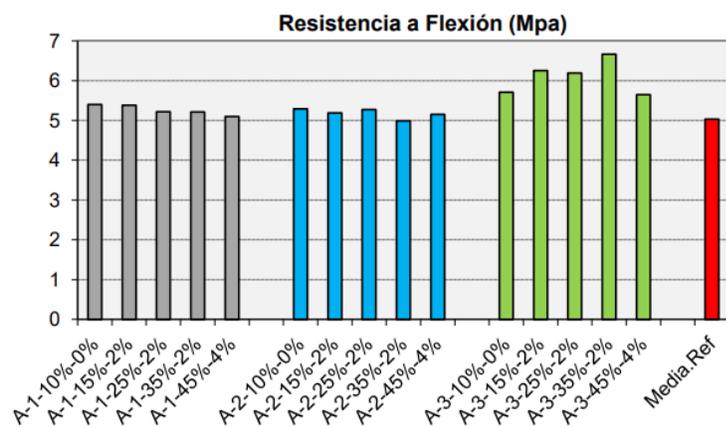


Figura 74. Resultado de ensayo a flexión.

Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez)

En el caso de la resistencia a la compresión, las resistencias obtenidas son suficientes para el cumplimiento de la norma UNE-EN-998-2 para su utilización en obra, tanto como morteros de albañilería como morteros para revoco y enlucido. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

- **Resistencia a la adherencia**

**Tabla 115**  
*Resistencia a la adherencia*

<b>Amasada</b>	<b>Resistencia a la adhesión</b> <b>Valor medio (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tipo de rotura</b>
Referencia	0.57	A 100
A-1-15%- 2%	0.49	A 100
A-1-25%- 2%	0.51	A 100
A-1-45%- 4%	0.4	A 100
A-2-10%- 0%	0.45	A 100
A-2-25%- 2%	0.54	A 100
A-2-45%- 4%	0.55	A 100
A-3-10%- 0%	0.47	A 100
A-3-25%- 2%	0.56	A 100
A-3-45%- 4%	0.56	A 100

*Nota:* Tipo de rotura y porcentaje de la superficie que afecta, resultados del ensayo de adherencia. Fuente: (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

En los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, la resistencia a la adhesión es inferior que en los morteros de referencia. La arena 1, perteneciente a la línea de reciclaje cerámico es la que presenta valores más bajos. Sin embargo, las arenas 2 y 3 que pertenecen a la línea de reciclaje de hormigón presentan valores de resistencia a la adhesión muy próximos a los morteros de referencia (...). Debido al buen comportamiento a flexión y adherencia que

presentan los morteros de cemento elaborados con arenas recicladas, pueden ser utilizados para revestimientos continuos en fachadas. (Saiz Martinez, Gonzalez Cortina, & Fernandez Martinez).

En este tercer capítulo se identificaron y analizaron las investigaciones y experiencias que se tienen en cuanto a la elaboración de morteros para la construcción mediante la incorporación de diversos porcentajes de residuos de construcción y demolición (RCD) como material de agregado fino en reemplazo de la arena natural o material cementicio, se analizaron las metodologías utilizadas en el transcurso de cada investigación y los resultados obtenidos de los ensayos respectivos elaborados con el propósito de determinar la influencia de estos residuos RCD en el comportamiento y las propiedades más relevantes de los morteros de albañilería en especial la adherencia, la densidad y porosidad aparente, el % de volumen de poros permeables, el % de absorción de agua del mortero, entre otras prestaciones mecánicas significativas en los morteros para pañetes, los cuales son la temática en particular, de este proyecto monográfico. Ahora en un cuarto capítulo se darán a conocer las experiencias encontradas e implementadas en diferentes partes del mundo, específicamente para morteros de construcción para revestimiento o revoque, mediante el uso de residuos (RCD).

## **Capítulo IV. Experiencias encontradas con referencia a la alternativa de utilización de morteros de construcción para pañetes, mediante el uso de áridos reciclados procedentes de (RCD)**

### **4.1. Mortero de construcción para pañete, utilizando agregado reciclado procedente de la línea de reciclaje mixto.**

#### **4.1.1. Estudio de mortero para friso o pañete elaborado mediante el uso de áridos provenientes de residuos sólidos de materiales cerámicos mixtos recolectados en la demolición de construcciones.**

En el año 2018 en Madrid, España, se realiza una investigación titulada “Mortero de revestimiento de fachada realizado con residuos de construcción y demolición” por M. Isabel Sánchez de Rojas, Eloy Asensio, Borja Frutos y Moisés Frías, en representación del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC); Andrés Juan en representación de la Universidad de León. Ingeniería de Materiales y Eco-eficiencia (INMATECO); Marta Nieto en representación de la Escuela Arquitectura. Universidad de Alcalá de Henares y César Medina en representación de la Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura. Unidad Asociada UEX-CSIC. Esta investigación es de gran importancia para este proyecto de monografía, ya que, contiene información relevante del caso de estudio.

Para este estudio se llevó a cabo la producción de mortero de construcción para pañete de fachada con bajo contenido de cemento (20%) y alto porcentaje de RCD (80%) como áridos. El RCD utilizado para fabricar el mortero proviene de una planta de reciclaje, compuestos principalmente por materiales como mortero, azulejos, tejas y ladrillos, por lo que se clasifican como residuos mixtos. El RCD se agrega al mortero con un tamaño de partícula de 5 mm a 0.045 mm, en lugar de agregado natural. Además, se ha comprobado que estos polvos finos de RCD tienen actividad puzolánica y por tanto ayudan a mejorar el comportamiento del mortero. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).

### ***1. Materiales***

Se utilizó cemento tipo CEM II/B-M (P-L) 32,5 N, según la norma EN 197-1. 2011, fabricado en la empresa Lafarge; residuos de construcción y demolición mixto (RCDmix), procedentes de la Planta de reciclaje Tecnología y Reciclado S.L. de Madrid y agua tratada. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018). En la siguiente tabla 116, se muestran los resultados obtenidos del ensayo de análisis granulométrico.

**Tabla 116**  
*Granulometría RCDmix*

<b>Muestra</b>	<b>Tamiz luz de malla (mm)</b>	<b>Retenido Acumulado (gr)</b>	<b>Pasa (%)</b>
	8,00	4,90	99,51
RCDmix (1000 gr)	5,00	25,40	97,46
	4,00	68,90	93,11

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018)

“Tabla 116” “Continuación”

2,00	369,90	62,97
1,00	573,90	42,54
0,50	747,90	25,12
0,25	851,90	14,71
0,125	953,60	4,53
0,090	962,30	3,65
0,045	976,90	2,19
< 0,045	998,80	0

La proporción de mezcla del mortero (MorRCDmix) utilizado fue: RCDmix: 80%, Cemento: 20% y Relación agua/cemento: 1,00. Con esta dosificación, la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días es de 6,62 MPa, y si se reemplaza el 80% de RCDmix por arena normalizada, la resistencia a la compresión del mortero resultante es de 6,77 MPa con la misma edad. Por lo tanto, cuando se usa RCDmix, la resistencia se reduce en un 2%. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018)

## **2. Preparación y aplicación del mortero**

Se elaboró el mortero MorRCDmix in situ, por medio de una mezcladora y se aplicó a la pared exterior de unos 23 m<sup>2</sup> ubicada en el IETcc, la cual se encuentra expuesta al sol durante la mayoría del día. Previamente se lijó la superficie a intervenir para así proporcionar una mejor adherencia entre la superficie existente y el MorRCDmix. Luego, se esparcieron dos capas de mortero reciclado consiguiendo un revestimiento de aspecto “rustico” con espesor aproximado de 2 cm. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018). Se realizó el curado del pañete, humedeciendo de

forma constante durante la primera semana. A continuación, se muestran una serie de figuras (figuras 75 - 76 y 77) en las cuales se identifica el proceso constructivo empleado en pañete de muro mediante la utilización de RCD.



*Figura 75.* Aspecto inicial de la pared y preparación de la pared: Lijado.

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).



*Figura 76.* Aplicación del mortero base y aspecto final del enfoscado con mortero MorRCDmix.

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).



*Figura 77.*Detalle del mortero MorRCDmix: Aspecto rustico.

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).

Se realiza el seguimiento y tras 4 años de uso en el muro exterior se ha comprobado el buen estado del mortero MorRCDmix, el mortero mantiene su aspecto original y no se observan fisuras ni separaciones. El buen comportamiento se debe en parte a la actividad puzolánica que presentan los componentes cerámicos, que forman parte de la fracción fina del RCDmix, que ha sido evaluado mediante la prueba de fijación con cal, destacando que la actividad puzolana aumenta con el aumento del contenido de producto cerámico en RCD. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018). En la figura 78, se observa el aspecto del mortero MorRCDmix después de 4 años desde su aplicación.



*Figura 78.* Aspecto y detalle del mortero MorRCDmix después de 4 años desde su aplicación.

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018)

### 3. Estudios de color

Se realizó un análisis de estudios de color, debido a, que la estética del mortero de revestimiento juega un papel importante, y su evaluación se realiza midiendo el color. En este estudio se utilizó un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2500d con procesador de datos. El procesador de datos utilizó el sistema  $L^* a^* b^*$  para seleccionar diferentes espacios de color. Este sistema se ha utilizado internacionalmente. Se utiliza como definición estandarizada de color. Dónde: ( $L^*$ ) representa la medida de la luminosidad; ( $a^*$ ) es una medida del contenido de rojo o de verde (si un color tiene rojo  $a^*$  será positiva, mientras que si  $a^*$  es negativa entonces el color tiende al verde); y ( $b^*$ ) indica contenidos de amarillo si es positiva, mientras valores negativos de  $b^*$  indican contenidos de azul. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018) los resultados obtenidos se aprecian en la figura 79.

Los estudios de color se realizan en el mortero de revestimiento MorRCDmix diseñado, en comparación con un mortero de cemento portland convencional elaborado con arena normalizada. Los resultados obtenidos resaltan cómo el color del mortero MorRCDmix tiene una tonalidad ligeramente más oscura (menor luminosidad), y las coordenadas de color se desplazan hacia la zona roja, lo cual es provocado por la presencia de materiales cerámicos, lo cual se debe a la presencia de ladrillos y tejas, mientras que, en el mortero estándar, las coordenadas de color se encuentran en el área acromática de gris. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018)

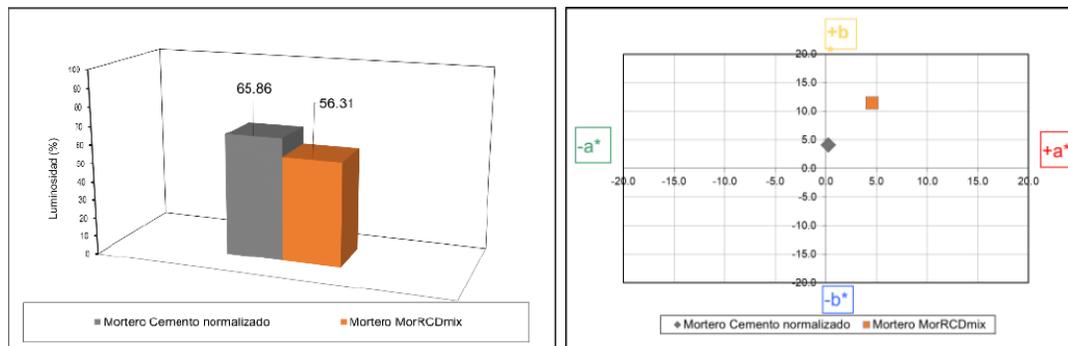


Figura 79. Estudios de color.

Fuente: (Sánchez de Rojas, y otros, 2018)

#### 4. Ensayos acústicos

Se realizó un análisis experimental mediante ensayos normalizados de aislamiento acústico en laboratorio, de una solución constructiva de fachada, antes y después de revestirla con el mortero MorRCDmix, con el fin de analizar y comparar los fenómenos de vibración y sonido y las relaciones entre ondas y sonido. Para esto, se utiliza una mampostería de ladrillo perforado, mortero de cemento recubierto con 3 mm de espesor en el lado de recepción (figura 80), y posteriormente se incorpora una capa de mortero MorRCDmix de 2,5 cm de grosor del lado emisor (figura 80). En la figura 81 se observa, el enfoscado con mortero MorRCDmix de la pared en emisión. (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).

Los resultados obtenidos son los siguientes: Fachada base [LP (115mm) + M (3mm)]: LA-14.001-08:  $RA_{tr} = 41,6$  dBA y en la fachada revestida con MorRCDmix [M (25mm) + LP (115mm) + M (3mm)]: LA-14.001-10:  $RA_{tr} = 43,3$  dBA. Por lo tanto, con el mortero

MorRCDmix se consigue una mejora de aislamiento a ruido de tráfico ( $\Delta R_{Atr}$ ) de 1,7 dBA.

(Sánchez de Rojas, y otros, 2018).



*Figura 80.* Pared base en emisión (izquierda) y en recepción (derecha).

*Fuente:* (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).



*Figura 81.* Enfoscado con mortero MorRCDmix de la pared en emisión.

*Fuente:* (Sánchez de Rojas, y otros, 2018).

Según (Sánchez de Rojas, y otros, 2018) concluyen que, las propiedades estéticas y acústicas del mortero elaborado en su investigación, el cual fue un mortero fechado MorRCDmix de aspecto rústico, compuesto en un 80% por residuos mixtos de construcción y demolición (RCDmix), lo convierten en un sustituto idóneo del mortero elaborado de forma convencional, por lo que estos residuos pueden ser mejor gestionados, en una economía circular.

#### **4.1.2. Características físico - mecánicas de un mortero con agregados proveniente de la trituración de RCD mixto.**

En el año 2015, en la Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, España. Carmelo Muñoz Ruiperez, realiza una investigación titulada "Propiedades físicas y durabilidad de morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados". Su tesis doctoral fue orientada a morteros de construcción en general, tanto de revestimiento como de pega los cuales se dosificaron por medio de una sustitución del árido natural (AN) por diferentes combinaciones y porcentajes de arcilla expandida y sustitución de todo el árido natural (AN) por áridos reciclados de hormigón (ARH) y mixtos (ARM). Este proyecto monográfico se enfoca en el análisis de resultados obtenidos para mortero de pañete bajo la sustitución de todo el árido natural (AN) por áridos reciclados de hormigón (ARH) y mixtos (ARM).

El proceso experimental para determinar el mortero de diseño (morteros realizados con áridos reciclados) fue el siguiente: previamente se iniciaron las investigaciones con la fabricación de mortero convencionales con áridos naturales, denominado "mortero base " (MB), analizando algunas de sus características mecánicas, en estado fresco y endurecido. Luego, con estos datos

iniciales, se hace el mortero con la menor densidad posible, sustituyendo así la cantidad de árido natural con áridos de arcilla expandida en diferentes porcentajes. El mortero aligerado obtenido se denomina "mortero de referencia" (MR). Una vez obtenido el mortero de referencia seleccionado, todos los áridos naturales de la mezcla fueron sustituidos por áridos reciclados de hormigón (ARH) y residuos triturados provenientes de RCD mixto (ARM). A estos morteros se les llamó "morteros de diseño". Se llevaron a cabo experimentos para comparar el desempeño en las propiedades del "mortero base", el "mortero de referencia ligero" hecho de agregados naturales y el "mortero de diseño" hecho de agregados reciclados para evaluar los cambios que presentaban los "morteros de diseño" respecto a los "morteros base" y de los "morteros de referencia" (Muñoz Ruiperez, 2015).

Para la realización de la investigación se utilizó cementos portland tipo CEMI 42,5 R; arena lavada procedente de la gravera de Cubillo del Campo, seleccionada entre otras dos graveras próximas a la ciudad de Burgos, como la de Olmos de Atapuerca y la de Espinosa de Juarros; áridos reciclados, procedentes de la planta de reciclaje de Iglecar S.L. en Cortez (Burgos) y Artepref del grupo de empresas Gerardo de la Calle en Aranda de Duro (Burgos). En la primera planta de reciclaje se seleccionaron áridos mixtos reciclados y en la segunda se obtuvieron áridos de hormigón reciclado. También se utilizó arcilla expandida y agua potable, proporcionada por la empresa municipal Aguas de Burgos S.A., dependiente del Excmo. Ayuntamiento de Burgos. (Muñoz Ruiperez, 2015).

El estudio de la granulometría se realiza de acuerdo a las prescripciones establecidas en la Norma UNE-EN 933-1 (AENOR 2006)352. Los datos obtenidos en las granulometrías del árido

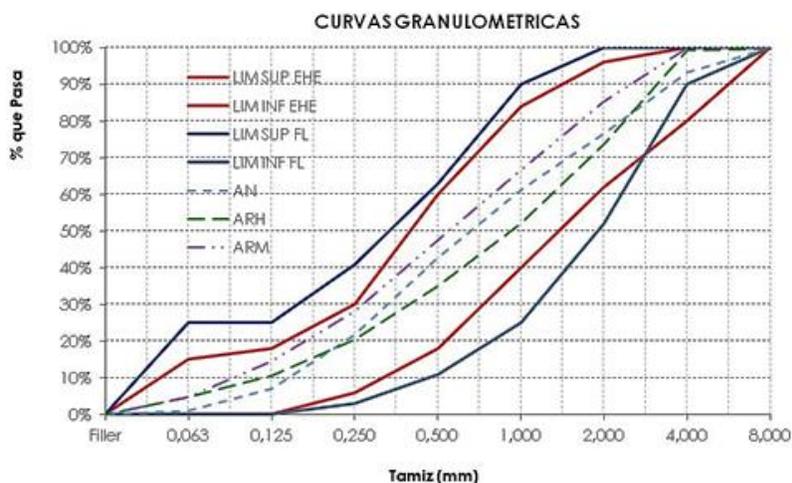
reciclado de hormigón (ARH), del árido reciclado mixto (ARM) y de la arena lavada (AN), se recogen en la Tabla 117 y la curva granulométrica se muestra en la figura 82, expresando el porcentaje de material acumulado que pasa por cada tamiz, referido al peso de la muestra ensayada. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 117**

*Granulometría de los áridos utilizados en % que pasa acumulado*

Granulometrías áridos en % que pasa acumulado			
Luz tamiz en mm	Arena lavada	ARH	ARM
8	100,00	99,38	100,00
4	92,23	99,23	99,99
2	76,54	73,79	85,45
1	61,16	52,05	66,59
0,50	42,75	35,03	47,55
0,25	21,71	20,38	28,15
0,125	7,07	10,58	14,51
0,063	1,08	4,71	4,81
Filler	0	0	0

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).



*Figura 82. Curvas granulométricas de los áridos utilizados.*

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

Se puede ver que todas las curvas del agregado probado están dentro del rango de EHE-08 y NBE-FL. Y los materiales correspondientes a áridos naturales y áridos reciclados son similares en proporción y tamaño. Por otro lado, la curva de finura de partículas del agregado reciclado en porcentaje acumulado en las partículas finas, es mayor que la del agregado natural (NA), lo que significa que el agregado reciclado es más grueso. Mientras que, el agregado reciclado de hormigón (ARH) tiene una rugosidad más fina y un tamaño mediano. En cualquiera de estos tres casos, se puede observar que alrededor del 60% del agregado ensayado tiene un tamaño máximo de 0,5 mm. (Muñoz Ruiperez, 2015)

Por otra parte, según (Muñoz Ruiperez, 2015), y su investigación bibliográfica, la densidad aparente de la mayoría de áridos reciclados se sitúa entre 2060 y 2650 Kg / m<sup>3</sup>. En la investigación analizada, la densidad determinada varía según el agregado reciclado que se experimentó, los valores obtenidos de la densidad aparente (Kg/m<sup>3</sup>) y el porcentaje de absorción de agua se muestran en la tabla 118.

**Tabla 118**

*Tabla densidades aparentes y absorción de los áridos utilizados*

<b>Densidad Aparente - Absorción</b>		
<b>Áridos</b>	<b>Densidad Aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorción (%)</b>
Árido natural	2640	0,22%
Árido reciclado de hormigón	2400	2,40%
Árido reciclado mixto	2450	2,49%

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

En la tabla 119 se representan el contenido en finos de los diferentes áridos utilizados.

**Tabla 119***Contenido de finos de los áridos utilizados para fabricar los morteros*

Arena lavada	Contenido en finos (%)			
	ARH	ARM	Arc. exp. 2-4	Arc. exp. 3-8
1,08	4,71	4,81	0	0

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

(Muñoz Ruiperez, 2015), mencionan que, de acuerdo a la norma UNE-EN 13.139 (AENOR 2003) 353, los áridos utilizados para la elaboración de los diferentes morteros de su investigación, pueden utilizarse para las siguientes finalidades: Categoría 1: Morteros para pavimentos, proyectados, para reparación, pastas: la arena lavada, y las arcillas expandidas; categoría 2: Morteros para revocos y enlucidos: el árido reciclado de hormigón (ARH) y el árido reciclado mixto (ARM) y categoría 3: Morteros para albañilería: todos. Se aprecia que los morteros de construcción para pañete se encuentran en la categoría 2.

Se utilizó la tecnología de análisis de difracción de rayos X (DRX) para determinar cualitativamente la composición mineralógica de los diferentes áridos utilizados, árido natural (AN) y dos tipos de árido reciclado utilizados: árido de hormigón reciclado (ARH) y árido reciclado mixto (ARM). Mediante espectroscopia de fluorescencia electromagnética, se obtuvo la composición química de diferentes agregados de manera cuantitativa y en forma de óxidos, los cuales se describen en la tabla 120. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 120**  
*Análisis químico de los diferentes áridos utilizados*

<b>Análisis químico de los diferentes áridos utilizados (%)</b>			
<b>Elementos</b>	<b>AN</b>	<b>ARH</b>	<b>ARM</b>
Si O <sub>2</sub>	95,29	56,53	67,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	2,16	5,02
K <sub>2</sub> O	0,97	1,32	2,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	1,10	1,50
Ti O <sub>2</sub>	0,12	0,10	0,28
Ca O	0,07	37,40	22,08
Mg O	0,03	0,08	0,88
Otros	1,81	1,31	0,55

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

Se puede observar que el principal componente esencial del agregado analizado es la sílice, que tiene un mayor valor en los agregados naturales. (Muñoz Ruiperez, 2015). El valor del árido reciclado ARH es más bajo en comparación con el natural.

### ***Dosificación experimental***

La dosificación del mortero se diseñó de acuerdo con la prescripción determinada en el manual, según pliego de condiciones que se muestra en la tabla 121 y tabla 122. La dosificación experimental empleada fue (1/4), ya que esta se puede utilizar para cualquier propósito y se ubica en un punto intermedio entre los morteros ricos (relaciones cemento/arena 1/1, 1/2 y 1/3) y los morteros pobres (1/6, 1/8, 1/10). (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 121***Relaciones en peso de los morteros utilizados en construcción*

Morteros de cemento						
Usos	Relación de cemento / árido en peso					
Albañilería			1/3	1/4	1/6	1/7
Mampostería				1/4	1/6	1/7
Revestimiento	1/1	1/2	1/3	1/4	1/6	1/8

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 122***Dosificación de los morteros según Pliego Condiciones de la Dirección General de Arquitectura*

Dosificaciones según pliego condiciones técnica				
Uso	Relación C/A	Cemento (Kg)	Arena (m <sup>3</sup> )	Agua (m <sup>3</sup> )
Albañilería	1/3	440	0,975	0,260
	1/4	350	1,030	0,260
	1/6	250	1,100	0,255
	1/7	217	1,130	0,255
mampostería	1/4	350	1,030	0,260
	1/6	250	1,100	0,255
	1/7	215	1,130	0,255
Revestimiento	1/1	920	0,680	0,270
	1/2	600	0,880	0,265
	1/3	440	0,975	0,260
	1/4	350	1,030	0,260
	1/6	250	1,100	0,255
	1/8	190	1,130	0,255
	1/10	160	1,150	0,250
Soleras	1/6	250	1,100	0,255
	1/8	190	1,130	0,255

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

Se realizó el mortero base, con árido natural fabricado de la forma tradicional y se realizaron catorce categorías de reemplazo del árido natural por arcilla expandida y árido reciclado. En la tabla 123, se muestra la distribución del árido en los morteros estudiados. El caso de estudio se enfoca en los morteros de diseño MLH y MLM.

**Tabla 123**  
*Distribución del árido en los morteros estudiados*

		<b>Distribución del árido</b>					
<b>Tipo de mortero</b>		<b>Arena</b>	<b>Arc. exp. 2-4</b>	<b>Arc. exp. 3-8</b>	<b>ARH</b>	<b>ARM</b>	
Mortero Base	MB	100%	-	-	-	-	
	MRA1	75%	-	25%	-	-	
Tipo A	MRA2	50%	-	50%	-	-	
	MRA3	25%	-	75%	-	-	
	MRB1	75%	25%	-	-	-	
Tipo B	MRB2	50%	50%	-	-	-	
	MRB3	25%	75%	-	-	-	
Mortero de referencia	Tipo C	50%	50%	50%	-	-	
	50%	MRC2	50%	25%	75%	-	-
Sustitución	MRC3	50%	75%	25%	-	-	
	Tipo D	MRD1	25%	50%	50%	-	-
75%	MRD2	25%	25%	75%	-	-	
	Sustitución	MRD3	25%	75%	25%	-	-
	MLH	-	25%	75%	25%	-	
Mortero de diseño	MLM	-	25%	75%	-	25%	

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

Para la selección del mortero de referencia (MR), se establecieron doce niveles de sustitución de árido natural (AN) por diferentes combinaciones y porcentajes de arcilla expandida, donde se selecciona la mezcla del mortero que presenta una mejor combinación de prestaciones mecánicas y menor densidad. Como se buscaba un material lo más ligero posible, se elige el mortero MRD2 como mortero de referencia (MR) porque tiene la densidad aparente más baja y la relación agua-cemento más baja. (Muñoz Ruiperez, 2015).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados a los morteros de referencia experimentados. Con el fin de facilitar el proceso de comparación entre tipos de mortero, se realizó la media aritmética de todas las probetas fabricadas, cuyos

valores se observan en las figuras 83, 84 y 85. (Muñoz Ruiperez, 2015).

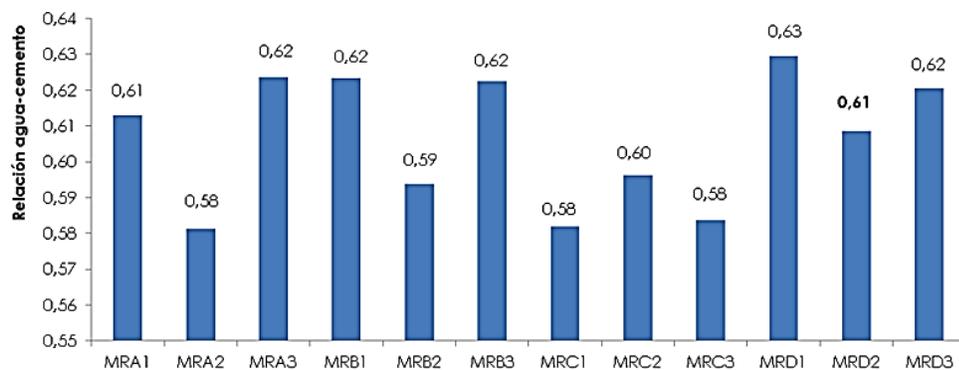


Figura 83. Relación agua-cemento de los morteros de referencia.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

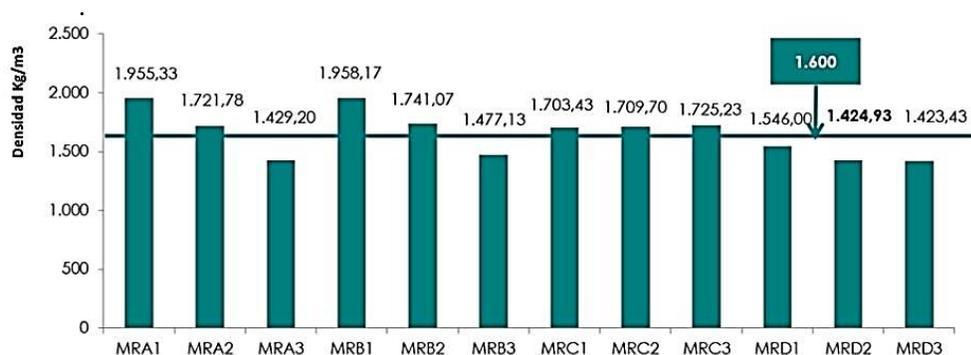


Figura 84. Densidad de los morteros de referencia.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

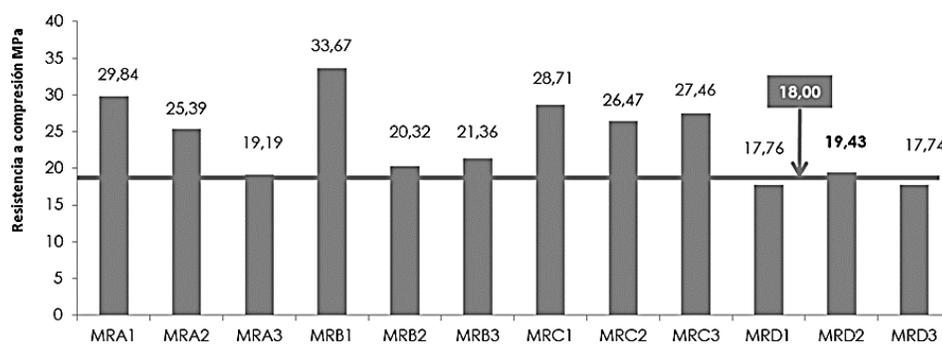


Figura 85. Resistencia a compresión de los morteros de referencia.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

En las siguientes tablas 124 y 125, se muestra la dosificación utilizada para los morteros de referencia tipo D y los resultados de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en los laboratorios para este tipo de morteros. En estas se aprecia en específico los datos dados para el mortero de referencia MRD2, el cual fue el elegido por los autores.

**Tabla 124**  
*Dosificaciones morteros de referencia Tipo D*

Dosificaciones mortero referencia tipo D								
Tipo	Sustitución	Denomina.	Cem. (gr)	Arena (gr)	Arc. exp. 2-4 (gr)	Arc. exp. 3-8F (gr)	Agua (gr)	Valido
D1	75% 50% TIPO 2-4 50% TIPO 3-8	MRD1.1			207,70	187,40	308,56	No
		MRD1.2			204,90	187,30	317,65	No
		MRD1.3	500	500	204,70	187,60	314,54	Si
		MRD1.4			204,80	187,60	314,05	Si
		MRD1.5			204,80	187,50	315,87	Si
D2	75% 25% TIPO 2-4 75% TIPO 3-8	MRD2.1			307,20	93,70	305,55	No
		MRD2.2			307,30	93,80	301,81	Si
		MRD2.3	500	500	307,30	93,70	307,60	No
		MRD2.4			307,30	93,60	305,18	Si
		MRD2.5			307,30	93,60	305,69	Si
D3	75% 75% TIPO 2-4 25% TIPO 3-8	MRD3.1			102,40	281,30	310,23	Si
		MRD3.2	500	500	102,40	282,40	310,09	Si
		MRD3.4			102,40	282,40	310,25	Si

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 125**  
*Propiedades físicas y mecánica mortero referencia Tipo D*

Propiedades mortero referencia tipo D						
Tipo	Denomina.	a/c	Consist. (mm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	R.comp. (Mpa)	R.tracc. (Mpa)
D1	MRD1.1	0,6171*				
	MRD1.2	0,6353*				
	MRD1.3	0,6291	171,50	1418,60	20,30	3,93
	MRD1.4	0,6281	165,00	1425,00	19,60	3,57
	MRD1.5	0,6317	172,00	1524,40	16,37	3,29

Nota: \* Amasada no válida. Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

“Tabla 125” “Continuación”

	MRD2.1	0,6111*				
	MRD2.2	0,6036	167,00	1414,00	19,40	3,30
D2	MRD2.3	0,6152*	169,0*			
	MRD2.4	0,6104	178,00	1427,40	19,68	3,17
	MRD2.5	0,6114	179,25	1433,40	18,69	3,35
	MRD3.1	0,6205	174,50	1425,10	16,04	2,88
D3	MRD3.2	0,6202	168,00	1428,70	18,71	3,44
	MRD3.4	0,6205	184,50	1416,50	18,48	3,15

Para la elaboración del mortero de diseño, previamente se tuvo que elaborar el mortero de referencia (MRD2), aligerado con arcilla expandida, se utiliza para este mortero de referencia un 25% de arena natural y un 75% de sustitución de arena natural por arcilla expandida (25% arcilla.2-4 y 75% arcilla. 3-8). Luego, para la fabricación del mortero de diseño el porcentaje total (25%) de arena natural se sustituye por árido reciclado.

En las tablas 126 y 127, se muestra las dosificaciones utilizadas para los morteros experimentales, se recogen las cantidades de cada componente en peso, se realizaron diez muestras para cada tipo de mortero.

**Tabla 126**

*Dosificaciones del mortero base y del mortero de referencia*

Dosificaciones de los morteros MB y MR (gr)							
Tipo	Denomina.	Cemento	Arena	Arc. exp. 2-4	Arc. exp. 3-8F	Agua	W/C
	MB-1	450	1800	-	-	295,33	0,656
	MB-2	450	1800	-	-	296,29	0,658
MB	MB-3	450	1800	-	-	296,80	0,659
	MB-4	450	1800	-	-	296,29	0,658
	MB-5	450	1800	-	-	296,73	0,659

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

“Tabla 126” “Continuación”

	MB-6	900	3600	-	-	596,44	0,663
	MB-7	850	3400	-	-	559,76	0,658
	MB-8	800	3200	-	-	527,61	0,659
	MB-9	800	3200	-	-	527,61	0,659
	MB-10	800	3200	-	-	527,32	0,659
	MR-1	500	500	307,30	93,80	301,81	0,604
	MR-2	500	500	307,30	93,70	307,60	0,615
	MR-3	500	500	307,30	93,60	305,28	0,611
	MR-4	500	500	307,30	93,60	305,69	0,611
MR	MR-5	500	500	307,30	93,70	305,94	0,612
	MR-6	500	500	307,20	93,60	306,62	0,613
	MR-7	500	500	307,30	93,50	307,68	0,615
	MR-8	500	500	307,30	93,70	310,30	0,621
	MR-9	500	500	307,30	93,70	310,07	0,620
	MR-10	850	850	522,60	159,20	536,64	0,631

**Tabla 127**

*Dosificaciones del mortero de diseño con árido reciclado hormigón y mortero de diseño con árido reciclado mixto*

Dosificaciones de los morteros MLM y MLH (gr)								
Tipo	Denomina.	Cemento	ARH	ARM	Arc. exp. 2-4	Arc. exp. 3-8F	Agua	W/C
	MLH-1	500	436,80	-	417,20	93,80	398,33	0,797
	MLH-2	500	436,70	-	417,20	93,70	380,74	0,762
	MLH-3	500	436,80	-	417,30	93,70	379,93	0,760
	MLH-4	500	436,80	-	417,20	93,70	375,83	0,752
MLH	MLH-5	500	436,70	-	417,20	93,60	376,59	0,753
	MLH-6	500	436,60	-	417,20	93,70	375,40	0,751
	MLH-7	1000	873,20	-	834,40	187,40	750,46	0,751
	MLH-8	500	436,60	-	417,20	93,80	372,50	0,745
	MLH-9	2750	2402,00	-	2290,00	510,00	2035,00	0,740
	MLH-10	500	436,70	-	417,20	93,00	372,67	0,745
MLM	MLM-1	500	-	378,20	417,30	93,70	406,00	0,813
	MLM-2	500	-	378,30	417,40	93,70	405,58	0,811
	MLM-3	500	-	378,30	417,40	93,70	405,84	0,812
	MLM-4	500	-	378,30	417,50	93,70	406,17	0,812

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

“Tabla 127” “Continuación”

	MLM-1	500	-	378,20	417,30	93,70	406,00	0,813
	MLM-2	500	-	378,30	417,40	93,70	405,58	0,811
	MLM-3	500	-	378,30	417,40	93,70	405,84	0,812
	MLM-4	500	-	378,30	417,50	93,70	406,17	0,812
MLM	MLM-5	500	-	378,40	417,50	93,70	406,54	0,813
	MLM-6	2750	-	2081,20	2296,25	515,35	2237,43	0,814
	MLM-7	500	-	378,00	417,20	93,60	414,95	0,830
	MLM-8	500	-	378,00	417,20	93,70	416,22	0,832
	MLM-9	500	-	378,00	417,30	93,50	416,81	0,834
	MLM-10	1000	-	756,20	834,50	187,30	835,19	0,835

### ***Resultados experimentales***

Se realizaron ensayos en estado fresco y en estado endurecido de los morteros para pañete, analizando las propiedades más relevantes. A continuación, se muestra los datos obtenidos en las pruebas.

#### *1. Propiedades del mortero fresco*

##### - Consistencia:

En la tabla 128, se muestra la relación agua/cemento de los morteros experimentados, recoge la media aritmética de la cantidad de agua añadida a las diez muestras dosificadas para cada uno de los tipos de mortero ensayados.

**Tabla 128***Relación agua/cemento de los morteros prescritos*

Mortero	Relación agua/cemento			
	MB	MR	MLH	MLM
Relación w/c	0,659	0,615	0,756	0,821

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba se observa que, debido a la adición de arcilla expandida, el mortero de referencia (MR) requiere menos agua que el resto de morteros ensayados, y el volumen de agua requerido se reduce en un 6,70% respecto a al mortero convencional. Mientras que los morteros (MLH y MLM) mezclados con áridos reciclados requieren más cantidad de agua para alcanzar la consistencia, esto se debe a la alta absorbencia de los áridos reciclados, lo que indica una reducción de la resistencia mecánica.

- Densidad aparente del mortero fresco:

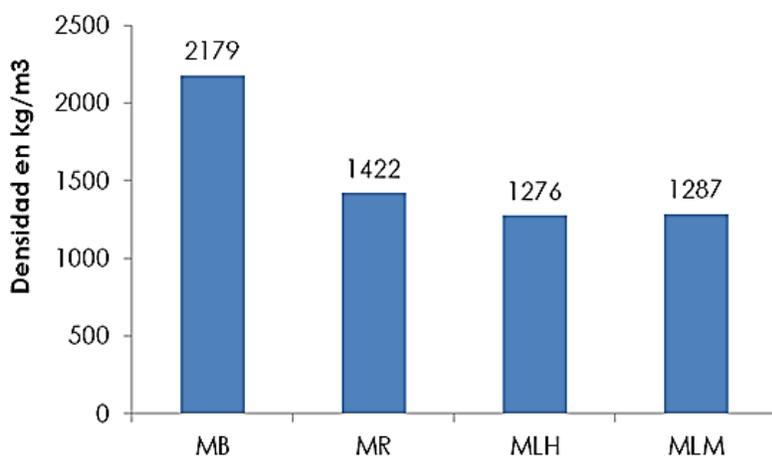


Figura 86. Densidades aparentes del mortero fresco.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

En la figura 86, se muestra la media aritmética de los valores obtenidos en el ensayo de densidad aparente de las diez muestras dosificadas para cada uno de los tipos de mortero ensayados en fresco.

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, los morteros mezclados con arcilla expandida tienen una densidad menor, lo que se conoce de antemano por las características de este agregado. La densidad del mortero de diseño es menor que la del mortero de referencia (MR) porque contiene agregado reciclado y este tiene una densidad menor que el agregado natural (AN). Esto se debe a que la densidad del mortero depende principalmente de la densidad de sus componentes, especialmente de la densidad del agregado utilizado, ya que estos representan la mayor parte del material.

## *2. Propiedades del mortero endurecido*

### *- Densidad aparente seca del mortero endurecido:*

En la figura 87, se muestra la media aritmética de los valores obtenidos en el ensayo de densidad aparente de las diez muestras dosificadas para cada uno de los tipos de mortero ensayados en endurecido.

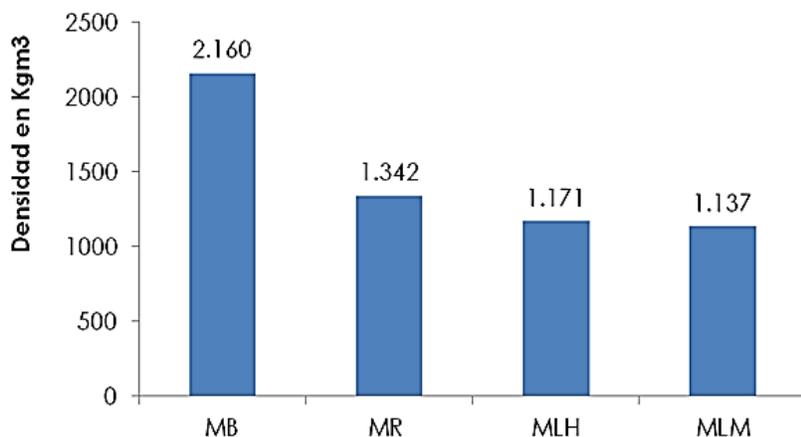


Figura 87. Densidades aparentes de los morteros endurecidos.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, la densidad del mortero mezclado con arcilla expandida es inferior a la densidad del mortero convencional (MB). La inclusión de arcilla expandida como agregado fino produjo una reducción significativa en la densidad aparente seca. Al igual que la densidad del mortero en estado fresco, la densidad del mortero de diseño es menor que la densidad del mortero de referencia (MR). La disminución entre la densidad del mortero fresco y endurecido para el mortero base (MB) es de un 0,87% y de un 5,62% para el mortero de referencia (MR), mientras que para los morteros de diseño (MLH) es del 8,23% y de un 11,65% para los morteros (MLM).

- Resistencias mecánicas:

En la práctica, la resistencia mecánica del mortero es una propiedad de referencia, ya que otras propiedades como la permeabilidad al vapor, el módulo elástico o la durabilidad están directamente relacionadas con ella, por lo que en muchos casos se puede derivar del valor de

resistencia obtenido. (Muñoz Ruiperez, 2015). En la figura 88, se muestra la media aritmética de los valores obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión y flexión a los 28 días de las diez muestras dosificadas para cada uno de los tipos de mortero ensayados en endurecido.

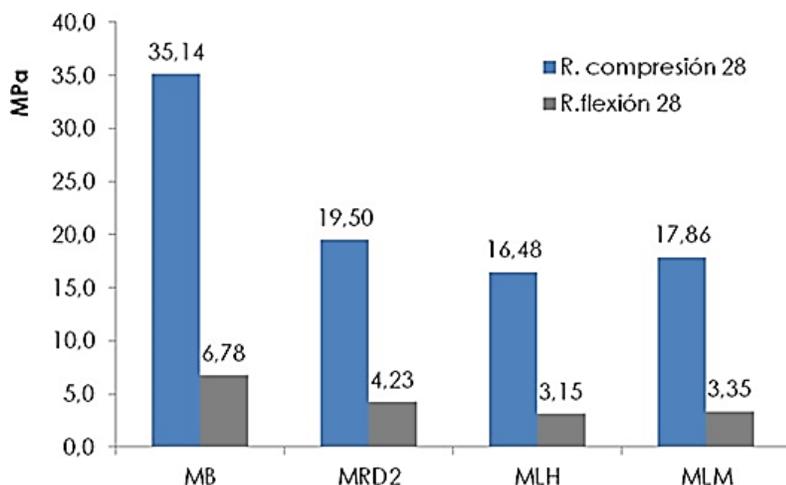


Figura 88. Resistencias mecánicas de los morteros.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

Como se muestra en la figura 88, la pérdida de resistencia a la compresión mecánica está entre el 53% y el 44%, y la pérdida de resistencia a la flexión está entre el 53% y el 38%. El menor valor de resistencia se obtuvo con el mortero de diseño hecho de agregado de hormigón reciclado (MLH). Para evaluar el impacto en la resistencia mecánica en un tiempo razonable, se realizaron ensayos a tres (3) meses y un (1) año de pruebas y se compararon con los resultados obtenidos de las pruebas de 28 días de curado. (Muñoz Ruiperez, 2015). En la figura 89 se muestra la evolución de las resistencias mecánicas a lo largo del tiempo experimentado.

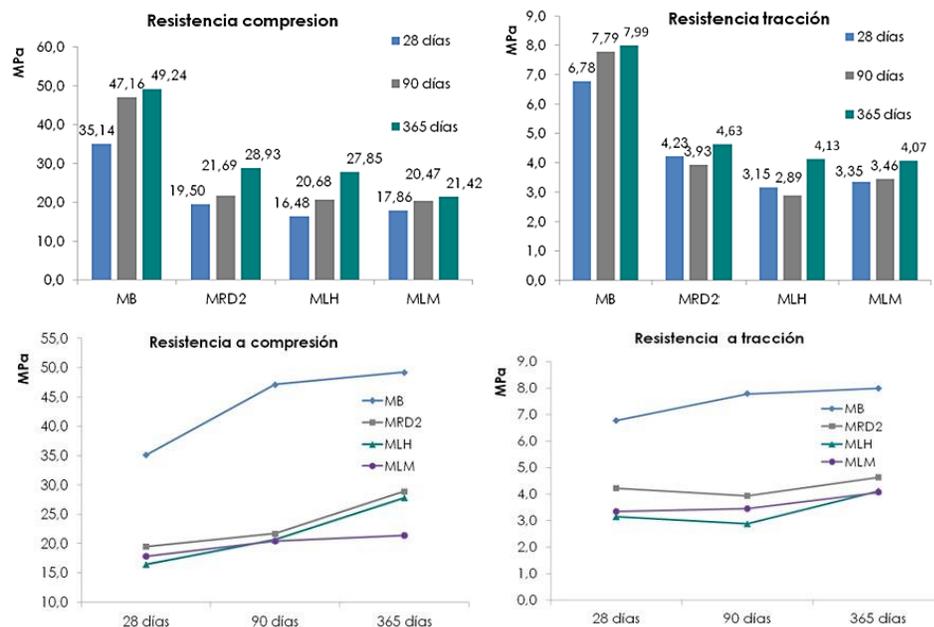


Figura 89. Evolución de las resistencias mecánicas a lo largo del tiempo.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

De la figura 89 se observa que, la resistencia a la compresión del mortero de diseño (MLH) es un 69% superior a la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días y un 35% superior a la resistencia a la compresión a los 90 días. Mientras que, la resistencia a la tracción y flexión aumentó un 31% a los 28 días y un 43% a los 90 días. (Muñoz Ruiperez, 2015).

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, La reducción de la resistencia mecánica entre el mortero de referencia (MR) y el mortero de diseño (MLH y MLM) no es importante porque la cantidad de agregado reciclado en la mezcla no es significativa en relación al contenido de arcilla expandida. Por otra parte, además del mortero de referencia (MR), en el resto de mezclas se puede establecer una relación entre la resistencia mecánica obtenida y la relación agua-cemento. Puede verse que la resistencia mecánica disminuye a medida que aumenta la relación agua-

cemento. En el mortero de referencia (MR), la adición de arcilla expandida y sus propiedades permiten que no se cumpla esta condición.

- Retracción:

En mortero de construcción para pañete la retracción es una propiedad muy importante. Según Toxement, La retracción por secado es causada por la pérdida de humedad en la pasta de cemento, depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y el contenido de agua de la mezcla. Cuanto mayor sea la cantidad de agregado grueso, menor será la tasa de contracción.

Los cambios producidos por expansión o contracción de la longitud de las probetas de los morteros ensayados se recogen en la figura 90.

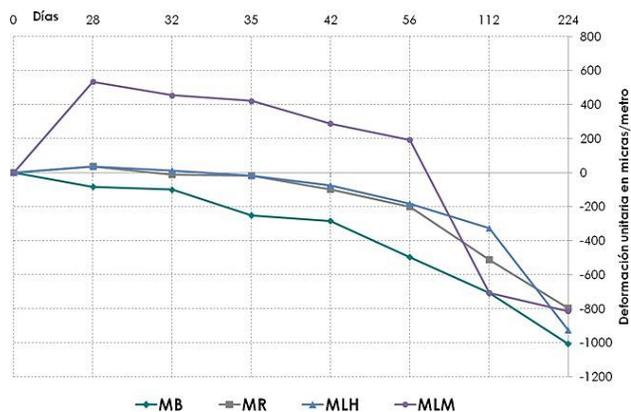


Figura 90. Evolución de los cambios dimensionales en el tiempo.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, a excepción del mortero de base, todos los morteros ensayados presentaron hinchamiento a los 28 días, que puede ser causado por la

solidificación de la muestra en agua, lo que puede provocar entumecimiento. Cuando el mortero se sumerge en agua, debido a que el gel en el cemento hidratado absorbe agua, su peso aumenta y su volumen aumenta, a diferencia de la retracción por secado, el cemento hidratado tiende a convertirse en esponjas, lo que resulta en hinchamiento. A excepción del mortero de diseño elaborado con agregado reciclado mixto (MLM), el valor de expansión de otros morteros es relativamente pequeño, por lo que podemos pensar que la expansión es causada por entumecimiento, y en el caso de (MLM)) puede deberse a la formación de entumecimiento y etringita.

- Porosimetría de intrusión de mercurio (PIM):

Los micro poros del material (mortero) se pueden analizar determinando la porosidad mediante el método de porosidad por intrusión de mercurio (MIP). La porosidad del mortero es una de las propiedades más importantes, por la posible penetración de agentes agresivos al interior del material. En la tabla 129 se muestra los resultados de los valores de microporosidad y las características morfológicas de los poros obtenidos. (Muñoz Ruiperez, 2015)

**Tabla 129**  
*Porosimetría de intrusión de mercurio MIP*

Tipo	Relación agua/cemento				
	$\phi$ mín. (nm)	$\phi$ máx. (nm)	$\phi$ prom. (nm)	$\phi$ crítico (nm)	Microp. MIP (%)
MB	7,30	214679,00	62,80	92,40	15,99
MR	7,30	214750,70	82,00	97,24	37,01
MLH	7,30	241912,80	81,30	312,64	43,36
MLM	7,30	214886,50	57,70	54,03	39,20

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

La figura 91 compara la distribución del volumen total intrusivo de poros, donde los rangos de porosidad son:

$d > 1.000 \text{ nm}$ : aire de los poros.

$1.000 < d < 100 \text{ nm}$ : capilares grandes, con mayor efecto en procesos de transporte, y menor efecto en la hidratación Clinker.

$100 < d < 10 \text{ nm}$ : capilares medios que afectan a la permeabilidad.

$d < 10 \text{ nm}$ : capilares pequeños que afectan a la trabajabilidad. (Muñoz Ruiperez, 2015)

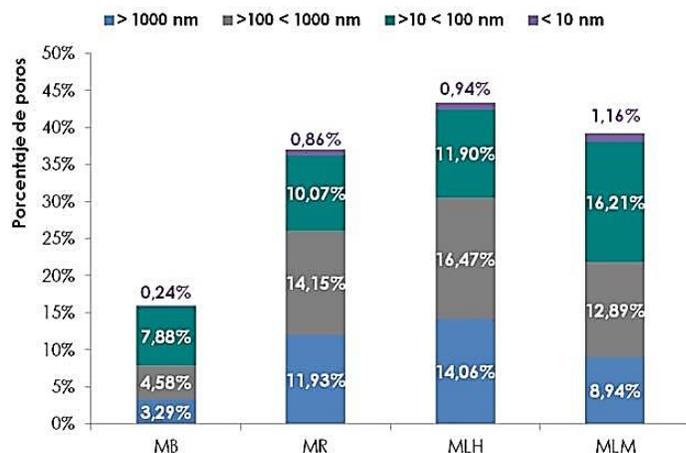


Figura 91. Distribución del volumen total intrusivo de poros.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, la adición de arcilla expandida y agregado reciclado aumenta la porosidad debido a las propiedades físicas de los dos agregados. El mayor aumento de porosidad se refleja en el mortero con agregado de hormigón reciclado (MLH). Los poros críticos muestran valores muy similares entre el mortero base (MB) y el mortero de referencia (MR). En el mortero de diseño con agregado de hormigón reciclado (MLH), los poros críticos aumentan significativamente y el mortero de diseño con agregado reciclado mixto

(MLM) se reduce significativamente respecto al mortero de referencia.

- Absorción del agua:

En la tabla 130 se muestran los coeficientes de permeabilidad y alturas de penetración del agua obtenidos

**Tabla 130**

*Absorción por capilaridad de los morteros y altura de penetración*

Mortero	Absorción (%)	Altura(mm)
Mortero Base	0,11	11,63
Mortero de referencia	0,08	4,98
Mortero de diseño MLH	0,16	9,60
Mortero de diseño MLM	0,18	7,70

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, el coeficiente de absorción del mortero diseñado es mayor debido a la mayor absorbencia del agregado reciclado en comparación con el agregado natural. La tasa de absorción del mortero base (MB) es mayor que la del mortero de referencia (MR), lo que puede deberse al efecto de absorción de la arcilla expandida.

- Durabilidad:

Para determinar la durabilidad del mortero experimental se realizaron una serie de ensayos como: Capilaridad, resistencia a la abrasión, resistencia al dióxido de azufre, comportamiento

frente a ciclos de humedad-sequedad, comportamiento frente a solución salina, resistencia a la heladicidad y resistencia a la carbonatación. Cabe destacar que estas propiedades analizadas son muy importantes para morteros de construcción para pañete. A continuación, se reseñan los resultados obtenidos de estos ensayos.

#### a) Capilaridad:

Se utilizó el Método Fagerlund para la determinación de la absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.

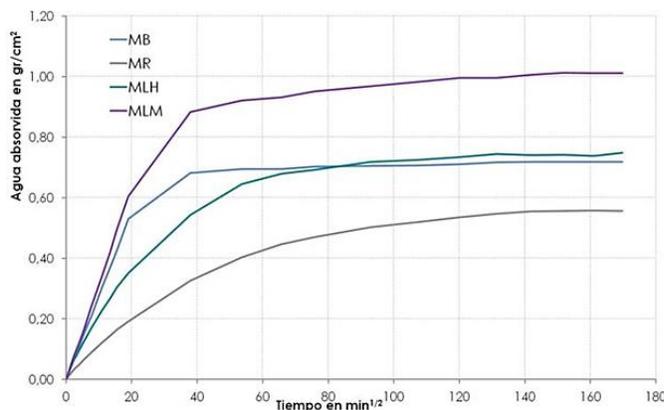


Figura 92. Absorción capilar de los morteros con 20 días de edad.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, la curva del mortero base (MB) muestra un comportamiento similar a la curva del mortero de diseño con árido reciclado del hormigón (MLH). El coeficiente de absorción del mortero diseñado es mayor, lo que se debe a la mayor absorción del árido reciclado. El coeficiente de absorción del mortero base (MB) es superior al

del mortero de referencia (MR), lo que puede deberse a la adición de arcilla expandida.

b) Resistencia al dióxido de azufre:

Cuando el mortero puede estar expuesto a una serie de sustancias corrosivas producidas por gases de combustibles fósiles (como el petróleo o el carbón) puede generar un desgaste en el material. El dióxido de azufre es uno de los contaminantes más peligrosos y abundantes en las áreas urbanas. Su proceso patológico parte de su oxidación y se convierte en trióxido de azufre. Posteriormente, si se utiliza en combinación con agua de lluvia, se convertirá en ácido sulfúrico (lluvia ácida), por lo que es necesario determinar la durabilidad del mortero que se encuentra en entornos industriales o núcleos urbanos muy contaminados. (Muñoz Ruiperez, 2015).

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos luego de intervenir los morteros experimentales con dióxido de azufre:

**Tabla 131**  
*Variaciones de las resistencias mecánicas. Ensayo Kesternich*

Variación de las resistencias mecánicas						
Tipo	Resistencia flexión (Mpa)			Resistencia compresión (Mpa)		
	Antes	Después	Variación	Antes	Después	Variación
MB	8,77	8,75	-0,23%	42,94	39,18	-8,76%
MR	4,70	4,63	-1,49%	18,75	16,54	-11,79%
MLH	3,66	3,60	-1,64%	16,63	14,47	-12,99%
MLM	3,38	3,27	-3,25%	18,85	15,83	-16,02%

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, en comparación con una muestra de referencia que no fue probada y perteneciente a la misma amasada, la disminución de la resistencia mecánica mostró una disminución.

c) Comportamiento frente a ciclos de humedad-sequedad:

Evaluar el comportamiento del mortero en condiciones climáticas adversas es de gran importancia, en especial los morteros de pañete externos de una edificación. Por tal motivo, se debe valorar el comportamiento de los morteros cuando están sometidos a ciclos alternos de inmersión en agua y posterior secado al aire.

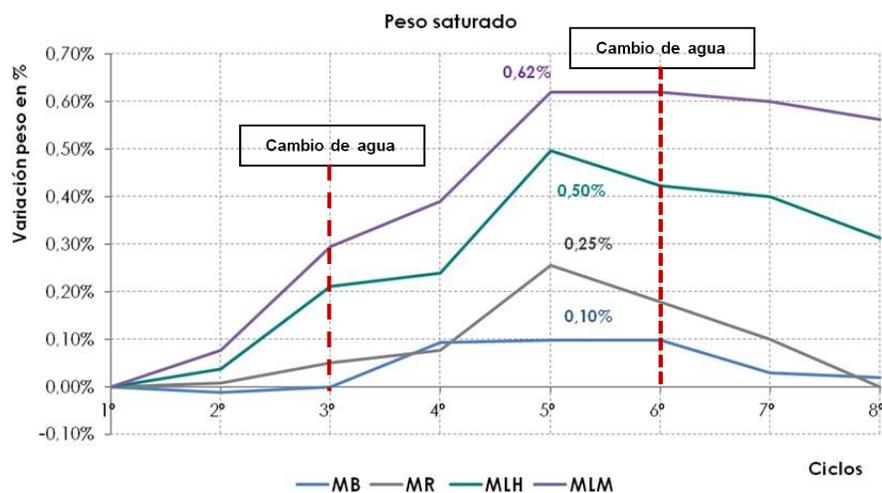


Figura 93. Variación porcentual peso saturado de los morteros sometidos ciclos humedad-sequedad.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

En la figura 93, se muestra la variación porcentual del peso saturado de los morteros sometidos al ciclo humedad-sequedad y la figura 94, la variación porcentual del peso saturado

sumergido después de curarlos en una habitación húmeda durante 28 días, después de 8 ciclos, la duración es de 21 días/ciclo. (Muñoz Ruiperez, 2015)

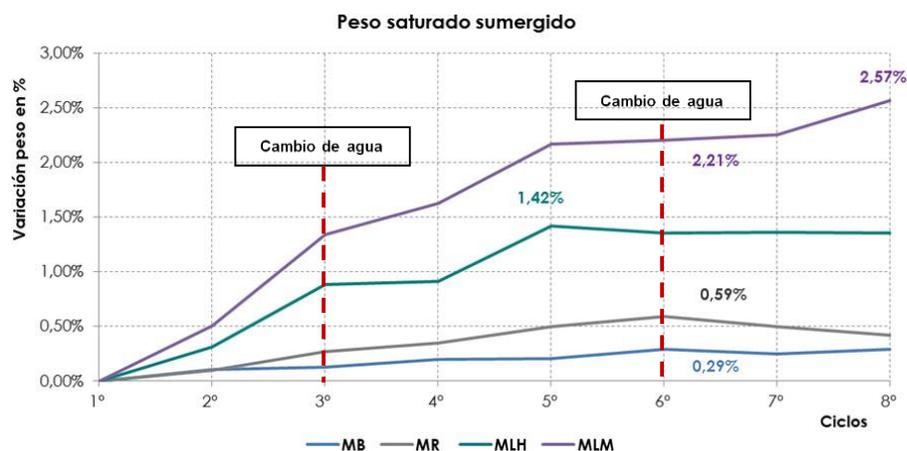


Figura 94. Variación porcentual peso saturado sumergido de los morteros sometidos ciclos humedad-sequedad.

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015).

En la tabla 132, se muestra la comprobación organoléptica de los morteros sometidos al ciclo humedad-sequedad. En busca de daños para determinar si se ocasionaron desconchados, fisuras, laminación o grietas. Todas las muestras mostraron un ligero color blanco, pero no se observaron cambios significativos. (Muñoz Ruiperez, 2015).

**Tabla 132**

*Comprobación organoléptica morteros sometidos ciclos humedad-sequedad*

Comprobación organoléptica ensayo humedad-sequedad				
Tipo	Desconchados	Fisuras	Laminaciones	Grietas
MB	No	No	No	No
MR	No	No	No	No
MLH	No	No	No	No
MLM	No	No	No	No

Fuente: (Muñoz Ruiperez, 2015)

(Muñoz Ruiperez, 2015), concluyen que, el aspecto del mortero ensayado no varió significativamente frente a ciclos de humedad-sequedad, y la superficie exterior de la muestra no presenta astillado, agrietamiento, laminación o agrietamiento.

Como conclusiones generales, los autores (Muñoz Ruiperez, 2015) mencionan, que el uso de áridos reciclados en la producción de mortero de construcción es una alternativa viable que contribuye al desarrollo sostenible y evita el impacto negativo de estos residuos en el medio natural. Convertir los residuos de demolición o construcción en materia prima es una opción eficaz para evitar la sobreexplotación de los recursos naturales y una forma de incrementar su uso para obtener productos útiles utilizados en el sector de la construcción. En cuanto a las especificaciones de los áridos reciclados, se puede decir que, en general, los beneficios son menores que los de los áridos naturales. La absorción de agua, el contenido de polvo fino, el mortero adherido a las partículas, el contenido de azufre o el contenido de impurezas determinan que su calidad sea significativamente menor que la del agregado natural. Sin embargo, el agregado obtenido del concreto reciclado tiene un mejor desempeño que el agregado reciclado mixto.

## **4.2. Mortero de construcción para pañete, aligerado con partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje.**

### **4.2.1. Análisis de las prestaciones mecánicas (térmicas y acústicas) del mortero de revestimiento con la influencia del uso de poliestireno expandido como aligerante.**

En el año 2015, en Mérida Yucatán México, (Herrera Gongora, 2015), realiza una investigación como proyecto de grado para la obtención x Maestría en ciencias materiales poliméricos “PROPIEDADES MECÁNICAS, TÉRMICAS Y ACÚSTICAS DE UN MORTERO ALIGERADO CON PARTÍCULAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) DE RECICLAJE PARA RECUBRIMIENTO EN MUROS Y TECHOS”. En donde su objetivo principal es determinar las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas de un mortero aligerado con partículas de EPS de reciclaje en diferentes granulometrías y proporciones, para identificar la mejor relación de propiedades físico-mecánicas, y en la que obtuvo como resultado que los valores de resistencia mecánica a compresión son aceptables para los morteros de recubrimiento, ya que brindan un buen aislamiento térmico al realizar formulaciones con alto contenido de EPS, así mismo brindan valores moderadamente mejorados en las pruebas acústicas.

A continuación, se presentan los ensayos de laboratorio y resultados obtenidos, de la investigación realizada por (Herrera Gongora, 2015).

- **Granulometría y fluidez.**

La granulometría fina elegida fueron las partículas no mayores a 4.76 mm de diámetro, partículas atrapadas en la malla N°4 y N°10. Se consideró este tamaño ya que su obtención es abundante y su manipulación no es complicada, así mismo para la granulometría gruesa se consideró utilizar las partículas atrapadas en la malla N°2 y N°4 con un diámetro de 9.25mm. El agregado grueso ofrece mayor estabilidad dimensional menor porcentaje de fluidez.

A continuación, una comparación de porcentaje de fluidez de Mezclas con un 0.8% de EPS y un 1.6% de ESP con agregado fino y agregado grueso.

**Tabla 133**  
*Resultados de % de fluidez con presencia de poliestireno*

Formulación	Promedio de diámetros (mm)	Porcentaje de fluidez (%)	Imagen
Mezcla de referencia	232.25	130	

Fuente: (Herrera Gongora, 2015).

“Tabla 133” “Continuación”

0.8% EPS-G	201	99%	
0.8% EPS-F	205	103%	
1.6% EPS-G	141	39.60%	
1.6% EPS-F	147.75	46.28%	

Se observa en la tabla que la fluidez disminuye cuando hay presencia del aditivo de poliestireno expandido (EPS), Los valores obtenidos que contienen 0.8% de EPS están un 20% por debajo del mortero de referencia y los que contienen 1.6% de EPS disminuyen un 70%, se concluye que a mayor presencia de aditivo de poliestireno expandido menor será la fluidez de la mezcla.

Las mezclas utilizadas en las pruebas de fluidez, son las mismas para fabricar las muestras cúbicas, a las 24 horas de curado se puede observar que las muestras que contienen 1.6% de EPS presentan algunas imperfecciones (Huecos) en las caras del cubo y es aún más notorio en aquellas que contienen agregado grueso.

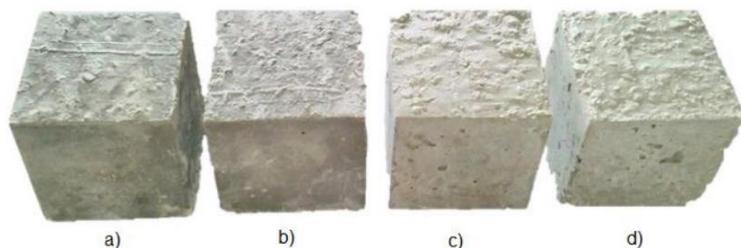


Figura 95. Especímenes cúbicos de cada formulación.

Fuente: (Herrera Gongora, 2015).

- a) Mezcla con 0.8% de EPS grueso
- b) Mezcla con 0.8% de EPS fino
- c) Mezcla con 1.6% de EPS grueso
- d) Mezcla con 1.6% de EPS fino

A mayor diámetro de partículas y a mayor implementación del aditivo poliestireno mayor es la presencia de vacíos en las mezclas, generando o creando poros en el tiempo de curado.

- **Densidad aparente**

La densidad aparente de cada mezcla después de eliminarle la humedad en un horno durante 3 días a 60°C, se observó que la densidad aparente disminuye en relación a la mezcla de

referencia en un 18% cuando se le agrega un porcentaje de 0.8% de EPS grueso, en un 17% cuando se le agrega 0.8% de EPS fino, en un 30% cuando se le agrega un porcentaje de 1.6% de EPS grueso un 25% cuando se le agrega 1.6% de EPS fino.

- **Esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad.**

En las siguientes figuras se muestran las curvas típicas de esfuerzo-deformación de las diferentes mezclas a los 14 y 28 días, se puede observar la diferencia que guarda la mezcla de referencia con las mezclas de ensayo con EPS. Los morteros aligerados con EPS, si se pueden considerar como morteros de recubrimiento, ya que la norma ASTM C-270 acepta morteros con una resistencia de 0.5 MPa.

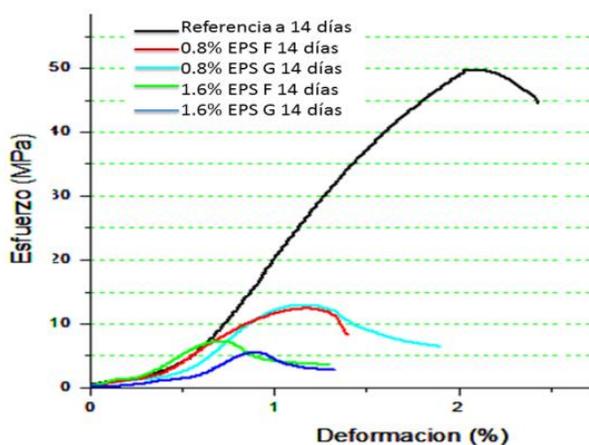


Figura 96. Curvas de esfuerzo deformación de las muestras estudiadas a 14 días de curado.

Fuente: (Herrera Gongora, 2015).

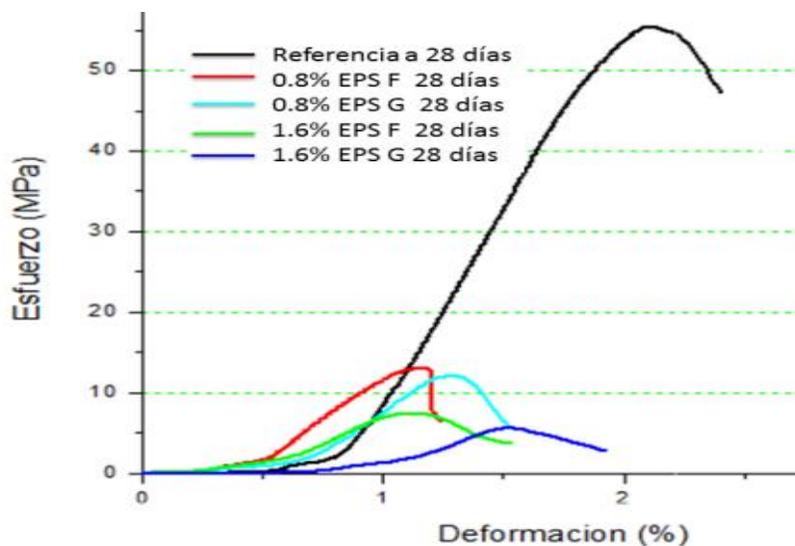


Figura 97. Curvas de esfuerzo deformación de las muestras estudiadas a 28 días de curado.

Fuente: (Herrera Gongora, 2015).

**Tabla 134**

*Comparativos del esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad de las formulaciones después de 14 y 28 días de curado*

Muestra	14 días		28 días	
	Resistencia (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Referencia	50 ± 0.25	35.56 ± 3.3	53.29 ± 3	45.85 ± 2.43
0.8% EPS Grueso	12.97 ± 0.27	19.34 ± 3.66	11.86 ± 0.24	20.82 ± 1.05
0.8% EPS Fino	11.71 ± 0.99	19.55 ± 2.53	13.07 ± 0.38	20.64 ± 0.72
1.6% EPS Fino	7.22 ± 0.06	14.86 ± 0.78	7.24 ± 0.20	10.37 ± 1.22
1.6% EPS Grueso	5.25 ± 0.40	12.28 ± 1.36	5.53 ± 0.39	14.05 ± 3.32

Fuente: (Herrera Gongora, 2015).

Las pruebas mecánicas a compresión, mostraron que la muestra con 0.8% de EPS disminuyó su resistencia a compresión en un 75% aproximadamente, mientras que las muestras con un 1.6% de EPS disminuyó en un 88% aproximadamente. Sin embargo, el valor obtenido está dentro del rango permisible para ser usados como mortero de recubrimiento (...). En las pruebas térmicas, se destacó la influencia de la granulometría fina sobre la granulometría gruesa para obtener mejores resultados de aislamiento térmico, mientras que en las pruebas acústicas, la influencia de la granulometría fina fue más notoria en las muestras que en las el EPS expuesto. (Herrera Gongora, 2015).

### **4.3. Mortero de construcción para pañete, empleando residuos de ladrillo reciclado como agregado fino.**

#### **4.3.1. Influencia del residuo de ladrillo triturado como material de agregado fino en la fabricación de morteros para pañete**

Este artículo presenta los resultados de un trabajo de investigación experimental realizado en el Instituto Superior Técnico y Laboratorio Nacional de Engenharia Civil de Lisboa. Por J. Silva, J. de Brito y R. Veiga en el año 2010. El objetivo de esta investigación fue producir mortero para pañete, mediante el uso de residuos generados por demolición de ladrillos, cerámica y tejas como agregado fino en diferentes porcentajes de sustitución.

A continuación, se reseña la metodología utilizada y los datos obtenidos por los autores.

### *Metodología y materiales*

Las muestras experimentales se probaron en laboratorio con el propósito de analizar el comportamiento del mortero con diferente proporción de reemplazo de arena natural por residuos de arcilla roja, comparando resultados con un mortero convencional de cemento y arena. El análisis experimental se divide en dos partes. En la primera etapa, se estudiaron brevemente las principales características de varios morteros con diferentes tasas de reemplazo de arena natural por ladrillos; la segunda etapa utilizó estos resultados para estudiar con más detalle la muestra de un mortero de mayor rendimiento y una tasa de reemplazo de mejor desempeño. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

Se utilizó arena natural, agua, cemento y triturado de ladrillos defectuosos producido en una fábrica de cerámica. El mortero elaborado con ladrillos de desecho muestra la misma curva de gradación que el mortero tradicional. En la tabla 135, se observa la distribución del tamaño de partícula de los agregados (Promedio de tres muestras) y en la tabla 136, se muestra la densidad de los constituyentes del mortero (Promedio de tres muestras). (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

**Tabla 135**

*Distribución del tamaño de partícula de los agregados (Promedio de tres muestras)*

Tamaño de malla mm	% De partículas retenidas	
	Arena	Partículas cerámicas
0,063	0,17	7,19
0,125	0,16	2,87
0,150	2,46	15,64

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

“Tabla 135” “Continuación”

0,250	28,45	16,65
0,500	44,72	26,04
1000	16,88	12,76
2000	4,38	7,10
4000	1,15	3,21
5600	0,89	3,21
8000	0,62	5,33

**Tabla 136**

*Densidad de los constituyentes del mortero (Promedio de tres muestras)*

<b>Densidad</b>			
<b>Unidades</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Partículas cerámicas</b>
(Kg/dm <sup>3</sup> )	0,9940	1,1430	1,0350
(lb/in. <sup>3</sup> )	0,0359	0,0413	0,0374

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

La dosificación utilizada para el experimento fue 1:4 con un porcentaje de sustitución de arena al 0%,20%, 50% y 100% por residuos RCD. Para el mortero de referencia se utilizó agregado de arena silíceo.

### ***Resultados obtenidos***

#### *Primera etapa*

“Los ensayos realizados en esta etapa tuvieron como objetivo la selección de los morteros que cumplieran con los requisitos para morteros de revoque.” (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010, pág. 238).

a) Estado fresco:- Consistencia del mortero

En esta prueba se determina la cantidad de agua necesaria para una correcta plasticidad del mortero, se realizó de acuerdo a la Norma Europea EN 1015-3 Estándar Europeo 1999a. La norma indica que la consistencia adecuada para morteros de revoque es de  $175 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$  ( $6,89 \text{ in.} \pm 0,39 \text{ in.}$ ). (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010, pág. 238). Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 137, se observa que cuanto mayor es la incorporación de residuos de ladrillos, más agua de mezcla se necesita.

**Tabla 137**

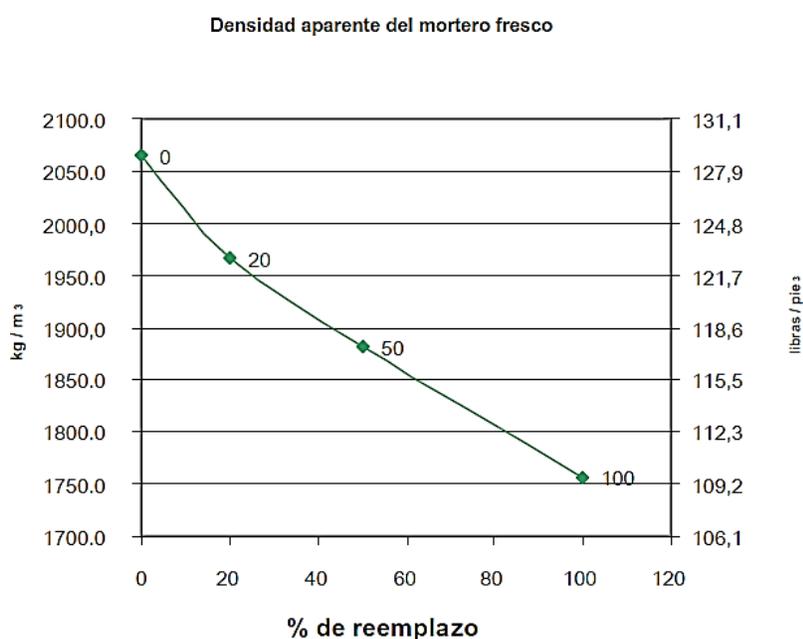
*Mezcla de agua necesaria para lograr la trabajabilidad objetivo y los resultados respectivos de la prueba de consistencia (Promedio de tres muestras de mortero)*

Especímenes	Mezcla de agua		Consistencia	
	(mL/dm <sup>3</sup> )	(fl oz/in. <sup>3</sup> )	(mm)	(in.)
Mortero de referencia (0%)	190,00	0,105	172,50	6,79
Mortero con incorporación de ladrillo al (20%)	200,00	0,111	170,00	6,69
Mortero con incorporación de ladrillo al (50%)	233,33	0,129	172,00	6,77
Mortero con incorporación de ladrillo al (100%)	300,00	0,166	169,00	6,65

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

- Densidad aparente del mortero

En la figura 98, se muestran los resultados obtenidos del promedio de tres probetas experimentadas, se observan los datos de la densidad aparente del mortero fresco para las diferentes sustituciones de material reciclado estudiado.



*Figura 98.* Densidad aparente del mortero fresco para las diferentes proporciones de reposición estudiadas promedio de tres probetas SD kg / m<sup>3</sup>; libras / pie<sup>3</sup>.

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

De la anterior figura se observa que la densidad aparente se redujo drásticamente, casi linealmente, a medida que la arena del agregado natural se reemplaza por arena proveniente de ladrillo reciclado. Esto se debe a que la densidad aparente del triturado de ladrillo es generalmente menor que la arena. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

b) Estado endurecido:- Densidad aparente seca del mortero

En la figura 99, se muestran los resultados obtenidos del promedio de tres probetas experimentadas curadas previamente durante 28 días, se observan los datos de la densidad aparente del mortero endurecido para las diferentes sustituciones de material reciclado estudiado.

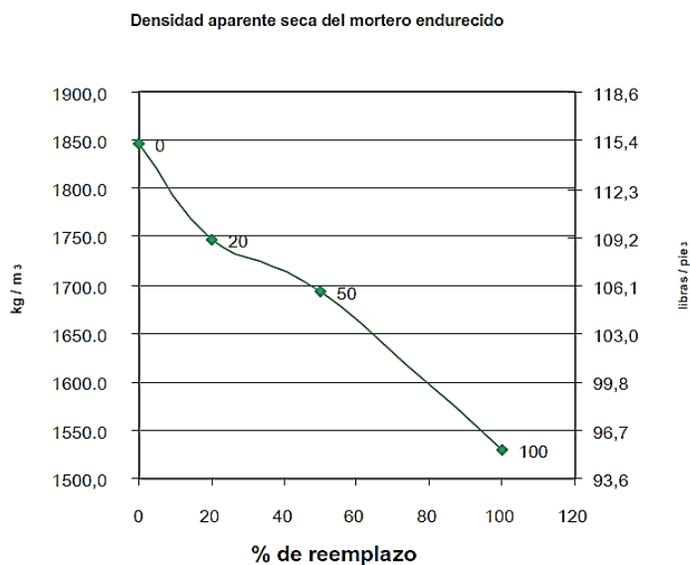


Figura 99. Densidad aparente en seco del mortero endurecido para las diferentes proporciones de reposición estudiadas promedio de tres probetas SD kg / m 3.

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

De la anterior figura se observa que la densidad aparente seca del mortero endurecido disminuye a medida que se sustituye la arena tradicional por residuos de ladrillos. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010). Situación ladrillo que también sucede con el mortero en estado

fresco, la razón es que la densidad del agregado de reciclado es menor en comparación con la de la arena convencional.

- Resistencia a la compresión y a la flexión del mortero

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión y a la flexión del mortero experimental endurecido para las diferentes sustituciones de material reciclado estudiado a los 28 días de curado se muestran en la figura 100.

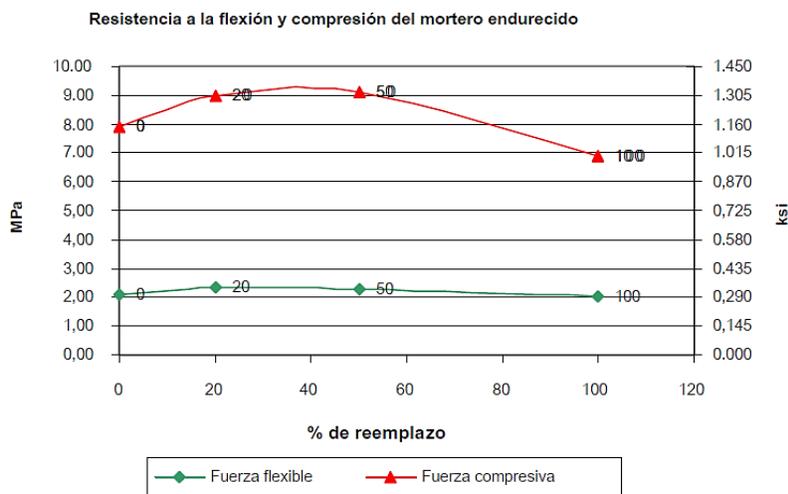


Figura 100. Resistencia a la flexión y compresión del mortero endurecido para las diferentes.

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

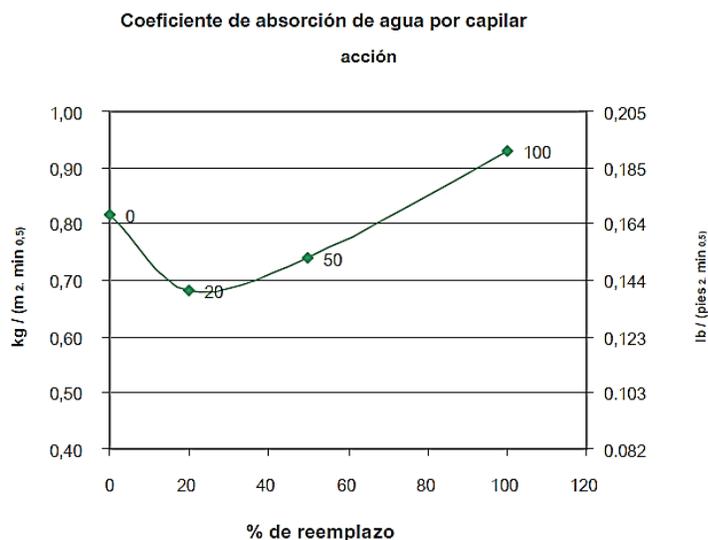
Se puede ver que para tasas bajas de sustitución de arena natural por áridos reciclados provenientes de ladrillo la resistencia a la flexión como a la compresión aumenta hasta alrededor del 20-40%, respectivamente. Mientras que, cuanto mayor es la tasa de reemplazo, ambos

parámetros disminuyen.

Finalmente, (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010) concluyen que el mortero con un 100% de remplazo presentó malas características, no funcionó bien, presentando menor resistencia que el mortero de referencia.

- Absorción de agua debido a la acción capilar del mortero

Los resultados obtenidos en el ensayo de absorción de agua por capilaridad del mortero experimental endurecido para las diferentes sustituciones de material reciclado estudiado a los 28 días de curado se muestran en la figura 101.



*Figura 101.* Absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido para las distintas.

Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

(Silva, de Brito, & Veiga, March 2010) concluyen que, a partir de estos resultados, se puede decir que al usar residuos de ladrillos en lugar de arena natural hace que disminuya la tasa de absorción de agua, por la acción capilar del ladrillo a través del mortero en porcentajes de reemplazo del 20-30%. Mientras que, para valores más altos se observa una tendencia de aumento aproximadamente lineal. Hasta el 70% de la reposición se obtiene un comportamiento de baja absorción más activo para los morteros modificados en comparación con el mortero de referencia.

- Susceptibilidad al agrietamiento

Se realizó el ensayo de susceptibilidad al agrietamiento con el propósito de recolectar suficientes datos cualitativos para detectar que morteros podrían ser susceptibles de agrietarse. En mortero para pañete es fundamental identificar el grado de susceptibilidad de agrietamiento, por tal motivo, este ensayo es de gran importancia en la compilación de experiencias de proyecto monográfico. Según (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010), la prueba consistió en aplicar una capa de mortero de 2 cm de grosor a un ladrillo cerámico y observar si el agrietamiento ocurre dentro de un período predeterminado. Concluyendo, que ninguno de los morteros probados mostró signos de agrietamiento después de 5 meses de observación. Por tanto, ninguno de los morteros modificados ensayados presentaba problemas serios de potencial figuración.

Para finalizar la etapa uno, se realizó la selección del mortero experimental con una tasa de reemplazo de mejor desempeño, los autores estudian los mejores resultados obtenidos en la primera etapa y proceden a realizar unos estudios adicionales al mortero modificado escogido.

Tras el análisis de los resultados obtenidos para los morteros al 20%, 50% y 100% y comparando los resultados con el mortero de referencia, el mortero elegido para ser analizado con más detalle fue el de 50% de sustitución. aparentemente no compromete el comportamiento del mortero como revoque en comparación con el mortero de referencia. Los datos obtenidos estuvieron dentro del rango establecido en la norma y teniendo en cuenta que uno de los principales objetivos de este análisis experimental fue el reciclaje en sí mismo el mortero con 20% de reemplazo quedó fuera ya que una reposición del 50% de toda la arena, es más propensa al reciclaje. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

### *Segunda etapa*

Esta etapa consistió en analizar otras características importantes del mortero elegido tras la primera etapa, mortero con 50% de remplazo del agregado fino natural por residuos de ladrillo triturado, y así obtener datos más específicos sobre su comportamiento.

#### a) Estado fresco:

- Retención de agua del mortero

Se concluye que en términos de retención de agua el mejor rendimiento y mayor valor se logró con el mortero modificado al 50% de sustitución. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

Los resultados se presentan en la tabla 138, valores obtenidos antes y después de los ciclos de envejecimiento.

**Tabla 138**

*Resultados de las pruebas realizadas antes y después de los ciclos de envejecimiento (promedio de tres muestras de mortero)*

Ensayos experimentales realizados	Mortero de referencia con incorporación de ladrillo al (0%)	Mortero con incorporación de ladrillo al (50%)
<b>Antes de los ciclos de envejecimiento</b>		
Retención de agua (%)	72,24 (SD=1,84)	78,39 (SD=2,68)
Fuerza adhesiva (Mpa; psi)	0,35; 50,8 (SD=0,068; 9,87)	0,40; 58,0 (SD=0,112; 16,26)
Módulo de elasticidad (Gpa; psi)	14,560; 2,112 (SD=0,13;0,019)	8,731 ; 1,266 (SD=0,27;0,039)
(después de 2 meses )		
(después de 6 meses )	13,898; 2,016	8,326; 1,208
Permeabilidad al vapor de agua (ng/(m.s.Pa [oz/(ft.s.psi)]x10 <sup>-9</sup> )	23,10; 1,712	36,19; 2,683
Espesor de la capa de aire de difusión equivalente a 20mm de mortero (m; ft)	0,16; 0,52 (SD= 0,00;0,00)	0,10; 0,33 (SD= 0,01;0,03)
<b>Después de los ciclos de envejecimiento</b>		
Permeabilidad al agua líquida bajo presión-agua absorbida (mL; fl oz)	620; 20,96 (SD=16,0; 0,54)	580; 19,61 (SD=10,0; 0,34)
Adhesiva (Mpa; psi)	0,70; 101,5 (SD= 0,11; 0,016)	0,80; 116,5 (SD= 0,09; 0,013)

*Nota:* SD= desviación estándar. Fuente: (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

b) Estado endurecido:

- Resistencia adhesiva del mortero

Se realizó la prueba a la resistencia adhesiva del mortero, de acuerdo a la Norma Europea EN 1015-12. En mortero para pañete la resistencia a la adhesión es crucial. Por esta razón, esta

prueba es de gran importancia en la compilación de experiencias de proyecto monográfico.

Según (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010), el ensayo radicó en medir la fuerza necesaria para separar el mortero del fondo. Se aplicaron tres muestras de cada mortero a la cara de un ladrillo y se curaron durante 28 días antes de someterse a una prueba de desprendimiento. Los resultados se presentan en la tabla 138, antes y después de los ciclos de envejecimiento. Concluyendo, que el mejor comportamiento en cuanto a esta característica se obtuvo para el mortero modificado o elaborado mediante el uso de RCD. Debido a la combinación del efecto puzolánico de las finas cerámicas más un efecto relleno.

- Módulo de elasticidad del mortero

Los valores del módulo de elasticidad obtenidos se redujeron sustancialmente en el mortero que sustituye parcialmente la arena natural por desperdicio de ladrillo. Después de 2 meses y 5 meses, el mortero con 50% de sustitución fue aproximadamente un 40% más bajo que el mortero de referencia, aunque los cambios en estos resultados son insignificantes. La reducción del módulo de elasticidad, si no es excesiva, es una característica favorable para el mortero de pañete ya que permite una mejor acomodación de tensiones y reduce la tendencia a la figuración. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010). Los resultados se presentan en la tabla 138 antes y después de los ciclos de envejecimiento.

- Permeabilidad al vapor de agua del mortero

La permeabilidad al vapor de agua del mortero con incorporación de áridos de ladrillo reciclado fue significativamente mejor a la del mortero de referencia, entonces, desde este punto de vista, mejora la calidad de su desempeño, ya que esta característica proporciona un secado más eficiente del agua dentro del revoque, y favorece tanto la evaporación del agua infiltrada en las paredes como la salida del vapor de agua que se produce en el interior de los edificios. Las muestras experimentales se curaron durante 60 días. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010). Los resultados se presentan en la tabla 138 antes y después de los ciclos de envejecimiento.

- Compatibilidad con sustratos (envejecimiento)

Según (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010), la prueba consistió en aplicar a la cara de dos ladrillos los morteros, uniéndose cara con cara y curándose durante tres semanas. Con el propósito de someter las probetas a ciclos climáticos, cuyos efectos sobre la permeabilidad al agua y la fuerza adhesiva fueron evaluados. Concluyendo que, el mortero elaborado con 50% de sustitución de arena natural por residuos de ladrillo tiene una permeabilidad a líquidos y agua a presión de aproximadamente de un 7% menos que el mortero de referencia y dado que un mortero no debe ser muy permeable al agua líquida, se puede decir que el mortero reciclado se comporta mejor. La fuerza de adherencia del mortero reciclado con sustitución del 50% de ladrillo fue aproximadamente un 18% más alta que la del mortero tradicional. La fuerza adhesiva aumentó con el envejecimiento, lo que probablemente pudo estar relacionado con la evolución de la hidratación durante el ciclo de humectación / secado y el crecimiento posterior de cristales de

tringita u otros constituyentes formados dentro de los poros mejorando la fuerza de unión.

Para finalizar la compilación de experiencias de este proyecto monográfico, se mencionan las conclusiones generales, que los autores J. Silva, J. de Brito y R. Veiga citan en su artículo reseñado y analizado en este inciso.

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos en la primera etapa, se analizó el desempeño de diversas propiedades de los morteros experimentales, observando que el mortero con el 100% de sustitución de árido fino natural por reciclado, ósea con un reemplazo total de arena con desperdicio de ladrillo se desempeñó peor que el mortero de referencia. Mientras que, el mortero con el 20% de sustitución generalmente funcionó mejor que el mortero de referencia, la resistencia a la compresión y la flexión estuvo alrededor de un 12% más alto en comparación con el mortero convencional y el coeficiente de permeabilidad al agua bajo acción capilar aproximadamente un 16% más bajo. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

De la misma manera, el mortero con el 50% de sustitución de arena natural por residuos de ladrillo también presentó en general, características positivas y mejores rendimientos que el mortero de referencia. Se destacan las siguientes propiedades: resistencia a la flexión, compresión y adherencia 8%, 13% y 18% , respectivamente, valores más altos a los obtenidos en el mortero convencional; coeficiente de permeabilidad al agua bajo capilaridad 9% menor; retención de agua 9% mayor; módulo de elasticidad 40% menor; coeficiente de permeabilidad al vapor de agua 57% más alto; permeabilidad al agua bajo presión después del envejecimiento 6% más bajo; y fuerza adhesiva después del envejecimiento un 18% mayor. Los resultados indican

claramente las ventajas de incorporar residuos cerámicos en los morteros para pañete, con el beneficio de posibilitar su reciclaje y mejorar el comportamiento del revoque. (Silva, de Brito, & Veiga, March 2010).

## **Capítulo V. Comparación técnica del mortero de construcción para pañete convencional y el mortero elaborado mediante el uso de residuos de construcción y demolición.**

Dentro de los objetivos planteados en la actual monografía, se destaca el de analizar el comportamiento mecánico de las propiedades más relevantes de los morteros para pañete bajo la influencia de residuos de construcción y demolición. Por ello, se estudiaron los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados a los morteros experimentales relacionados en las diversas investigaciones reseñadas en el desarrollo del actual proyecto. Ensayos ejecutados en países como Cuba, México, Colombia, países europeos, entre otros.

Debido a lo anterior, se llevó a cabo una comparación técnica entre el mortero convencional y el elaborado mediante el uso de diferentes residuos reciclados estudiados, como: hormigón; mixto; poliestireno expandido; ladrillo; cerámica roja y vidrio. Los valores y observaciones dadas por propiedad se registran en la tabla 139.

Nota: Es importante aclarar y resaltar que esta comparación consiste en aplicar la normatividad colombiana sobre los resultados obtenidos en otros países y verificar si estos resultados pueden ser viables para el uso de residuos de construcción y demolición en la fabricación de mortero para pañete en la construcción colombiana.

**Tabla 139** Comparación técnica del mortero convencional y el elaborado con residuos RCD

Propiedades del mortero	Mortero convencional	Valores óptimos para su uso	Mortero con material RCD											Observación y/o Comentario	
			Hormigón		Mixto		Poliestireno expandido incorporado en un 0.8%		Ladrillo		Cerámica roja		Vidrio		
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.		Máx.
Consistencia (mm)	Esta propiedad define la manejabilidad o trabajabilidad del mortero y se denomina mortero fresco plástico. Varía en función de la granulometría de los agregados.	140 a 200 mm	178	191	165	193	156,88	156,88	169	172	163	163	-	-	La consistencia obtenida con los diferentes áridos remplazados como agregado para la elaboración de mortero para pañete, muestran un buen resultado. Ya que los valores obtenidos están dentro del rango de la consistencia de un mortero convencional.

*Nota:* Se muestra un registro de valores mínimos y máximos obtenidos mediante los datos proporcionados en los ensayos de las investigaciones analizadas comparando con los rangos dados en la normativa colombiana; debido a que en algunas investigaciones no se obtuvieron resultados de propiedades estudiadas se opta por no colocar ningún valor. Fuente: Autoras de la monografía

"Tabla 139" "Continuación"

Trabajabilidad	Esta propiedad también conocida como manejabilidad o tiempo abierto, se obtiene con morteros de consistencia plástica y está directamente relacionada con la relación de agua / cemento, permitiendo la penetración de agua a todos los agregados utilizados para obtener dicha pasta, una manera de obtener una buena trabajabilidad en el mortero se da bajo el uso de aditivos como la cal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	El resultado de la trabajabilidad depende de la consistencia del mortero, por lo que no se contempla un valor exacto para esta propiedad y según los resultados obtenidos en la consistencia se puede decir que todos los materiales remplazados como agregado fino tienen una buena trabajabilidad en la mezcla del mortero.
Fluidez (%)	La fluidez para pañete se pueden utilizar mezclas de morteros media (plástica o fluida (húmeda))	100 - 120 %	113,1	191	-	-	103	103	-	-	-	-	-	La fluidez obtenida con árido procedente del hormigón y una mezcla para la elaboración de mortero con

“Tabla 139” “Continuación”

															una incorporación de un 0.8% de poliestireno expandido, muestran resultados positivos, ya que los porcentajes de fluidez obtenidos están dentro de la fluidez de un mortero convencional.
Densidad en estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Esta propiedad corresponde directamente de los componentes del mortero.	1300 - 2300 kg/m <sup>3</sup>	1960	2362,6	1130	2110	1434,79	1434,79	1750	2880	2660	2740	1967	1967	Las densidades obtenidas de los diferentes ensayos son valores óptimos para elaboración de un mortero para pañete, se puede observar que las densidades obtenidas en la mezcla con la incorporación de ladrillo y la incorporación de cerámica roja son las
Densidad en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )			1790	2189,7	1342	2040	-	-	1525	2370	1520	1730	-	-	

“Tabla 139” “Continuación”

															densidades más elevadas debido a las propiedades con las que estos tipos de materiales cuentan, lo que ocasiona un resultado elevado en la densidad en estado fresco y estado endurecido del mortero.
Retención de agua (%)	Esta propiedad del mortero es la que permite el tiempo de colocación y ajuste de la mezcla en obra sin que el mortero se endurezca, es la encargada de mantener la viscosidad de la mezcla en un tiempo determinado conservando así la humedad de la mezcla. La retención de agua aumenta mediante el uso de aditivos.	min 75%	62	89,6	92	93	-	-	78,39	78,39	-	-	-	-	Los valores obtenidos en la retención de agua en los morteros ensayados son aceptables, debido a que el porcentaje mínimo de retención debe ser mayor, pero nunca menor de 75%.

“Tabla 139” “Continuación”

% de absorción	Esta propiedad determina la permeabilidad de la mezcla de mortero y también la durabilidad del mismo.	1.2 - 1.6 %	4,48	8,70	2,49	13	2,49	2,49	7,37	13,54	4,49	4,63	1,4	2,141	Los porcentajes de absorción obtenidos en los áridos de remplazo son más elevados que las de un mortero con agregado convencional. El valor más cercano al rango de la absorción de un mortero convencional es la del mortero con la incorporación de poliestireno expandido, observando también que el porcentaje de absorción más alto es la del mortero utilizando como agregado el ladrillo triturado.
----------------	---	-------------	------	------	------	----	------	------	------	-------	------	------	-----	-------	--

“Tabla 139” “Continuación”

Adherencia (Mpa)	Esta propiedad se caracteriza por ser la más importante, ya que su resultado determina el buen funcionamiento de morteros para pañetes, si se obtiene una baja adherencia, puede causar desprendimientos del pañete en la fachada. La adherencia en el mortero depende de las características del árido fino y la forma de aplicación del mismo.	0.12-0.5 Mpa	0,06	0,8	0,15	0,24	-	-	0,4	0,4	0,55	0,56	-	-	Las adherencias obtenidas están dentro de la adherencia de un mortero convencional, se obtuvo como resultado una mayor adherencia en los morteros elaborados con áridos de cerámica roja.
Resistencia a la compresión (Mpa)	Estas propiedades dependen de las características de los materiales del mortero como el material cementante y el agregado fino. La resistencia a la compresión aumenta con el incremento de la cantidad de cemento y disminuye	7.5 Mpa - 12.5 Mpa	6,69	23,89	5	23	13,45	13,45	7	12,5	23	25,00	17,00	27,08	Comúnmente en Colombia se usa como referencia de un mortero para pañete o revestimiento, el mortero tipo N o el tipo S, ya que estos tipos de mortero tienen una resistencia

“Tabla 139” “Continuación”

Resistencia a la flexión (Mpa)	cuando hay presencia de aditivos en la mezcla, Por otro lado ya que la función principal de un mortero para pañete es la de proporcionar una superficie uniforme para la aplicación de pintura no requiere para el mortero unas resistencias (flexión y compresión) determinada como la del mortero estructural, pero para determinar el valor óptimo de resistencia a la compresión para un mortero de pañete se considera el tipo de mortero N o S de la tabla del título D.3.4-1 de la NRS 10.	-	1,84	3	1,6	5,2	3,34	3,34	2	2,1	5,2	5,50	1,88	1,88	media con un resultado de adherencia aceptable. los resultados obtenidos en los ensayos están un poco más altos que la resistencia de un mortero tipo S, pero se debe contemplar que para que se obtengan buenos resultados se debe considerar un porcentaje no muy alto de contenido de árido proveniente de residuos de construcción y demolición como remplazo de agregado fino, debido a que a medida que este porcentaje es más alto la resistencia a la compresión disminuye.
--------------------------------	---	---	------	---	-----	-----	------	------	---	-----	-----	------	------	------	---

A continuación, se dan a conocer los puntos de vista de las autoras referente al comparativo que se muestra en la tabla anterior y el análisis general del proyecto de investigación realizado.

- Mortero con RCD de hormigón triturado.

El hormigón suele ser el material más común, ya que es el más utilizado en la industria de la construcción, por lo que se cuenta con un porcentaje alto de escombros de este tipo de material. El hormigón triturado como sustituto del agregado fino tiene resultados óptimos en los estudios encontrados, se puede observar que los áridos obtenidos de dicha trituración tienen menor densidad y mayor porcentaje de absorción de agua en comparación con el agregado natural, por lo que no es recomendable considerar tasas o porcentajes de sustitución altas, para que estos no afecten de manera significativa las propiedades de un mortero de albañilería, también se puede analizar que si se consideran porcentajes bajos de sustitución se obtiene un mejor porcentaje de fluidez en la mezcla. Por otro lado, la adherencia en los morteros reciclados es menor que la de un mortero convencional, para controlar que esta propiedad no sea tan mínima se recomienda que el ambiente de curado sea en temperatura media.

Se obtiene al final que el uso de RCD de hormigón en la producción de morteros de albañilería puede llegar a ser adecuado, ya que las propiedades mecánicas tienen porcentajes similares a las de un mortero convencional.

- Mortero con RCD mixto

De acuerdo con las investigaciones estudiadas, la implementación de RCD proveniente de material mixto en morteros para pañete de edificaciones traería efectos satisfactorios, ya que, según los resultados obtenidos el comportamiento mecánico de estos morteros reciclados es similar al generado en los morteros fabricados mediante materiales pétreos naturales, con una diferencia poco significativa. Y cuando los residuos mixtos provienen en gran proporción de material cerámico los resultados son mucho mejores.

Según los estudios realizados por los diferentes autores sobre el tema a nivel internacional, podemos decir que, la relación de reemplazo de RCD, el contenido de cemento y la relación agua / cemento son factores que influyen en el comportamiento mecánico de los morteros reciclados. A mayor tasa de reemplazo menor será la resistencia a la compresión y la consistencia del mortero, mientras que, al aumentar el material reciclado se observó que la fuerza de adherencia aumentaba, así como la contracción y la absorción de agua. La contracción en los morteros reciclados es mayor que los elaborados de forma tradicional por la mayor demanda de agua que estos presentan. Así mismo, estos morteros reciclados cuentan con una mayor capacidad de retención de agua.

Finalmente es conveniente destacar que la resistencia a la flexión tuvo mejor respuesta en morteros reciclados que en los convencionales. La resistencia a flexión es importante para los morteros de revestimiento.

- Mortero con RCD de poliestireno expandido triturado

Los resultados obtenidos en los ensayos donde se practicó el poliestireno expandido como agregado fino, muestran valores permisibles en las propiedades físico-mecánicas de un mortero de albañilería convencional. Las propiedades como la consistencia, trabajabilidad, fluidez, densidad, retención de agua, absorción, adherencia y resistencias, están dentro de los valores que se requieren para un mortero convencional, lo que se considera como un material viable como remplazo del agregado fino para la elaboración de un mortero de reciclaje.

Para obtener buenos resultados en las características o propiedades mecánicas de un mortero, no se debe remplazar un 100% de árido procedente de RCD, debido a que a medida que el porcentaje de contenido de árido procedente de residuos de construcción y demolición aumenta, la resistencia a la compresión disminuye.

- Mortero con RCD de ladrillo

Teniendo en cuenta las investigaciones estudiadas, se ha podido ver que el empleo de RCD procedente de ladrillo triturado o molido en morteros para construcción, es una muy buena opción, puesto que, su comportamiento técnico es tolerante dentro de los rangos establecidos en la normatividad y en algunos casos mucho mejores que los obtenidos en los morteros tradicionales.

La implementación de residuos provenientes de material cerámico en morteros, ya sean utilizados como componente puzolánico en remplazo parcial de cemento o áridos finos en general mostraron buenos resultados. Según las investigaciones estudiadas, se aprecia que el mortero mantiene un buen comportamiento después de su aplicación y al pasar los años su aspecto se conserva en estado original y no se observan fisuras ni separaciones.

Debido a la gran presencia de calcita (carbonato de calcio) en los residuos de mampostería, al utilizarlo como material en el mortero, este aumenta la adherencia ya que la presencia de cal en la mezcla favorece esta propiedad. Además, la adición de la calcita en la mezcla genera resistencia. El contenido de carbonato de calcio en función de tiempo hasta 70 días de curado fue mucho mayor en morteros reciclados que en los convencionales.

La diferencia de resistencia entre el convencional y el reciclado se hace menor a medida del tiempo de curado, lo que indica que la evolución de resistencias es lenta, por tanto, el mortero elaborado con residuo de ladrillo no aporta buena resistencia a edades tempranas. Mientras que, el desarrollo de la resistencia a la flexión en función de hora de curar en morteros con sustitución del 100% de agregado y un 30% de material cementicio, se mantuvo con valores superiores que el convencional.

En algunos casos los áridos reciclados cuentan con una mayor porosidad que las arenas finas naturales, por esto, los morteros elaborados bajo la influencia de RCD cuentan con una menor densidad en comparación con los convencionales. Para el caso de porcentaje de

sustitución del agregado natural por ladrillo al 100% el comportamiento de la porosidad para morteros reciclados mediante ladrillo fue similar al convencional, mantuvo porcentajes aproximados de porosidad abierta total.

Con un 60% de incorporación de ladrillo la absorción es menor q en el mortero convencional, pero a medida que se incorpora residuos reciclados la absorción aumenta. La gran capacidad de absorción de agua en los morteros reciclados puede deberse por la angularidad del material triturado y la mayor porosidad con la que cuentan estos agregados.

Los valores máximos de fuerza de adherencia fueron significativamente mayores en morteros baja la influencia de RCD reciclado de ladrillos que aquellos elaborados de forma tradicional. Se evidenció una excelente fuerza de unión.

- Mortero con RCD de cerámica roja triturada.

Los morteros donde se implementó el uso de cerámica triturada se obtuvo como resultado una mayor resistencia (compresión y flexión) y una menor adherencia que la de un mortero convencional, este tipo de árido requiere de mayor cantidad de agua para una mejor manejabilidad o plasticidad en la mezcla y es necesario el uso de aditivos para mejorar las propiedades del mortero.

Los morteros con árido de reciclaje requieren de mayor cantidad de agua debida a que tienen mayor porcentaje de absorción que el árido natural, lo cual puede llegar a ser una desventaja, por que a mayor cantidad de agua mayor es la aparición de grietas y fisuras en el mortero endurecido en un tiempo determinado. A mayor incremento de agua mayor es la adherencia y la manejabilidad del mortero.

- Mortero con RCD de vidrio triturado

Con base a lo analizado en cada una de las investigaciones encontradas, se enfatiza que el RCD generado por la molienda de vidrio reciclado, cumple con las especificaciones técnicas establecidas para mortero de pañete. Sin embargo, tiene sus desventajas por ser un material de riesgo, debido a que se está expuesto a cortes o heridas en su proceso de obtención y manipulación. Si no se utiliza la protección personal adecuada puede llegar a ser un material perjudicial para el operario que elabora la mezcla.

El vidrio como componente de la mezcla de mortero, proporciona una mayor la fuerza de unión entre la correlación del mortero con el ladrillo y una menor absorción de agua (%). Esto se debe a la mayor compacidad (poco poroso), impermeabilidad y forma angular de las partículas de vidrio con respecto a la arena natural.

Cuando el mortero se expone a altas temperaturas aumenta la tasa de absorción y la densidad aparente y la resistencia a la compresión disminuye. La resistencia mecánica a la

compresión en morteros bajo la influencia de vidrio molido hasta porcentajes de sustitución del 50% presenta mejores resultados que en los morteros convencionales, si se sobrepasa este valor de sustitución los datos de resistencia empiezan a disminuir y la absorción a aumentar. En cuanto a la resistencia a la flexión, se puede decir que los datos obtenidos para el mortero reciclado estuvieron por debajo de los obtenidos en el convencional, con una diferencia poco considerable, se aprecia que a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de arena por vidrio la resistencia a la flexión aumenta.

La utilización de residuos de vidrio en morteros trae muchas ventajas, unas de las principales son que retiene el calor, no se oxida, se comprobó que por cada tonelada de residuos de vidrio molido se ahorran 1.200 kg de materia prima natural, es resistente a temperaturas altas de hasta 150°C. Lo que lo hace una opción favorable en la elaboración de mezclas de mortero para pañete.

En general se puede decir que, a veces es necesario el uso de aditivos para mejorar las propiedades mecánicas del mortero, ya que estos aportan resultados favorables en la durabilidad y la resistencia y que la consistencia de estos morteros varía según la granulometría del material triturado, es decir la cantidad de agregado fino; Si los agregados son muy gruesos afectan en la trabajabilidad del mortero.

Finalmente, se menciona que, la implementación de esta alternativa innovadora en el gremio de la construcción colombiana sería excelente y profundizar más en cuanto a temas de

costos-calidad podría ser una gran forma de aportar desarrollo a nuestro país. En estos momentos este tipo de investigaciones en Colombia se encuentra en una fase preliminar.

## Conclusiones

Las investigaciones efectuadas para el desarrollo del actual proyecto de monografía y los resultados obtenidos en cada una de dichas experiencias encontradas referente al tema de estudio permiten establecer las siguientes conclusiones:

Utilizar una cierta proporción de residuos de construcción y demolición para reemplazar el árido natural fino (AN) o el material cementicio en morteros para la construcción es una buena alternativa que beneficia al medio ambiente, ya que ayuda significativamente a reducir los impactos ambientales que genera la extracción excesiva de materias primas en canteras naturales, el uso inadecuado de RCD y las emisiones excesivas de dióxido de carbono a la atmósfera durante la producción de cemento Portland. El uso de estos residuos contribuye al mejor desarrollo sostenible del medio ambiente.

Los residuos RCD generalmente empleados en la fabricación de mortero para construcción son hormigón, ladrillo reciclado, reciclados mixtos, cerámica de arcilla roja, vidrio triturado, partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje, entre otros residuos.

El mortero elaborado de forma convencional, tiene un mejor comportamiento físico - mecánico que aquel elaborado mediante el uso de residuos de construcción y demolición. Aunque la diferencia entre ambos no fue considerable, las propiedades en el mortero reciclado

por lo general siempre se mantuvieron por debajo del convencional, a excepción de la absorción y porosidad que se mantuvieron más altas en el reciclado. Sin embargo, en algunas investigaciones, los rangos obtenidos en las prestaciones cumplieron con la normativa. En el caso de estudio, la funcionalidad de los morteros de pañete es para cubrir y embellecer. Por tanto, las exigencias para estos son menores que para morteros estructurales. Lo que indica que el mortero RCD podría ser una buena alternativa para pañete.

la cantidad de agua requerida para el mezclado de los morteros con áridos de reciclaje es mayor que la requerida para los áridos naturales debido a que la absorción es mayor en morteros reciclados que en los convencionales. Lo que no es muy recomendable debido a que a mayor contenido de agua en la mezcla podría ocasionar presencia de grietas y fisuras, en consecuencia, para controlar y prevenir dichas anomalías se puede considerar el uso de aditivos como reductores de agua o plastificantes.

Las propiedades físico - mecánicas varían en función de la procedencia del RCD utilizado, los RCD estudiados como el hormigón, reciclados mixtos, cerámica de arcilla roja, partículas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje, mostraron peores resultados que los obtenidos con los residuos provenientes de ladrillo reciclado y vidrio triturado. En particular estos últimos tuvieron mejor rendimiento en algunas propiedades que los morteros elaborados con arena natural.

El proceso de obtención de agregado fino con RCD afectará el comportamiento y prestaciones mecánicas de los morteros elaborados con estos áridos. Ya sea, obtenido después de moler las partículas gruesas de los residuos utilizados o tamizar directamente el RCD seleccionado. En las investigaciones estudiadas se mostraron mejores resultados en morteros elaborados con material RCD obtenido de trituración o molienda.

Al aumentar la tasa de incorporación de material reciclado disminuye la densidad aparente en estado fresco y endurecido, retención de agua, resistencia a la compresión y flexión (la resistencia a la flexión en algunos casos tuvo una buena respuesta a la incorporación de material reciclado) y aumenta el porcentaje de absorción, el volumen de poros permeables. La retención de agua puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante.

La absorción esta enlazada a la porosidad, y como a menor resistencia mayor porosidad por eso la absorción es mayor en el mortero reciclado. Mientras que, a mayor resistencia mayor peso específico.

La consistencia del mortero para pañete o revestimiento recomendada según la Norma NTC No. 111 es media (plástica) con un porcentaje de fluidez entre 100% - 120% (en la tabla 1 se aprecia dichos valores). Por tanto, con dicha fluidez el tipo de mortero más ajustable para pañete o revoque son los morteros tipo S y N establecidos en la norma NSR-10 en la menor categoría. (especificaciones descritas en la Tabla 140-Apéndice A). Por lo general, los morteros

reciclados cumplieron con las especificaciones de resistencia a la compresión dados para estos dos tipos de morteros.

La resistencia a la adherencia a los 28 días en los morteros fabricados con agregado natural en algunos casos presenta un mejor desempeño que los morteros elaborados con agregados de reciclaje proveniente de hormigón o mixto y en otras experiencias las resistencias a la adherencia obtenidas lograron resultados beneficiosos encontrándose dentro de los rangos establecidos en la normativa, esto se debe a la procedencia del material reciclado. Mientras que, aquel mortero elaborado con RCD proveniente de ladrillo como material de agregado fino en su totalidad y en un porcentaje de material cementicio presenta un mejor comportamiento en esta característica que el mortero elaborado de forma convencional. Así mismo, el elaborado mediante el uso de vidrio triturado, obtiene una fuerza de unión apta para revoque, la adherencia se ve aumentada por la forma angular y textura de las partículas de vidrio. Además de sus destacadas características acústicas y mejores propiedades físicas y mecánicas a altas temperaturas. Por lo que, el mortero reciclado es una excelente alternativa de empleo en pañete o revestimiento, en especial aquellos fabricados a base de ladrillo o vidrio.

La utilización de residuos de construcción y demolición provenientes de ladrillo triturado como material cementicio, es una excelente alternativa ya que la composición química obtenida de dicho material reciclado se ajusta a la establecida en la (Tabla 147- Apéndice B) para el cemento portland. Aunque, predomine en mayor cantidad el Óxido de Sílice  $\text{SiO}_2$  (cuarzo) en vez de Óxido de Calcio  $\text{CaO}$  no deja de cumplir con la sumatoria de 95% de su composición

principalmente, la cual está dada por CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> y según las investigaciones estudiadas las propiedades químicas y física de las puzolanas obtenidas de la molienda del ladrillo cumple con lo estipulado en la norma ASTM C618. El reemplazo parcial del cemento por residuos de ladrillo conduce a menos resistencia. Sin embargo, la incorporación de 50% de residuos de ladrillo como material cementicio la resistencia a los 28 días estuvo dentro del rango establecido para mortero tipo N.

La granulometría obtenida por lo general, en cada una de las experiencias encontradas se acoge a los rangos dados en la NTC 2240 (tabla 149 del apéndice C) y la clasificación de los agregados según su tamaño corresponde a la de agregado fino según lo dispuesto en la tabla 148 del apéndice C.

Con el desarrollo de la presente monografía de compilación se concluye que los morteros de construcción para pañete fabricados mediante el uso de residuos RCD presentan mejores ventajas referente a los morteros convencionales, debido a la similitud de sus prestaciones mecánicas y al aporte ambiental positivo que genera implementar dicha alternativa. Pero es beneficioso, siempre que los residuos de construcción y demolición se intervengan en condiciones que permitan reutilizarse acorde a la normativa dispuesta. Aunque las propiedades estuvieron menores en los morteros reciclados aun no dejan de ser buenas para pañete debido a que las exigencias para pañete son mucho menores que la estructurales.

Por otra parte, de acuerdo al interrogante planteado podemos deducir que, si es posible que el mortero reciclado sea apto para pañete y aporte a nuestro país desarrollo en el campo de la construcción, ya que según las investigaciones estudiadas y las experiencias analizadas el mortero reciclado mantiene su aspecto original y no se observan fisuras ni separaciones a medida del tiempo.

Finalmente, basándonos en los resultados obtenidos en cada uno de las experiencias encontradas en diferentes países a nivel mundial y recopiladas en este proyecto monográfico, se debería considerar la posibilidad de profundizar más este tipo de alternativa en Colombia con el fin de implementar el uso de los residuos de construcción y demolición (RCD) como agregado fino o material cementicio en morteros de construcción para pañete en obras civiles futuras.

## Referencias

- (INCONTEC), I. C. (1991). *Norma Tecnica Colombiana 110*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (1994). *Norma Tecnica Colombiana 1776*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (1995). *Norma Tecnica Colombiana 237*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (1995). *Norma Tecnica Colombiana 92*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (1999). *Norma Tecnica Colombiana 221*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (2004). *Norma tecnica Colombiana 220*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INCONTEC), I. C. (2007). *Norma Tecnica Colombiana 77*. Bogota: Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificacion (INCONTEC).
- (INVIAS), I. N. (2007). *INV E-324*. Bogota.
- Alcalde Mayor de Santafe de Bogota. (21 de Mayo de 1997). Decreto 357 de 1997. Santafe de Bogota, Colombia: Diario oficial No. 1418.
- ALVAREZ CABRERA, J. L., URRUTIA, F., LECUSAY, D., & FERNÁNDEZ, A. (1997). Morteros de albañilería con escombros de demolición. *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EDITORIAL CSIC*.
- Amaru Herrera, Z. M., & Vargas Miranda, K. E. (2017). *Gestión ambiental para el aprovechamiento y disposición adecuada de los residuos de la construcción y demolición. Caso: distrito de San Bartolo. (Tesis Doctoral inédita)*. Lima, Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, (Tesis Doctoral inédita).

- Ambiente, S. D. (s.f.). *Secretaría Distrital de Bogotá* . Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/es/web/escombros/conceptos-basicos>
- Arroyave, Á. d. (2009). *Guía para la explotación, mitigación y recuperación de canteras*. Cundinamarca: CAR, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- Barra, M. (1996). *Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón estructural*. Tesis Doctoral. Universidad técnica de Cataluña.
- Barrera Peñaloza, A. P., León Corredor, M., & Ruiz Sierra, M. C. (2017). *Desarrollo de una metodología para el manejo ambiental y financiero de residuos de construcción y demolición (RCD). Caso de estudio: “Obra - Comando del Departamento de Policía Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Barrios, M. R., & Macías Valencia, J. P. (2014). *GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y ADECUACIÓN DE ZONAS DE DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE EXCAVACIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA SANTANDER*. Bucaramanga: Universidad de Santander.
- Bocanegra Mariños, J. A., & Espejo Valdez, Y. A. (2018). *Influencia de la granulometría y el porcentaje de reemplazo de ladrillo reciclado sobre la resistencia a la compresión, absorción y capilaridad en la fabricación de morteros para enlucidos de albañilería*. Trujillo-Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Tesis de grado.
- Braga, M., De Brito, J., & Veiga, R. (2012). Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. *Construction and Building Materials*, 960-968.
- Cabrera Covarrubias, F. G., Gomez Soberon, J. M., Almaral Sanchez, J. L., Arredondo Rea, S. P., Gomez Soberon, M. C., & Mendevil Escalante, J. M. (2017). *Propiedades en estado fresco de morteros con arido reciclado de hormigon y efecto de relacion c/a*. Barranquilla Colombia: Universidad del Norte.
- Cagiao Villar, J., Doménech Quesada, J. L., Gutiérrez Mainar, S., Gutiérrez Lanza, H., Martínez Abella, F., & González Fonteboa, M. (2010). *HUELLA ECOLÓGICA DEL CEMENTO, Cálculo de la huella ecológica de una industria cementera y propuesta de*

medidas de ingeniería sostenible destinadas a su reducción. *Laboratorio de Ingeniería Sostenible*.

Cement Concrete & Agregates Australia. (2008). *Use of Recycled Aggregates in Costruction*. Australia: Australia: Cement Concrete & Agregates Australia.

Cerdán Medina, J. E. (2019). *Evaluación de mortero reciclado con arena de residuos de construcción y demolición para efectos de compresión y flexibilidad- Huanchaco-Trujillo- La Libertad*. Trujillo, Perú: Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Tesis de grado.

Claros, E. (2020). *Argos*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/normatividad/normatividad-morteros-para-mamposteria-no-estructural>

Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de Febrero de 2017). Resolución 0472, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia: Diario Oficial.

Concreto, C. 3. (2007). *360 en Concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-reciclados-que-y-para-que>

Congreso de la Republica. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. Santafe de Bogota, Colombia: Diario Oficial.

Constitucional, C. (2015). *La constitucion politica de Colombia, edicion 2015*. Bogota, Colombia: Corte Constitucional, Consejo Superior de la Judicatura & Cendoj.

Construmática. (s.f.). *Construmática*. Obtenido de [https://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas\\_de\\_los\\_Morteros](https://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros)

Contreras Laiza, M. M., & Gonzalez Perez, A. G. (2016). *Influencia de la cantidad adicionada de vidrio de desecho en reemplazo de agregado fino, sobre la densidad, absorción y resistencia a la compresión en morteros y pilas de albañilería*. Trujillo, Perú.: Biblioteca digital de la Universidad Nacional de Trujillo, Tesis de grado.

- Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2009). Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate. *Construction and building materials.*, 289-294.
- Dapena, E., Alaejos, P., Lobet , A., & Pérez, D. (2011). Effect of recycled sand content on characteristics of mortars and concretes. *Journal of Materials in civil Engineering*, 414-422.
- Escandon Mejía, J. C. (2011). *DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y ECONÓMICO DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Bogotá: Universidad Pontificia Javeriana.
- Fernández Ledesma , E., Jiménez, J. R., Ayuso, J., Fernández, J. M., & De Brito, J. (2014). Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortars production. Parte 1: Ceramic masonry waste. *Journal of cleaner Production*, 692-706.
- Flores Alés, V., Jiménez Bayarria, V., & Pérez Fargallo, A. (2018). Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, Vol. 57, Nº. 6,* págs. 257-265.
- García, I. (7 de Noviembre de 2017). *Economía simple*. Obtenido de <https://www.economiasimple.net/glosario/materia-prima>
- Glinka, M., Vedoya, D., Zalazar , P., & Claudia A. (2005). *Reducción del Impacto Ambiental a partir de Estrategias de Reciclaje y Reutilización de Residuos Sólidos Provenientes de la Demolición de Edificios*. Resistencia, Chaco, Argentina : Instituto de Investigaciones Tecnológicas para el Diseño Ambiental del Hábitat Humano (I.T.D.A.Hu.).
- Gutierrez, M. A. (17 de Mayo de 2019). *Ferrovial*. Obtenido de <https://blog.ferrovial.com/es/2019/05/reciclar-obra-construccion/>
- Herrera Gongora, M. A. (2015). *"Propiedades mecanicas, termicas y acusticas de un mortero aligerado con particulas de poliestireno expandido (EPS) de reciclaje para recibimientos en muros y techos"*. Merida, Yucatan, Mexico: Centro de Investigacion

- Científica de Yucatan, A.C. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Materiales Poliméricos. .
- Hincapie Henao, A. M., & Aguja Lopez, E. A. (2003). Agregado reciclado para morteros. *Univerisdad EAFIT*, 1-14.
- Hurtado Ortiz, W. E., & Saenz Corzo, S. F. (2017). *Utilizacion de escombros o desperdicios de obra para la elaboracion de materiales de construccion. caso: Edificio CATTLEYA*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Jiménez , J. R., Ayuso, J., López, M., Fernández , J. M., & De Brito, J. (2013). Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing . *Construction and Building Materials* , 679-690.
- Limbachiya, M. C., Leelawat, T., & Dhir, R. K. (1998). RCA Concrete: A study on properties in the fresh state, strength development and durability. *Use of recycled Concrete Aggregate, sustaninable construction*, 227-238.
- López Gayarre, F., Blanco Viñuela, R., Serrano López, M. A., & López Colina, C. (2015). Infiience of the water variation on the mechanical properties of concrete manufactured with recycled mixed agregates for prestressed components. *Construction and Building Materials*, 844-850.
- Machaca Mamani, M. B. (2018). *Producción de agregado reciclado para mitigar los impactos ambientales de los residuos de construcción en la ciudad de Tacna, año 2017*. Tacna-Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna Tesis Doctoral .
- Martínez , W., Torres, A., Alonso , M., Chávez , L., Hernández , H., Lara, C., & González , M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. *Revista ALCONPAT*, 235-248.
- Martínez Herrera, I. E., Etxeberria Larrañaga, M., Pavón de la Fé, E., & Díaz Brito, N. E. (2012). "Evaluación de morteros de albañilería elaborados con áridos reciclados mixtos con diferentes procesos de obtención". *Revista Cubana de Ingeniería. Vol. III, No. 2.*, pp.11-16.
- Martinez Herrera, I., Pavon de la Fe, E., Etxeberria Larrañaga, M., & Diaz Brito, N. (2012). Caracterizacion de aridos reciclados de composicion mixta para su empleo en morteros

- de albañilería. *16 Convención científica de ingeniería y arquitectura palacio de convenciones de la Habana* (págs. 1-11). Habana: CUJAE.
- Martínez, I., Etxeberria, M., Pavón, E., & Díaz, N. (2013). A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and building material*, 384-392.
- Mateus Ramírez, C. A., & Gelves Peña, D. A. (2020). *Mecánica a compresión en morteros evaluación de resistencia en morteros de cemento con agregado RCD*. Bogotá, D.C.: Universidad católica de Colombia, Tesis de grado.
- Mesbah, H. A., & Buyle Bodin, F. (1999). Efficiency of polupropylene anda metallic fibres on control of shinkage and cracking of recycled aggregate mortars. *Constructurion and Building Materials*, 439-447.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). *Resolución 472 del 28 de febrero de 2017*. Bogotá Colombia.
- Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (30 de Diciembre de 2015). Decreto 4741. Santafe de Bogota, Colombia: Diario Oficial.
- Ministerio de medio ambiente de Colombia. (14 de Diciembre de 1994). Resolucion 541. Santafe de Bogota, Colombia.
- Ministerio del medio ambiente. (5 de Junio de 1995). Decreto 948 de 1995. Santafe de Bogota, Colombia: Diario oficial No 41.876.
- MinMinas, M. d. (2013). Explotacion de materiales de construccion; Canteras y materiales de arrastre. *Prosperidad para todos*, 21.
- Montoya, C. M. (2003). *El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Tesis de Magíster .
- Moretti, j. (31 de enero de 2016). *homifi*. Obtenido de [https://www.homify.com.ar/libros\\_de\\_ideas/422888/una-guia-sobre-el-revoque-de-paredes-breve-y-practica](https://www.homify.com.ar/libros_de_ideas/422888/una-guia-sobre-el-revoque-de-paredes-breve-y-practica)

- Moriconi, G., Corinaldesi, V., & Antonucci, R. (December 2003). Environmentally-friendly mortars: a way to improve bond between mortar and brick. *Journal and Materials and Structures / Matériaux et Constructions*, Vol. 36,, pp. 702-708.
- Muñoz Ruiperez, C. (2015). "*Propiedades físicas y durabilidad de morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados*". Burgos, España. : Universidad de Burgos,Escuela Politécnica Superior. Tesis Doctoral. .
- Muñoz, E. I. (2012). *Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala .
- Muñoz, M. A. (2012). *applications of recycled aggregates from construction and demolition waste in the construction of roads infrastructure*. Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. Tesis Doctoral [Con Mención Internacional].
- Norma Española UNE-EN 1015-18. (2003). Métodos de ensayos de los morteros para albañilería. *Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por la capilaridad del mortero endurecido* .
- Norma Española UNE-EN 1015-19. (2000). *Métodos de ensayos de los morteros para albañilería. Parte 9: Determinación del periodo de trababilidad y del tiempo abierto del mortero fresco*. Norma Española UNE-EN 1015-19.
- Norma Española UNE-EN 998-2. (2012). Especificaciones de los morteros para albañilería . *Parte 2: Morteros para albañilería*.
- NTC-ISO14001. (2015). *Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso*. Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación (ICONTEC).
- Orozco Gutierrez, C. J., Gomez Rodriguez, F. S., Severiche Ramirez, J. A., Rico Gomez, K. J., Pinto Fajardo, N. A., Zambrano Echeverria, V. A., . . . Figueroa Garcia, Y. X. (2014). *Guia para la elaboracion del plan de gestion integral de residuos de construccion y demolicion (RCD) en obra*. Bogota: Secretaria Distrital de Ambiente (SDA).
- Pacheco Bustos, C. A., Fuente Pumarejo, L. G., Sánchez Cotte, E. H., & Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de

- aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Scielo*, 534-555.
- Peláez, J. D. (2009). *Evaluación del impacto ambiental de proyectos de desarrollo* .
- Pérez, A. (2012). *Triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto*. Tunja, Colombia: Universidad.
- Pérez, J. I. (1996). *Estudio del potencial de reciclaje de desechos de materiales de construcción y demolición en santa fe de Bogotá*. Bogotá: Tesis Universidad de los Andes.
- Pigueiras Aleaga, E., Ilboudo, M., Soler Mendoza, Y., & Martinez Herrera, I. (2015). Prestaciones mecánicas y de durabilidad de morteros elaborados con aridos reciclados procedentes de residuos de hormigón. *17 Convencion científica de ingenieria y arquitectura palacio de convenciones de la Habana* (pág. 9). La Habana, Cuba: Instituto Politecnico Jose Antonio Echeverria.
- PROMSA. (2021). *Productos ecológicos que favorecen la sostenibilidad del entorno*. Obtenido de <https://www.promsa.com/es/productos/p/%C3%A1ridos-reciclados>
- Reinaguerra, S. (2018). ¿Que debe cumplir el mortero y la mamposteria según la NSR.10? *XVII Reunión del Concreto*.
- Rivera, G. A. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Civilgeeks.com.
- Rojas Santander, D. C., & Olaya Madiedo, J. (2020). *Influencia de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de concreto en el comportamiento mecánico y al ataque de cloruros en morteros de cemento hidráulico*. Bogota: Universidad Católica de Colombia, Tesis de grado.
- Ruiz Hernandez , E. (2020). *"Resistencia a compresión y capacidad de absorción del mortero al reemplazar agregado fino por ladrillo, cerámica y teja de arcilla reciclados – Cajamarca, 2018 "*. Cajamarca, Perú: Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Tesis de licenciatura.

- Sáiz Martínez, P. (2015). *Utilización de arenas procedentes de Residuos de Construcción y demolición, RCD, en la fabricación de morteros de albañilería*. Madrid: Repositorio Universidad Politécnica de Madrid, Tesis Doctoral.
- Saiz Martinez, P., Ferrandez Vega, D., Moron Fernandez, C., & Payan de Tejada, A. (2018). *Comparative study of the influence of three types of*. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.
- Saiz Martínez, P., González Cortina, M., & Fernández Martínez, F. (2015). Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties. *Journal Materials of Constructions, Vol. 65,*.
- Saiz Martinez, P., Gonzalez Cortina, M., & Fernandez Martinez, F. (s.f.). Utilizacion de arenas procedentes de residuos de construccion y demolicion, RCD, en la fabricacion de morteros de albañileria. *I Congreso Internacional de Construccion Sostenible y Soluciones Eco-eficientes*. (pág. 11). Madrid: Departamento de construcciones arquitectonicas y su control.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá, D.C. - Colombia: Bhandar editores Ltda.
- Sánchez de Juan, M. (2004). *Estudio sobre la utilización de árido para la fabricación de hormigón estructural*. Madrid: Caminos, canales y puentes.
- Sánchez de Rojas, M. I., Asensio, E., Frutos, B., Frías, M., Juan, A., Nieto, M., & Medina, C. (2018). *Mortero de revestimiento de fachada realizado con residuos de construcción y demolición*. Madrid, España: International Conference on Construction Research- Eduardo Torroja: Architecture, Engineering, Concrete (AEC).
- Sánchez, J. (1 de Septiembre de 2020). *Ecología Verde*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/como-afecta-al-medio-ambiente-la-extraccion-de-minerales-1118.html>
- Silva , J., De Brito, J., & Veiga, R. (2009). Incorporation of fine ceramics in mortars. *Construction and Building Materials, 556-564*.

- Silva Urrego, Y. F., Gordillo, M., & Delvasto Arjona, S. (2017). *Influencia del residuo de mampostería (RM) como material cementicio suplementario en la elaboración de morteros*. Cali, Colombia.: Informador Técnico, Universidad del Valle, Cali.
- Silva, J., de Brito, J., & Veiga, R. (March 2010). Recycled Red-Clay Ceramic Construction and Demolition Waste for Mortars Production. *Journal of materials in civil engineering*, 236-244.
- Sostenible, C. M. (2009). *Reciclado concreto*. Washington, Estados Unidos.
- Sostenible, C. M. (2012). Reciclado Concreto. *Cement Sustainability Initiative*.
- SULLCA, I. C. (2018). *TEXTO GUIA PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. ATACUCHO-PERÚ: UNIVERSIDAD A LAS PERUANAS* .
- Vásquez, E., & Barra, M. (2002). *Hormigón en áridos reciclados: retracción*. V Seminario *Desvolvimiento Susatentavel e a Reciclagem na Construcao Civil*. Brasil: Comité Técnico 206 Medio Ambiente.
- Vegas, I., Azkarate, I., Juarrero, A., & Frías, M. (2009). *Design and performance of masonry mortars made with recycled concrete aggregates*. España: Materiales de Construcción, vol.59, pp-5-18.
- Vidal.L, M. (2009). Como elaborar un mapa conceptual. *Programa de apoyo a la comunicacion académica*, 1.

# Apéndices

**Apéndice A. Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del mortero para pañete elaborado con la incorporación de residuos procedentes de construcción y demolición en Colombia.**

Según la NSR-10-Capítulo E.7 en el numeral D.12.1.2.3 se menciona que, “los morteros de recubrimiento o de revoque (pañete) son similares a los morteros de pega descritos en D.3.4, pero utilizando arenas finas que cumplan con las especificaciones de las Normas ASTM C-926 y ASTM C-897”. (p. E-24). En la siguiente tabla se muestra las especificaciones descritas en la norma NSR-10 para la clasificación de los morteros de albañilería por propiedades o proporción.

**Tabla 140**  
*Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción*

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad <sup>(1)</sup>			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la compresión $f'_{cp}$ Mpa <sup>(2)</sup>	Flujo en (%) <sup>(3)</sup>	Retención mínima de agua	Cemento Portland	Cal hidratada <sup>(4)</sup>	Cemento para mampostería <sup>(7)</sup>	Arena/material cementante <sup>(5)</sup>	
							Mín.	Máx.
H	22.5	115 - 125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115 - 125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110 - 120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N <sup>(6)</sup>	7.5	105 - 115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:

(1) Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).

(2) Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado.

(3) Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91).

(4) Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.

(5) Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.

(6) El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI)

(7) El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

*Nota:* Tomado de la tabla D.3.4-1 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (2010). Fuente: NSR-10-TITULO D.3. MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL – Calidad de los materiales en la mampostería estructural. p. D-14.

Eduardo Claros, Ingeniero Civil, en su artículo titulado “Normatividad morteros para mampostería no estructural” publicado por Argos, menciona que:

En 1954 los morteros para mampostería tenían una clasificación por letras A1, A2, B, C y D. Sin embargo, el tipo A1 tenía la connotación de ser el mejor y muchos diseñadores especificaban este, pensando que en realidad lo era.

Para acabar con este malentendido, se asignaron nuevas letras que no hicieran pensar que un tipo de mortero era mejor que otro. La designación de las nuevas letras fue M, S, N, O y K, las cuales corresponden al deletreo cada dos letras de las palabras en inglés “MaSoN wOrK” que traduce trabajo de mampostería.

El mortero tipo K, ya no aparece en las especificaciones porque las diferencias con el tipo O son mínimas y en las aplicaciones prácticas, este lo reemplaza. La norma NTC 3329, ha dejado solamente los morteros tipo M, S, N y O (ver tabla 140), a diferencia de la Norma sismo resistente colombiana NSR-10 que como se aprecia en la tabla anterior (tabla 139) ha dejado los morteros tipo M, S, N, eliminó el tipo O y adicionó un mortero tipo H, el cual sus especificaciones exigen mayor resistencia. Los morteros para mampostería pueden ser especificados de acuerdo con un criterio de proporción o propiedades, pero no por una combinación de ellas. (Claros, 2020).

En la tabla mostrada a continuación (tabla 140), se observa los requisitos de las especificaciones por propiedad del mortero establecidas en la Norma Técnica Colombiana 3329, en las especificaciones se registra el mortero tipo “O” y no aparece el tipo “H” que si está en la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10. Los tipos de mortero que son comunes en las tres normas; la NSR-10, NTC 3356 y NTC 3329; son el M, S y N estas normas especifican la resistencia en cubos, pero hay una diferencia en el mortero tipo “N”. (Reinaguerra, 2018)

**Tabla 141**  
*Requisitos para especificación por propiedades<sup>A</sup>*

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión medida en cubos (Mpa)	Mínima retención de agua %	Máximo aire contenido % <sup>B</sup>	Proporción de agregado (medido en condiciones húmedo suelto)
Cemento - cal	M	17,2	75	12	
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4	75	14 <sup>C</sup>	
Mortero	M	17,2	75	12	No menos que 2 1/4 y no más que 3 1/2 veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 <sup>C</sup>	
	O	2,4	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento de mampostería	M	17,2	75	18	
	S	12,4	75	18	
	N	5,2	75	20 <sup>D</sup>	
	O	2,4	75	20	

A Únicamente mortero preparado en laboratorio (véase la Nota)

B El contenido de aire (no aire arrastrado) de mortero Portland cemento- cal es generalmente menos del 8%.

C Cuando el refuerzo estructural está embebido en un muro de cemento – cal, el máximo contenido de aire debe ser 12%

D Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería, el máximo contenido de aire debe ser 18%

*Nota:* Las propiedades requeridas en la tabla 140 se aplican para morteros mezclados en laboratorio con una cantidad de agua que produzca una fluidez de  $110\% \pm 5\%$ . Esta cantidad no es suficiente para producir un mortero de adecuada consistencia para construir muros en obra. El mortero que va a ser usado en obra debe mezclarse con la máxima cantidad de agua requerida para alcanzar la manejabilidad apropiada, a fin de que satisfaga la tasa de absorción (succión) inicial de la unidad de mampostería. Fuente: (NTC 3329, 2004, p. 5)

Es importante tener en cuenta que de acuerdo a la tabla 1, la consistencia recomendada del mortero para pañete y revestimientos es media (plástica) con un porcentaje de fluidez entre 100% - 120%. Lo que indica que los requisitos para las especificaciones por propiedad mencionadas en la anterior tabla (tabla 140) aplican para morteros para pañete, ya que las propiedades son empleadas para morteros que alcanzan una fluidez de  $110\% \pm 5\%$ .

En la siguiente tabla (tabla 141) se muestra una guía general tomada de la Norma NTC 3329 para seleccionar el mortero según el tipo de mampostería y uso. Los morteros para acabados (pañete) se aprecian en el Anexo X3 (tabla 142).

**Tabla 142**  
*Guía para la selección de morteros de mampostería<sup>A</sup>*

Localización	Parte de la construcción	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativa
Exterior, arriba del nivel de terreno	Muro portante	N	S ó M
	Muro no portante	O <sup>B</sup>	N ó S
	Antepecho	N	S
Exterior, a nivel o por debajo del nivel del terreno	Muro de fundición, muro de contención, pozos de inspección, pavimentos, caminos y patios	S <sup>C</sup>	M ó N <sup>C</sup>
	Muro de carga tabique no portante	N O	S ó M N
Interior o Exterior	Reparación o acabado	Véase el Anexo X3	Véase el Anexo X3

<sup>A</sup> Esta tabla no proporciona morteros de usos especializados, tales como chimeneas, mampostería reforzada y morteros resistentes al ácido.

<sup>B</sup> El mortero tipo O es recomendado para ser usado cuando la mampostería no tiene riesgo de congelamiento, cuando se satura o cuando no va a estar sujeto a fuertes vientos o a otras cargas laterales significativas. El mortero tipo N ó S debe ser usado en otros casos.

<sup>C</sup> La mampostería expuesta a condiciones ambientales en una superficie nominal horizontal extremadamente vulnerable a la alteración por exposición a la intemperie. El mortero para dicha mampostería debe ser seleccionado con la debida precaución.

*Nota:* Fuente: (NTC 3329, 2004, p. 22)

A continuación, se muestra el Anexo X3 mencionado en la tabla anterior (tabla 141). Se observa una guía para la selección de mortero para pañete dependiendo la localización o servicio.

**Tabla 143**  
*Guía de selección para mortero de reparación y acabado*

Localización o servicio	Mortero tipo	
	Recomendado	Alternativa
Interior	O	K, N
Exterior, sobre el grado expuesto en un lado, poco probable ser congelado cuando está saturado, no conforme al fuerte viento o a carga lateral exterior significativa	O	N, K
	N	O

Nota: Las proporciones del mortero Tipo K están incluidas en la norma ASTM C 270:1982. Esta tabla no aplica para uso en pavimentos. Fuente: (NTC 3329, 2004, p.24)

De la anterior tabla, se observa que los tipos de mortero establecidos para el mortero de acabado según la norma NTC 3329, son los morteros tipo O, tipo K y tipo N. Como se citó antes, el mortero tipo K, ya no aparece en las especificaciones porque las diferencias con el tipo O son mínimas y en las aplicaciones prácticas, este lo reemplaza. Por tanto, según dicha norma quedaría la alternativa del mortero tipo N y O. Mientras que en la NSR 10 no existe el tipo O, por ello, solo quedaría el mortero tipo N. El mortero tipo N es el último tipo de mortero en la categoría dada según la norma sismo resistente colombiana.

Mientras tanto, Eduardo Claros, menciona que, para elementos de mampostería no estructural los morteros más recomendados son:

Tipo N – 7.5 MPa. Apropriado para pañetes y pega en muros interiores divisorios. Combina las propiedades de resistencia, trabajabilidad y economía.

Tipo S – 12.5 MPa. Proporciona mayor resistencia a la adherencia y se usa generalmente en estructuras sometidas a cargas normales de compresión. Ideal para pega de elementos no estructurales en mampostería de fachadas, antepechos y parapetos. (Claros, 2020).

Teniendo en cuenta la información anterior, en la siguiente tabla (tabla 143) se muestran algunas de las especificaciones técnicas para los morteros tipo S y N.

**Tabla 144**  
*Especificaciones técnicas de los tipos de mortero S y N*

Parámetros físicos y mecánicos	Norma de ensayo	NTC 3356	
		Tipo S	Tipo N
Retención de agua, min %	NTC 4050	75	75
Contenido de aire, máx %	NTC 1032	12	12
Resistencia a la compresión a los 28 días (Mpa), min.	NTC 3546	12.5	7.5

*Nota:* Estos tipos de morteros son aplicados en revoque o pañete de muros interiores y exteriores. Fuente: Argos, Luz verde Ficha técnica. Versión 1. Noviembre 2017.

El uso de los morteros se puede resumir en cuatro categorías: morteros que

soportan grandes cargas a compresión, morteros que mantienen el elemento en la posición deseada, morteros para emparejar usados como revestimiento también llamado revoque o pañete y morteros que sirven de relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020, pág. 9).

En la tabla 144, que se presenta a continuación se muestra las proporciones de mortero más utilizadas según su uso. En el caso del mortero para pañete la dosificación recomendada es la 1:4. Debido a la relación calidad- precio.

**Tabla 145**

Usos de los morteros de cemento

<b>Mortero</b>	<b>Usos</b>
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones, rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañete no muy finos
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

*Nota:* Se muestra las dosificaciones de mortero según su uso. Se aprecia que la proporción de mezcla para mortero de pañete estaría entre el mortero 1:4 como predominante debido a sus mejores condiciones de proporción. Fuente: Tecnología del concreto y del mortero p. 307.

## **Apéndice B. Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del cemento utilizado para la elaboración del mortero en Colombia.**

La norma colombiana que rige los parámetros y especificaciones del cemento para mampostería es NTC 4050 (ASTM C 91).

El cemento es un material aglomerante con propiedades de adherencia como de cohesión, lo que aporta la capacidad de aglutinar los áridos o minerales entre sí, para conformar el mortero, otorgando durabilidad y resistencia.

El cemento Portland está compuesto por silicato di cálcico ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ) en un 32%, silicato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ ) en un 40%, aluminato tricálcico ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ) en un 10%, ferro aluminato tetra cálcico ( $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ ) en un 9% y sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) en un 2-3%.<sup>35</sup>

El cemento para mampostería que promueve la industria de Argos, está diseñado para hacer mortero de pega y consiste en una mezcla controlada basada en cemento Portland que ayuda a dar resistencia a la compresión y adherencia al mortero, además se incluye en la mezcla materiales plastificantes inorgánicos para mejorar las propiedades del mortero optimizándolo en su trabajabilidad, en la retención de agua y la manejabilidad o tiempo en que mantiene su consistencia,

mejorando el material en cuanto a su durabilidad y reduciendo la absorción de agua del mortero con cal hidratada o piedra caliza pulverizada. (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020).

En las siguientes tablas (tablas 145 y 146), se muestran los parámetros y componentes físico-químicos que el cemento debe cumplir para la correcta elaboración del mortero de construcción.

**Tabla 146**  
*Cemento para mampostería*

Parámetros físicos y mecánicos		Tipo de cemento para mampostería		
		N	S	M
Resistencia a la compresión, Mpa	7 días	3,5	9,0	12,5
	28 días	6,2	14,5	20,0
Contenido de aire del mortero	% mínimo	8	8	8
	% máximo	21	19	19
Retención de agua	% mínimo	70	70	70

*Nota:* Se muestra los parámetros físicos y mecánicos del cemento para cada tipo de mortero. Fuente: NSR-10-TITULO D. MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL – Calidad de los materiales en la mampostería estructural. Disponible en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/cemento-para-mamposteria-mayor-rendimiento>

**Tabla 147**  
*Porcentajes de los componentes químicos que intervienen en el cemento portland*

Porcentaje en cemento	Componente Químico	Rango de % típico por componente	Procedencia Usual
95%	Óxido de Calcio $CaO$	61% - 67%	Rocas Calizas
	Óxido de Sílice $SiO_2$	20% - 27%	Areniscas
	Óxido de Aluminio $Al_2O_3$	4% - 7%	Arcillas
	Óxido de Hierro $Fe_2O_3$	2% - 4%	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5%	Óxido de Magnesio, sodio $SO_3$	1% - 3%	
	Potasio, Titanio, Azufre $MgO$	1% - 5%	Minerales varios
	Fósforo y Manganeso $K_2O$ y $Na_2O$	0.25% - 1.5%	

Fuente: Gutiérrez de López, L., El concreto y otros materiales para la construcción. Manizales. 2003

La figura 102 que se observa a continuación, muestra el contenido de cemento en Kg/m<sup>3</sup> necesario para la elaboración de la mezcla de mortero teniendo en cuenta la fluidez del mortero plástico (para un flujo de 102% a 113%), módulo de finura del agregado fino y la resistencia a la compresión a 28 días en Kg/cm<sup>2</sup>.

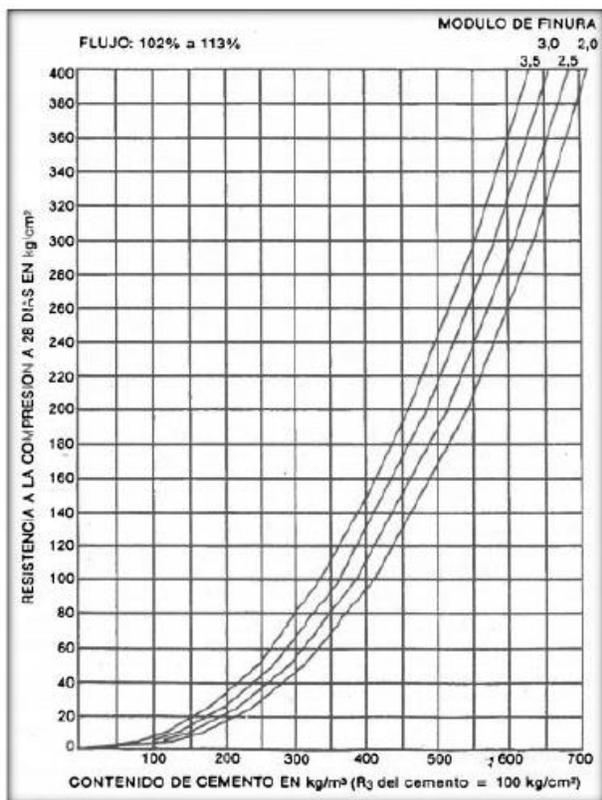


Figura 102 Determinación del contenido de cemento en mortero seco

Fuente: RIVERA L, Gerardo. CONCRETO SIMPLE. Colombia. Universidad del Cauca P 257.

La fluidez recomendada para el mortero de pañete según Sánchez de Guzmán en su libro Tecnología del concreto y del mortero registrada en la tabla 1, está entre 100% - 120% con una consistencia media (plástica). Por tanto, la gráfica que se muestra en la anterior figura es la adecuada para mortero para pañete.

**Apéndice C. Parámetros y especificaciones técnicas a considerar en el análisis del agregado fino utilizado para la fabricación del mortero en Colombia.**

Las siguientes tablas muestran la clasificación y degradación de los agregados según su tamaño. Las arenas son aquellas que pasan la malla N°4. Pero según Argos, el agregado fino de tamaño máximo N°8 (2,36mm) es el ideal para la elaboración de mortero de pañete para acabado sobre las superficies de mampostería y concreto.

**Tabla 148**

*Clasificación de los agregados según su tamaño*

<b>Tamaño de la partícula en mm</b>	<b>Denominación corriente</b>	<b>Clasificación</b>
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0.002 mm	Arcilla	Fracción fina o finos
Entre 0.002 - 0.074mm	Limo	
Pasante del tamiz N°4 y retenido en el tamiz N° 200 es decir entre 4.76 mm y 0.075 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N°4		
Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N°4 y 3/4")	Gravilla	Agregado grueso
Entre 19.1 mm y 50.8 mm (3/4" y 2")	Grava	
Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6")	Piedra	
Superior a 152.4 m (6")	Rajón, piedra bola	

Fuente: Gutiérrez de López, L., El concreto y otros materiales para la construcción. Manizales. 2003

**Tabla 149**  
*Granulometría de los agregados finos*

Tamiz NTC	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena triturada
4,75 mm (No.4)	100	100
2,36 mm (No.8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No.16)	70 a 100	70 a 100
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	2 a 15	10 a 15
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	0 a 5	0 a 10

Fuente: Norma NTC 2240