

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO  
DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR  
WILLIAM JOSEPH RODRÍGUEZ VIAMONTE**

**ASESOR  
Mag. CARLOS ALBERTO VILLEGAS MARTÍNEZ**

**LIMA- PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por contar siempre con su apoyo  
en cada proyecto que me propongo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A aquellos amigos que me apoyaron a realizar este trabajo, a mi asesor, al Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales y a aquellos ingenieros que me sirvieron de guía.

---

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>10</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>18</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>23</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>29</b>
1.1 GENERALIDADES .....	29
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	30
1.3 PROBLEMAS DEL ESTUDIO .....	31
1.3.1 PROBLEMA GENERAL.....	31
1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	31
1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	31
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
1.5 HIPÓTESIS .....	32
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL .....	32
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	32
1.6 MARCO METODOLÓGICO.....	32
1.6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	32
1.6.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	33
1.6.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
1.6.4 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	34
1.6.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....	34

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN.....	35
1.8 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	37
1.8.1 ANTECEDENTES NACIONALES .....	37
1.8.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	38
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>42</b>
2.1 CONCRETO.....	42
2.2 CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA.....	42
2.3 CONCRETO RECICLADO .....	42
2.4 AGREGADO RECICLADO .....	42
2.5 RELACIÓN AGUA CEMENTO .....	43
2.6 ENSAYO DE COMPRESIÓN .....	43
2.7 ENSAYO DE TRACCIÓN .....	43
2.8 ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS .....	44
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>45</b>
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO .....	45
3.1.1 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	45
3.1.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS .....	45
3.1.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	53
3.1.4 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS .....	56
3.1.5 COMBINACIÓN DE AGREGADOS POR EL MÉTODO DE MÁXIMA COMPACIDAD.....	60
3.1.6 CEMENTO .....	61
3.1.7 ADITIVO.....	62
3.1.8 AGUA .....	62
3.2 DISEÑO DE MEZCLA.....	62
3.3 MUESTREO DE MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO .....	69

3.4 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO .....	69
3.4.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN CONCRETO FRESCO.....	69
3.4.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO EN CONCRETO FRESCO.....	72
3.4.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN CONCRETO FRESCO .....	74
3.4.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO EN CONCRETO FRESCO.....	75
3.5 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	81
3.6 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO .....	83
3.6.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	84
3.6.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN .....	89
3.6.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	92
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>96</b>
4.1 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN LOS AGREGADOS.....	96
4.1.1 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA .....	96
4.1.2 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN .....	98
4.1.3 ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD .....	98
4.2 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO.....	99
4.2.1 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO.....	99
4.2.2 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO.....	101
4.2.3 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE.....	102
4.2.4 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO.....	102
4.3 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO .....	104
4.3.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	104
4.3.2 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN .....	114
4.3.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	122
4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	130
4.4.1 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA.....	130
4.4.2 ANÁLISIS DE NORMALIDAD .....	130

---

4.4.3 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD .....	135
4.4.4 ANÁLISIS DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	137
4.5 ANÁLISIS DEL COSTO .....	143
4.5.1 COSTO DE LOS MATERIALES.....	143
4.5.2 COSTO DE MATERIALES PARA 1m <sup>3</sup> DE MEZCLA.....	144
4.5.3 COSTO DE AGREGADOS PARA 1m <sup>3</sup> DE MEZCLA .....	147
4.5.4 COSTO DE MEZCLAS CON ADITIVO .....	149
4.5.5 COMPARACIÓN CON COSTOS DE MERCADO .....	152
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>156</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>160</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>166</b>

---

## RESUMEN

La presente tesis estudió el efecto del uso de agregado fino reciclado (agregado artificial obtenido de demoliciones que se tritura hasta obtener partículas de un tamaño similar al de las partículas de la arena) en las proporciones de 10%, 25%, 50% y 100% en concretos de mediana a alta resistencia. Se usaron las relaciones agua cemento de 0.50, 0.45 y 0.40 para alcanzar la resistencia objetivo. Se realizó una comparación entre las resistencias a compresión, tracción y flexión obtenidas de las variantes de mezcla (las cuales contienen agregado fino reciclado) respecto de las resistencias de las mezclas patrón (que solo contienen agregados naturales) de cada relación a/c.

También se analizó la variación de la resistencia a compresión a 28 días en mezclas con porcentajes de reemplazo de 50% y 100% de agregado fino reciclado por agregado fino natural. En estas mezclas se incluyeron otras variantes de mezcla con aditivo superplastificante. El objetivo de esto fue ver si las mezclas con gran contenido de agregado fino reciclado se pueden analizar correctamente con la Ley de Abrams.

Además, se analizó el costo de las mezclas, buscando recomendar un porcentaje de reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural que genere variaciones no significativas en los costos y las resistencias a compresión a 28 días respecto a las mezclas patrón.

La investigación fue de tipo cuantitativa experimental, de nivel descriptivo, diseño experimental y enfoque cuantitativo. Se realizaron 12 ensayos en agregados, 40 ensayos en concreto en estado fresco y 426 ensayos en concreto en estado endurecido.

Se encontró que:

El agregado fino reciclado tenía más partículas finas que el agregado fino natural, aunque los valores de TM y TMN obtenidos para ambos agregados finos fueron iguales. Además, los valores de absorción y contenido de humedad obtenidos para el agregado fino reciclado fueron casi 4 veces los obtenidos para el agregado fino natural.

Mientras mayor fue el contenido de agregado fino reciclado en la mezcla, se obtuvieron mayores valores de asentamiento y contenido de aire; mientras que el peso unitario y los tiempos de fraguado (inicial y final) disminuyeron.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



A mayor contenido de agregado fino reciclado disminuyeron las resistencias. Sin embargo, estas disminuciones no fueron significativas para mezclas con hasta 25% de agregado fino reciclado.

Las mezclas con gran cantidad de agregado fino reciclado (porcentajes de reemplazo de 50% y 100%), sea que contengan aditivo superplastificante o no, cumplieron con la Ley de Abrams. Puesto que las resistencias a compresión a 28 días variaron de forma inversamente proporcional a la relación  $a/c$ .

Los costos disminuyeron poco. Sin embargo, el uso del agregado reciclado y aditivo superplastificante generó un buen margen de ahorro, a la par que elevó significativamente la resistencia a compresión a 28 días.

---

## ABSTRACT

This thesis studied the effect of using recycled fine aggregate (artificial aggregate obtained from demolitions that is transformed to obtain particles of a size similar to that of the sand particles) in the proportions of 10%, 25%, 50% and 100 % in medium to high strength concrete. The w/c ratios of 0.50, 0.45, and 0.40 were used to achieve target strength. A comparison was made between the compressive, tensile and flexural strengths obtained from the mix variants (which contain fine recycled aggregate) with respect to the strengths of the standard mixes (which only contain natural aggregates) of each w/c ratio.

The behavior of the variation of the compressive strength at 28 days in mixtures with replacement percentages of 50% and 100% of recycled fine aggregate by natural fine aggregate was also analyzed. Other mixture variants with superplasticizer additive were included in these mixtures. The objective of this was to see if mixtures with a high content of recycled fine aggregate can be correctly analyzed with Abrams' Law.

Finally, the cost of the mixes was analyzed, seeking to recommend a replacement percentage of recycled fine aggregate for natural fine aggregate that generates non-significant variations in costs and compressive strength at 28 days with respect to the standard mixes.

It was a quantitative experimental type research, descriptive level, experimental design and quantitative approach. 12 tests were carried out on aggregates, 40 tests on concrete in the fresh state and 426 tests on concrete in the hardened state.

It was concluded that:

The recycled fine aggregate had more fine particles than the natural fine aggregate, although the TM and TMN values obtained for both fine aggregates were the same. In addition, the absorption and moisture content values obtained for the recycled fine aggregate were almost 4 times those obtained for the natural fine aggregate.

The higher the recycled fine aggregate content in the mix, the higher the slump and air content values were obtained; while the unit weight and the setting times (initial and final) decreased.

The higher the content of recycled fine aggregate, the resistances decreased. However, these decreases were not significant for mixes with up to 25% recycled fine aggregate.

Mixtures with large amounts of recycled fine aggregate (50% and 100% replacement percentages), whether or not they contain superplasticizer additive, complied with Abrams Law. Since the compressive strengths at 28 days varied inversely proportional to the w/c ratio.

Costs have decreased little. However, the use of the recycled aggregate and superplasticizer additive generated a good margin of savings, at the same time that it significantly increased the compressive strength at 28 days.

## PRÓLOGO

La preservación del medio ambiente es de importancia global. Sin importar el tipo de industria, estas deben tratar de reducir (o de ser posible eliminar) los impactos negativos que generan. Esa importancia se ve plasmada, por ejemplo, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Uno de esos objetivos es el “Consumo y producción sostenible” que implica el uso eficiente de recursos naturales y una reducción en los residuos.

Así mismo, la industria de la construcción tiene como una de sus metas generar el menor impacto negativo posible en el medio ambiente. Naciendo así la idea del reúso y/o reciclaje del concreto. En ese aspecto, el concreto reciclado es de vital importancia; debido a que promueve a innovar y/o mejorar los diseños, reducir la explotación de recursos naturales y reducir contaminación por efectos del transporte.

Como beneficios se tienen el generar una reducción de la cantidad de desechos en vertederos y el pago asociado a este vertimiento, una reducción de costos de transporte en ciudades (debido a que las demoliciones se dan en lugares que en general son más cercanos que las zonas de donde se extraen los agregados naturales) y que los agregados reciclados son más económicos que los naturales pudiendo abaratar costos.

En el ámbito nacional se están aprobando leyes que promueven las construcciones sostenibles, en las cuales se debe usar materiales reciclados (que podrían ser los agregados). En julio de 2021 se publicaron, en El Peruano, la Ley de Desarrollo Urbano Sostenible y la creación del Código Técnico de Construcción Sostenible, donde se encuentran los requerimientos para que una edificación o una ciudad pueda ser denominada “sostenible”.

Esta denominación de “sostenible” tiene beneficios económicos como la reducción de los costos en servicios públicos debido al diseño sostenible, la facilidad de acceso a ciertos créditos dados por el Estado o entidades bancarias, un aumento del valor de la propiedad e incluso un bono de altura.

La presente tesis es una investigación acerca del uso de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia (a/c de 0.50, 0.45 y 0.40).

Mag. Ing. Carlos Alberto Villegas Martínez

---

**LISTA DE TABLAS**

<b>Tabla 1</b> Matriz de consistencia y operacionalización.....	36
<b>Tabla 2</b> Ensayo granulométrico del agregado fino natural. ....	46
<b>Tabla 3</b> Ensayo granulométrico del agregado grueso.....	48
<b>Tabla 4</b> Ensayo granulométrico del agregado fino reciclado.....	49
<b>Tabla 5</b> Módulo de fineza del Agregado fino natural. ....	50
<b>Tabla 6</b> Módulo de fineza del Agregado fino reciclado.....	51
<b>Tabla 7</b> Material fino que atraviesa la malla N° 200. ....	51
<b>Tabla 8</b> Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino natural.....	53
<b>Tabla 9</b> Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	54
<b>Tabla 10</b> Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino reciclado. ....	55
<b>Tabla 11</b> Resultado del ensayo de peso unitario del agregado fino natural. ....	56
<b>Tabla 12</b> Resultado del ensayo de peso unitario del agregado grueso. ....	58
<b>Tabla 13</b> Resultado del ensayo de peso unitario del agregado fino reciclado....	58
<b>Tabla 14</b> Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino natural.....	59
<b>Tabla 15</b> Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso. ....	59
<b>Tabla 16</b> Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino reciclado. ....	59
<b>Tabla 17</b> Resultado del ensayo de peso unitario compactado para combinaciones de agregados.....	61
<b>Tabla 18</b> Diseños patrón y sus variantes con agregado fino reciclado.....	67
<b>Tabla 19</b> Diseño de mezclas con aditivo superplastificante.....	68

<b>Tabla 20</b> Resultados del ensayo de asentamiento de concreto fresco.....	70
<b>Tabla 21</b> Resultados del ensayo de peso unitario de concreto fresco.....	72
<b>Tabla 22</b> Resultados del ensayo de contenido de aire en concreto fresco.....	74
<b>Tabla 23</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 0.....	76
<b>Tabla 24</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 10.....	77
<b>Tabla 25</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 25.....	78
<b>Tabla 26</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 50.....	79
<b>Tabla 27</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 100.....	80
<b>Tabla 28</b> Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal de los agregados.....	97
<b>Tabla 29</b> Peso específico y Absorción de los agregados.....	98
<b>Tabla 30</b> Peso unitario y Contenido de humedad de los agregados. ....	99
<b>Tabla 31</b> Asentamientos obtenidos y su variación porcentual. ....	100
<b>Tabla 32</b> Pesos Unitarios obtenidos y su variación porcentual.....	101
<b>Tabla 33</b> Contenidos de aire obtenidos y su variación porcentual.....	102
<b>Tabla 34</b> Tiempos de fraguado inicial y final según %AFR.....	103
<b>Tabla 35</b> Resistencia a compresión y su variación (a/c = 0.50).....	105
<b>Tabla 36</b> Resistencia a compresión y su variación (a/c = 0.45).....	106
<b>Tabla 37</b> Resistencia a compresión y su variación (a/c = 0.40).....	107
<b>Tabla 38</b> Comparación entre $f_c$ a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	108
<b>Tabla 39</b> Comparación entre $f_c$ a 7 días (%), para cada a/c. ....	109
<b>Tabla 40</b> Comparación entre $f_c$ a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	110
<b>Tabla 41</b> Comparación entre $f_c$ a 28 días (%), para cada a/c. ....	111
<b>Tabla 42</b> Resistencia a compresión para Relación a/c (%AFR = 50). ....	113

<b>Tabla 43</b> Resistencia a compresión para Relación a/c (%AFR = 100). .....	113
<b>Tabla 44</b> Resistencia a tracción y su variación (a/c = 0.50). .....	115
<b>Tabla 45</b> Resistencia a tracción y su variación (a/c = 0.45). .....	116
<b>Tabla 46</b> Resistencia a tracción y su variación (a/c = 0.40). .....	118
<b>Tabla 47</b> Comparación entre $f_t$ a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	119
<b>Tabla 48</b> Comparación entre $f_t$ a 7 días (%), para cada a/c. ....	120
<b>Tabla 49</b> Comparación entre $f_t$ a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	121
<b>Tabla 50</b> Comparación entre $f_t$ a 28 días (%), para cada a/c. ....	122
<b>Tabla 51</b> Resistencia a flexión y su variación (a/c = 0.50). ....	123
<b>Tabla 52</b> Resistencia a flexión y su variación (a/c = 0.45). ....	124
<b>Tabla 53</b> Resistencia a flexión y su variación (a/c = 0.40). ....	125
<b>Tabla 54</b> Comparación entre $M_r$ a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	126
<b>Tabla 55</b> Comparación entre $M_r$ a 7 días (%), para cada a/c. ....	128
<b>Tabla 56</b> Comparación entre $M_r$ a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c. ....	128
<b>Tabla 57</b> Comparación entre $M_r$ a 28 días (%), para cada a/c. ....	129
<b>Tabla 58</b> Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a compresión. .....	131
<b>Tabla 59</b> Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a tracción. .	132
<b>Tabla 60</b> Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a flexión. ...	134
<b>Tabla 61</b> Prueba de Homogeneidad de Levene a/c = 0.50. ....	135
<b>Tabla 62</b> Prueba de Homogeneidad de Levene a/c = 0.45. ....	136
<b>Tabla 63</b> Prueba de Homogeneidad de Levene a/c = 0.40. ....	136
<b>Tabla 64</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey a/c = 0.50. ....	138
<b>Tabla 65</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey a/c = 0.45. ....	139
<b>Tabla 66</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey a/c = 0.40. ....	140
<b>Tabla 67</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Kruskal-Wallis. ....	141
<b>Tabla 68</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell a/c = 0.50.	141

<b>Tabla 69</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell $a/c = 0.45$ .	142
<b>Tabla 70</b> Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell $a/c = 0.40$ .	142
<b>Tabla 71</b> Costo de materiales necesarios para mezcla de concreto. ....	143
<b>Tabla 72</b> Costo por kilogramo de los materiales necesarios para mezcla de concreto.....	144
<b>Tabla 73</b> Costo de los materiales para $1\text{m}^3$ de mezcla. ....	144
<b>Tabla 74</b> Costo de los agregados para $1\text{m}^3$ de mezcla.....	147
<b>Tabla 75</b> Costo para $1\text{m}^3$ de mezclas con 50% y 100% de AFR. ....	149
<b>Tabla 76</b> Comparación con costos de mercado. ....	153
<b>Tabla 77</b> Ensayo granulométrico del agregado global (máxima compacidad).	169
<b>Tabla 78</b> Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.50. ...	172
<b>Tabla 79</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.50. .	174
<b>Tabla 80</b> Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.45. ...	176
<b>Tabla 81</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.45. .	178
<b>Tabla 82</b> Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.40. ...	180
<b>Tabla 83</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.40. .	182
<b>Tabla 84</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 50. ....	184
<b>Tabla 85</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 100. ....	186
<b>Tabla 86</b> Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.50. ....	188
<b>Tabla 87</b> Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.50. ....	190
<b>Tabla 88</b> Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.45. ....	192
<b>Tabla 89</b> Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.45. ....	194
<b>Tabla 90</b> Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.40. ....	196
<b>Tabla 91</b> Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con $a/c$ de 0.40. ....	198
<b>Tabla 92</b> Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con $a/c$ de 0.50. ....	200



<b>Tabla 93</b>	Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.50. ....	202
<b>Tabla 94</b>	Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con a/c de 0.45. ....	204
<b>Tabla 95</b>	Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.45. ....	206
<b>Tabla 96</b>	Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con a/c de 0.40. ....	208
<b>Tabla 97</b>	Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.40. ....	210
<b>Tabla 98</b>	Estadísticos Descriptivos de los grupos de resultados. ....	212

---

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> Planta de producción del agregado reciclado.....	45
<b>Figura 2</b> Granulometría del agregado fino natural. ....	46
<b>Figura 3</b> Aparato para ensayo de granulometría de agregado fino. ....	47
<b>Figura 4</b> Material que pasa por cada tamiz del ensayo granulométrico del agregado fino natural. ....	47
<b>Figura 5</b> Granulometría del agregado grueso. ....	48
<b>Figura 6</b> Granulometría del agregado fino reciclado. ....	49
<b>Figura 7</b> Aparato para ensayo de granulometría de agregado grueso. ....	50
<b>Figura 8</b> Ensayo del material más fino que atraviesa la malla N°200. Operación de lavado del material. ....	52
<b>Figura 9</b> Ensayo del material más fino que atraviesa la malla N° 200. Peso seco de la muestra original. ....	52
<b>Figura 10</b> Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino. Peso de la muestra superficialmente seca N°1, el picnómetro y el agua. ....	54
<b>Figura 11</b> Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. Peso de la muestra sumergida en agua. ....	55
<b>Figura 12</b> Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino. Procedimiento de enrasado previo a pesar el recipiente con el agregado. ....	57
<b>Figura 13</b> Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino. Peso del recipiente y agregado de la muestra N°2. ....	57
<b>Figura 14</b> Ensayo de contenido de humedad de agregado fino reciclado. Peso de la muestra seca. ....	60
<b>Figura 15</b> Combinación de agregados para obtener su peso unitario compactado. ....	60
<b>Figura 16</b> Combinación de agregados por el método de máxima compacidad. ....	61
<b>Figura 17</b> Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50.....	70
<b>Figura 18</b> Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.45.....	71

<b>Figura 19</b> Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.40.....	71
<b>Figura 20</b> Ensayo de asentamiento. Medición. ....	72
<b>Figura 21</b> Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50.....	73
<b>Figura 22</b> Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.45.....	73
<b>Figura 23</b> Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.40.....	74
<b>Figura 24</b> Contenido de aire vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50. ....	75
<b>Figura 25</b> Aparato usado para medir el contenido de aire en concreto fresco...	75
<b>Figura 26</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 0.....	77
<b>Figura 27</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 10.....	78
<b>Figura 28</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 25.....	79
<b>Figura 29</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 50.....	80
<b>Figura 30</b> Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 100.....	81
<b>Figura 31</b> Especímenes cilíndricos y prismáticos. ....	82
<b>Figura 32</b> Aparato para ensayo de resistencia a compresión.....	85
<b>Figura 33</b> Medición de diámetro de un espécimen cilíndrico de 4"x8". ....	85
<b>Figura 34</b> Resistencia a compresión vs %AFR – a/c = 0.50.....	86
<b>Figura 35</b> Resistencia a compresión vs %AFR – a/c = 0.45.....	86
<b>Figura 36</b> Resistencia a compresión vs %AFR – a/c = 0.40.....	87
<b>Figura 37</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 50. ....	88
<b>Figura 38</b> Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 100. ....	88
<b>Figura 39</b> Aparato para ensayo de resistencia a tracción.....	89

<b>Figura 40</b> Medición de altura de un espécimen cilíndrico de 4"x8" .....	90
<b>Figura 41</b> Resistencia a tracción vs %AFR – a/c = 0.50.....	90
<b>Figura 42</b> Resistencia a tracción vs %AFR – a/c = 0.45.....	91
<b>Figura 43</b> Resistencia a tracción vs %AFR – a/c = 0.40.....	91
<b>Figura 44</b> Aparato para ensayo de resistencia a flexión.....	92
<b>Figura 45</b> Viga después del ensayo de resistencia a flexión. ....	93
<b>Figura 46</b> Ensayo de resistencia a flexión. Medición de la sección donde se produjo la rotura. ....	93
<b>Figura 47</b> Módulo de rotura vs %AFR – a/c = 0.50.....	94
<b>Figura 48</b> Módulo de rotura vs %AFR – a/c = 0.45.....	94
<b>Figura 49</b> Módulo de rotura vs %AFR – a/c = 0.40.....	95
<b>Figura 50</b> Granulometría del agregado fino natural y reciclado.....	96
<b>Figura 51</b> Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100).....	100
<b>Figura 52</b> Peso Unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100). ....	101
<b>Figura 53</b> Valores registrados de Resistencia a la penetración vs Tiempo.....	103
<b>Figura 54</b> Gráficas de Resistencia a la penetración vs Tiempo.....	104
<b>Figura 55</b> Variación de la Resistencia a compresión (a/c = 0.50). ....	105
<b>Figura 56</b> Variación de la Resistencia a compresión (a/c = 0.45). ....	106
<b>Figura 57</b> Variación de la Resistencia a compresión (a/c = 0.40). ....	108
<b>Figura 58</b> Comparación entre f'c a 7 días (kgf/cm <sup>2</sup> ), para cada a/c.....	109
<b>Figura 59</b> Comparación entre f'c a 7 días (%), para cada a/c. ....	110
<b>Figura 60</b> Comparación entre f'c a 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> ), para cada a/c.....	111
<b>Figura 61</b> Comparación entre f'c a 28 días (%), para cada a/c. ....	112
<b>Figura 62</b> Resistencia a compresión vs Relación a/c (%AFR = 50). ....	114
<b>Figura 63</b> Resistencia a compresión vs Relación a/c (%AFR = 100). ....	114
<b>Figura 64</b> Variación de la Resistencia a tracción (a/c = 0.50).....	115
<b>Figura 65</b> Variación de la Resistencia a tracción (a/c = 0.45).....	117

<b>Figura 66</b> Variación de la Resistencia a tracción ( $a/c = 0.40$ ).....	118
<b>Figura 67</b> Comparación entre $f_t$ a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada $a/c$ .....	119
<b>Figura 68</b> Comparación entre $f_t$ a 7 días (%), para cada $a/c$ .....	120
<b>Figura 69</b> Comparación entre $f_t$ a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada $a/c$ .....	121
<b>Figura 70</b> Comparación entre $f_t$ a 28 días (%), para cada $a/c$ .....	122
<b>Figura 71</b> Variación del Módulo de rotura ( $a/c = 0.50$ ).....	123
<b>Figura 72</b> Variación del Módulo de rotura ( $a/c = 0.45$ ).....	124
<b>Figura 73</b> Variación de la Resistencia a flexión ( $a/c = 0.40$ ).....	126
<b>Figura 74</b> Comparación entre $M_r$ a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada $a/c$ .....	127
<b>Figura 75</b> Comparación entre $M_r$ a 7 días (%), para cada $a/c$ .....	128
<b>Figura 76</b> Comparación entre $M_r$ a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada $a/c$ .....	129
<b>Figura 77</b> Comparación entre $M_r$ a 28 días (%), para cada $a/c$ .....	130
<b>Figura 78</b> Costo de materiales para $1\text{m}^3$ de mezcla.....	145
<b>Figura 79</b> Variación porcentual: Costos vs $f_c$ (materiales para $1\text{m}^3$ de mezcla). .....	146
<b>Figura 80</b> Costo de agregados para $1\text{m}^3$ de mezcla.....	148
<b>Figura 81</b> Variación porcentual: Costos vs $f_c$ (agregados para $1\text{m}^3$ de mezcla). .....	148
<b>Figura 82</b> Costo de mezclas con 50% de AFR.....	150
<b>Figura 83</b> Efecto del aditivo en Costos y $f_c$ (mezclas con %AFR = 50).....	151
<b>Figura 84</b> Costo de mezclas con 100% de AFR.....	151
<b>Figura 85</b> Efecto del aditivo en Costos y $f_c$ (mezclas con %AFR = 100).....	152
<b>Figura 86</b> Comparación entre costos de Tesis y CAPECO ( $a/c = 0.50$ ).....	154
<b>Figura 87</b> Comparación entre costos de Tesis y CAPECO ( $a/c = 0.45$ ).....	154
<b>Figura 88</b> Comparación entre costos de Tesis y CAPECO ( $a/c = 0.40$ ).....	155
<b>Figura 89</b> Tolva usada en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales (N°4).	166
<b>Figura 90</b> Granulometría del agregado global (máxima compacidad).....	169

<b>Figura 91</b> Comprobante de pago de agregados naturales. ....	215
<b>Figura 92</b> Comprobante de pago del cemento. ....	216
<b>Figura 93</b> Comprobante de pago del agregado fino reciclado. ....	217
<b>Figura 94</b> Comprobante de pago del aditivo superplastificante. ....	218

---

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

$\Delta$	:	Variación.
%AFR	:	Porcentaje de Agregado Fino Reciclado.
A	:	Ancho de espécimen.
A.295.3	:	Mezcla con a/c de 0.295 y %AFR de 50.
A.301.4	:	Mezcla con a/c de 0.301 y %AFR de 100.
A.303.3	:	Mezcla con a/c de 0.303 y %AFR de 50.
A.304.4	:	Mezcla con a/c de 0.304 y %AFR de 100.
A.305.3	:	Mezcla con a/c de 0.305 y %AFR de 50.
A.341.4	:	Mezcla con a/c de 0.341 y %AFR de 100.
ACHE	:	Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural.
ACI	:	Instituto Americano del Concreto.
AF	:	Agregado Fino.
AG	:	Agregado Grueso.
a/c	:	Relación agua cemento o agua cemento.
a/c <sub>0</sub>	:	Relación agua cemento inicial.
a/c <sub>1</sub>	:	Relación agua cemento final.
AFN	:	Agregado Fino Natural.
AFR	:	Agregado Fino Reciclado.
AGR	:	Agregado Grueso Reciclado.
ASTM	:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
C07.40.0	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
C07.40.1	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
C07.40.2	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
C07.40.3	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
C07.40.4	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

---

C28.40.0	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
C28.40.1	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
C28.40.2	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
C28.40.3	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
C28.40.4	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.
C07.45.0	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
C07.45.1	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
C07.45.2	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
C07.45.3	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
C07.45.4	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
C28.45.0	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
C28.45.1	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
C28.45.2	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
C28.45.3	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
C28.45.4	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
C07.50.0	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
C07.50.1	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
C07.50.2	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
C07.50.3	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.
C07.50.4	:	Compresión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.
C28.50.0	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
C28.50.1	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
C28.50.2	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
C28.50.3	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.
C28.50.4	:	Compresión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.
CAPECO	:	Cámara Peruana de Construcción.
C.G.	:	Código Generado.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



---

CSI	:	Iniciativa para la Sostenibilidad del Concreto.
D	:	Diámetro de espécimen.
F07.40.0	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
F07.40.1	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
F07.40.2	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
F07.40.3	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
F07.40.4	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.
F28.40.0	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
F28.40.1	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
F28.40.2	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
F28.40.3	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
F28.40.4	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.
F07.45.0	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
F07.45.1	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
F07.45.2	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
F07.45.3	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
F07.45.4	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
F28.45.0	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
F28.45.1	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
F28.45.2	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
F28.45.3	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
F28.45.4	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
F07.50.0	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
F07.50.1	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
F07.50.2	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
F07.50.3	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.
F07.50.4	:	Flexión a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

---

F28.50.0	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
F28.50.1	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
F28.50.2	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
F28.50.3	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.
F28.50.4	:	Flexión a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.
$f_c$	:	Resistencia a compresión.
$f_c$ prom.	:	Resistencia a compresión promedio.
$f_t$	:	Resistencia a tracción.
$f_t$ prom.	:	Resistencia a tracción promedio.
F	:	Fuerza de rotura registrada por la máquina de ensayo.
F.E.	:	Fecha de Ensayo.
F.V.	:	Fecha de Vaciado.
GCCA	:	Asociación Global de Cemento y Concreto.
G.L.	:	Grado de libertad.
H	:	Altura de espécimen.
Ha	:	Hipótesis alterna.
Ho	:	Hipótesis nula.
IGV	:	Impuesto General a las Ventas.
IMCYC	:	Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.
INDECOPI	:	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
K	:	Relación de esbeltez del espécimen.
L	:	Longitud de espécimen.
Mr	:	Módulo de rotura.
Mr prom.	:	Módulo de rotura promedio.
NTP	:	Norma Técnica Peruana.
OEFA	:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

---

PU	:	Peso Unitario.
PUC	:	Peso Unitario Compactado.
PUS	:	Peso Unitario Suelto.
T07.40.0	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
T07.40.1	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
T07.40.2	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
T07.40.3	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
T07.40.4	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.
T28.40.0	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 0.
T28.40.1	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 10.
T28.40.2	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 25.
T28.40.3	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 50.
T28.40.4	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.40 y %AFR de 100.
T07.45.0	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
T07.45.1	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
T07.45.2	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
T07.45.3	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
T07.45.4	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
T28.45.0	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 0.
T28.45.1	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 10.
T28.45.2	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 25.
T28.45.3	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 50.
T28.45.4	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.45 y %AFR de 100.
T07.50.0	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
T07.50.1	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
T07.50.2	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
T07.50.3	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

T07.50.4	:	Tracción a 7 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.
T28.50.0	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 0.
T28.50.1	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 10.
T28.50.2	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 25.
T28.50.3	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 50.
T28.50.4	:	Tracción a 28 días, para a/c de 0.50 y %AFR de 100.
TM	:	Tamaño Máximo.
TMN	:	Tamaño Máximo Nominal.
UNACEM	:	Unión Andina de Cementos.
UNICON	:	Unión de Concreteras S.A.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

En la actualidad el reúso y/o reciclaje de materiales de construcción se está promoviendo mediante normas, tanto en el ámbito nacional como internacional, puesto que a nivel global se busca disminuir el impacto negativo en el medio ambiente (GCCA, 2021); es así que, el uso de los agregados reciclados obtenidos a partir de demoliciones de estructuras de concreto toma relevancia.

Mediante el uso de estos materiales se logra disminuir el impacto negativo producido por la extracción de recursos naturales para ser usados como agregados para concreto; así como el impacto que se genera por la contaminación derivada por el transporte de todo ese material a obra, puesto que en muchos casos una demolición está más cerca que una cantera (CSI, 2009).

Respecto a lo económico; en esta investigación se encontró que el precio de los agregados reciclados puede representar solo el 20% del precio que tienen los agregados naturales y los costos de transporte disminuyen, en las ciudades, por la cercanía entre las demoliciones y las obras.

Los agregados se pueden dividir en agregados finos y gruesos (Abanto, 2017), en esta investigación se estudió el agregado fino obtenido de demoliciones (agregado fino reciclado) y su influencia en algunas de las propiedades del concreto. Además, se estudió el efecto del aditivo superplastificante en concretos con alto porcentaje de agregado fino reciclado.

Respecto a la disponibilidad de los agregados reciclados, si bien antes los investigadores obtenían sus propios agregados reciclados, actualmente hay empresas que se encargan de la producción de estos. Encargándose de obtener material de demolición de algunas estructuras, seleccionar los residuos en buen estado y triturarlos hasta obtener agregado reciclado, que de acuerdo al tamaño de las partículas se puede dividir en agregado fino reciclado o grueso reciclado.

En caso de que el uso de agregado fino reciclado en mezclas de concreto logre mantener sus estándares y requerimientos (como la resistencia a compresión, flexión y tracción), se podrá promover su uso y así contribuir con el cuidado y preservación del medio ambiente al promover el reciclaje y/o reúso; la investigación se enfocó en concretos de mediana a alta resistencia (relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50).

## 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel global, las actividades de construcción y demolición generan un billón de toneladas de residuos cada año, y apenas la octava parte de estos se reciclan. A nivel local, en Lima (Perú), en 2017 un artículo señaló que cada día se generan 19,000 toneladas de residuos producto de estas actividades; de esa cantidad de residuos el 70% termina en ríos o el mar, y solo el 30% termina en botaderos autorizados (Medina, 2022).

El Ministerio del Ambiente publicó, en 2020, un informe donde señaló que en el Perú hay 64 rellenos sanitarios y 7 celdas de seguridad, cantidad insuficiente en comparación con la cantidad de desechos que se produce en el país (Medina, 2022).

Además, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), tan solo en Lima hay 187 puntos críticos usados como botaderos informales; los cuales están conformados, en gran parte, por residuos producto de demoliciones u otras actividades del sector construcción (Chumpitaz, 2019).

Por otra parte, generalmente, los proyectos se diseñan enfocándose únicamente en la etapa de uso; etapa en la cual la contaminación, producto del consumo de energía, se da principalmente por el uso de combustibles y emisión de gases. Sin embargo, actividades como la extracción de materias primas o recursos naturales, el transporte de materiales, la construcción en sí, también tienen un impacto negativo en el medio ambiente (Fay et al., 2000).

Por lo mencionado anteriormente, la elaboración de un concreto con agregados reciclados cobra relevancia como una alternativa para disminuir los impactos negativos del sector construcción en el medio ambiente. Puesto que se reduciría la contaminación generada por actividades como la acumulación de residuos en vertederos, la explotación de canteras, el transporte de material, entre otros (CSI, 2009).

Ha habido investigaciones acerca del uso agregados reciclados; sin embargo, la mayoría de estos se enfocan a concretos de baja resistencia debido a que para ser usados para concreto estructural o de mediana a alta resistencia se prefiere un concreto convencional (con agregados naturales).

Entonces, la presente tesis fue una investigación acerca del uso de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia (usando relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50).

Así mismo, también se analizó la variación entre los costos de un concreto convencional y un concreto con reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado, para determinar si el uso de estos últimos es rentable.

### **1.3 PROBLEMAS DEL ESTUDIO**

#### **1.3.1 PROBLEMA GENERAL**

- ¿El reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado tendrá una influencia en las propiedades físico-mecánicas y el costo del concreto?

#### **1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál será el efecto de utilizar agregado fino reciclado en las propiedades físicas del concreto resultante?
- ¿Cuál será el efecto de utilizar agregado fino reciclado en las propiedades mecánicas del concreto resultante?
- ¿Cuál será la influencia en los costos del concreto al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado?

### **1.4 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar la influencia del uso de agregado fino reciclado (AFR) en las propiedades físico-mecánicas de concretos de mediana a alta resistencia, así como la variación en el costo del concreto resultante.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la variación de las propiedades físicas del concreto en estado fresco, como el asentamiento, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado, de un concreto patrón; cuando se reemplaza agregado fino natural por agregado fino reciclado (en porcentajes de 10%, 25%, 50% y 100%).
- Determinar la variación de las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, como la resistencia a compresión, tracción y flexión, de

un concreto patrón; cuando se reemplaza agregado fino natural por agregado fino reciclado (en porcentajes de 10%, 25%, 50% y 100%).

- Realizar un análisis del costo del concreto respecto al uso de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia.

## 1.5 HIPÓTESIS

### 1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

- El reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado, tendrá una influencia en las propiedades físico-mecánicas y el costo del concreto resultante.

### 1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Las propiedades físicas del concreto en estado fresco, como la resistencia el asentamiento, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado, varían al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.
- Las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, como la resistencia a compresión, tracción y flexión, varían al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.
- El costo del concreto varía cuando se reemplaza agregado fino natural por agregado fino reciclado, debe haber alguna tendencia con respecto a la variación de la resistencia a compresión.

## 1.6 MARCO METODOLÓGICO

### 1.6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo Cuantitativa experimental.

Respecto al tipo de investigación de acuerdo a los tipos de datos analizados, la investigación cuantitativa plantea que por medio de la recolección y análisis de datos se pueden responder interrogantes que ayuden a probar ciertas hipótesis de forma confiable. (Borja, 2012).

Respecto al tipo de investigación de acuerdo a la metodología para probar la hipótesis, la investigación experimental es aquella investigación en la cual las hipótesis se verifican por medio de una manipulación intencional de las variables por parte del investigador. (Borja, 2012).



La presente investigación fue, de acuerdo con el tipo de datos analizados, cuantitativa porque se recolectaron datos de distintos ensayos (realizados al concreto fresco y endurecido) que se analizaron para conocer la influencia del agregado fino reciclado en diversas propiedades y así poder establecer si las hipótesis planteadas se cumplían o no.

La presente investigación fue, de acuerdo con la metodología para probar las hipótesis, experimental porque se manipuló intencionalmente el porcentaje de agregado fino reciclado en las mezclas de concreto para saber si las hipótesis planteadas se cumplían o no.

### 1.6.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Respecto al nivel de investigación, Hernández et. al (2014) dijeron que una investigación de nivel descriptivo tiene como objetivo describir las tendencias de propiedades importantes de algún fenómeno que se analice en algún grupo o población.

La presente investigación fue de nivel descriptivo porque se buscó describir tendencias encontradas en algunas propiedades físicas y mecánicas de grupos de muestras de concreto (conformados por probetas y vigas) al realizar un reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural.

### 1.6.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Respecto al diseño de investigación, Hernández et. al (2014) dijeron que una investigación de diseño experimental necesita de una manipulación intencional de una o más variables independientes, buscando estudiar las consecuencias en una o más variables dependientes dentro de una situación de control.

El diseño de la presente investigación fue experimental porque se realizó una manipulación intencional de la variable independiente (agregados naturales y reciclados) para observar, describir y analizar las consecuencias (influencias o efectos), como lo fueron las variaciones de las propiedades (físicas y mecánicas) y los costos del concreto.

#### 1.6.4 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Hernández et. al (2014) dijeron que una investigación de enfoque cuantitativo emplea la recopilación de datos con el objetivo de probar hipótesis basándose en análisis estadísticos y mediciones numéricas.

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo porque se recolectaron datos (de diversas propiedades de los agregados y del concreto) con base en mediciones (realizadas manualmente o por medio de equipos, dependiendo del tipo de ensayo) y análisis estadísticos con el objeto de ver si las hipótesis planteadas se cumplían o no.

#### 1.6.5 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

La población viene a ser el conjunto de elementos que serán motivo de estudio (Borja, 2012), o también el grupo formado por todos los casos que coinciden en alguna o algunas características (Hernández et. al, 2014).

Entonces, para esta investigación la población fue el concreto de mediana a alta resistencia con agregados naturales y reciclados.

La muestra se obtiene de la población, definiendo una unidad del objetivo del estudio. Además, para una investigación se pueden tener varias muestras (Borja, 2012).

La muestra total, para cada tipo de ensayo, consistió en:

- Para ensayos físicos: 12 ensayos en agregados y 40 ensayos en concreto en estado fresco.
- Para ensayos mecánicos: 321 probetas y 105 vigas.

Los ensayos físicos realizados en los agregados fueron: granulometría, peso específico y absorción, PUS y PUC, y contenido de humedad. Estos se realizaron para los tres tipos de agregados usados (agregado fino natural, agregado grueso natural y agregado fino reciclado).

Los ensayos físicos realizados en concreto en estado fresco fueron: asentamiento, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado.

Los ensayos mecánicos realizados en concreto en estado endurecido (en mezclas sin aditivo superplastificante) fueron de resistencia a compresión, tracción y flexión. Estos ensayos se efectuaron a edades de 7 y 28 días.

Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron para las tres relaciones agua cemento, clasificándose según el porcentaje de reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado.

El único ensayo realizado en mezclas con aditivo superplastificante fue el de resistencia a compresión a 28 días. Estos resultados se clasificaron según la relación agua cemento de las mezclas.

Las probetas se elaboraron con moldes cilíndricos de 4"x8" (aproximado a 10x20cm) y las vigas con moldes prismáticos de 6"x6"x20" (aproximado a 15x15x50cm).

El procedimiento de muestreo se puede clasificar en dos tipos: probabilístico y no probabilístico. La diferencia radica en que en un muestreo probabilístico cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser escogido para la investigación, mientras que en un muestro no probabilístico los elementos escogidos para la investigación dependen del criterio del investigador (Borja, 2012).

Para esta investigación se hizo un muestreo de tipo no probabilístico (por conveniencia). Esto porque los elementos de la población no tuvieron la misma probabilidad de ser escogidos, los elementos escogidos se eligieron por criterio del investigador.

Por lo tanto, la presente investigación tuvo como población al concreto de mediana a alta resistencia con agregados naturales y reciclados. La muestra se clasificó de acuerdo al tipo de ensayo para el que fue elaborado (ensayos físicos y mecánicos), para el caso de los ensayos mecánicos en concreto en estado endurecido la muestra consistió en 321 probetas y 105 vigas. Además, el muestreo fue de tipo no probabilístico.

## **1.7 MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN**

De la sección 1.3 a la sección 1.5 se desarrollaron los problemas, objetivos e hipótesis de esta investigación; a continuación, se muestra la Tabla 1, que sintetiza esa información en la matriz de consistencia. La tabla 1 también muestra la matriz de operacionalización de las variables, sus dimensiones y sus indicadores.

Tabla 1

Matriz de consistencia y operacionalización.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN			METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	
¿El reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado tendrá una influencia en las propiedades físico-mecánicas y el costo del concreto?	Determinar la influencia del uso de agregado fino reciclado (AFR) en las propiedades físicas y mecánicas de concretos de mediana a alta resistencia.	El reemplazo de agregado fino natural por agregado fino reciclado, tendrá una influencia en las propiedades físico-mecánicas y el costo del concreto resultante.	VI1. Agregados naturales y reciclados.	%AFR en mezclas	Porcentaje (%)	<b>Tipo de Investigación:</b> Cuantitativa experimental.  <b>Nivel de investigación:</b> Descriptivo.  <b>Diseño de investigación:</b> Experimental.  <b>Enfoque de investigación:</b> Cuantitativo.  <b>Población:</b> Concreto con agregados naturales y reciclados.  <b>Muestra:</b> -Para ensayos físicos: Se hicieron 12 en agregados y 40 en concreto fresco. -Para ensayos mecánicos: 321 probetas y 105 vigas.  <b>Muestreo:</b> No probabilístico, por conveniencia.
				Granulometría	Porcentaje (%)	
				Peso Específico	$\text{g/cm}^3$	
				Absorción	Porcentaje (%)	
				Peso Unitario	$\text{kg/m}^3$	
				Contenido de humedad	Porcentaje (%)	
Máxima compacidad de agregados	Porcentaje (%)					
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	
1. ¿Cuál será el efecto de utilizar agregado fino reciclado en las propiedades físicas del concreto resultante?	1. Determinar la variación de las propiedades físicas del concreto en estado fresco, como el asentamiento, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado, al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.	1. Las propiedades físicas del concreto en estado fresco, como la resistencia el asentamiento, peso unitario, contenido de aire y tiempo de fraguado, varían al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.	VD1. Propiedades físicas, mecánicas y comparación entre costos y resistencias a compresión a 28 días del concreto, con agregados naturales y reciclados.	Asentamiento	Pulgadas (")	
				Peso Unitario	$\text{kg/m}^3$	
				Contenido de aire	Porcentaje (%)	
2. ¿Cuál será el efecto de utilizar agregado fino reciclado en las propiedades mecánicas del concreto resultante?	2. Determinar la variación de las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, como la resistencia a compresión, tracción y flexión, al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.	2. Las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido, como la resistencia a compresión, tracción y flexión, varían al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado.		Tiempo de fraguado	Minutos (min)	
				Resistencia a compresión	$\text{kgf/cm}^2$	
				Resistencia a tracción	$\text{kgf/cm}^2$	
3. ¿Cuál será la influencia en los costos de concretos al reemplazar agregado fino natural por agregado fino reciclado?	3. Realizar un análisis del costo del concreto respecto al uso de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia.	3. El costo del concreto varía cuando se reemplaza agregado fino natural por agregado fino reciclado, debe haber alguna tendencia con respecto a la variación de la resistencia a compresión.		Resistencia a flexión	$\text{kgf/cm}^2$	
				Costo unitario	Nuevos soles (S/.)	

Nota 1. En este trabajo se hizo un reemplazo parcial (10%, 25% y 50%) y total (100%) de agregado fino natural por agregado fino reciclado.

Nota 2. En mezclas con aditivo superplastificante solo se reemplazó el agregado fino natural por agregado fino reciclado en porcentajes 50% y 100%.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

## 1.8 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

### 1.8.1 ANTECEDENTES NACIONALES

Ponce (2014), en su tesis “Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I”, analizó el uso de agregados finos y gruesos de concreto reciclado (obtenidos de triturar probetas cilíndricas de concreto) para un slump de 3” a 4” comparándolo con un concreto preparado con agregados naturales. Usando cemento Sol tipo 1, preparó concreto con agregados naturales para relaciones a/c de 0.80, 0.70 y 0.60 y concreto con agregados reciclados para relaciones a/c de 0.87, 0.77 y 0.66. Respecto al peso volumétrico, los resultados de sus ensayos mostraron que el del concreto con agregados reciclados tiene un valor 8% menor que el concreto con agregados naturales (concreto patrón). Además, para el concreto patrón obtuvo resistencias a compresión de 202 kg/cm<sup>2</sup>, 258 kg/cm<sup>2</sup> y 313 kg/cm<sup>2</sup> (para relaciones a/c de 0.80, 0.70 y 0.60 respectivamente) a los 28 días, y usando los agregados reciclados obtuvo resistencias a compresión de 196 kg/cm<sup>2</sup>, 238 kg/cm<sup>2</sup> y 266 kg/cm<sup>2</sup> (para relaciones a/c de 0.87, 0.77 y 0.66 respectivamente) a los 28 días, lo que implica una disminución de dicha resistencia de hasta 14.9%. Respecto a la variación de la resistencia a tracción a los 28 días, obtuvo resultados similares, encontrando que el concreto con agregados reciclados tiene un valor 14% menor que el del concreto con agregados naturales.

Caycho y Espinoza (2019), en su tesis “Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año-2019”; realizaron su investigación con el objetivo de determinar una mezcla de concreto con agregado grueso reciclado (AGR) que optimice las propiedades del concreto reciclado, analizaron mezclas de concreto con 5 distintos porcentajes de AGR (0%, 25%, 50%, 75% y 100%) a los que se les hizo ensayos de compresión, tracción y flexión; concluyeron que a mayor porcentaje de agregado grueso reciclado usado, las resistencias a compresión, tracción y flexión disminuyen; sin embargo, también concluyeron que la mezcla que optimiza las propiedades del concreto es una mezcla con 25% de AGR debido a que se obtienen resistencias similares al diseño patrón (uso exclusivo de agregado natural, es decir, 0% de AGR). El caso más crítico que tuvieron fue al usar 100% de agregado grueso reciclado, en el cual las resistencias a los ensayos antes mencionados disminuyeron en 16% (en promedio) con respecto a las resistencias

obtenidas por el diseño patrón, es decir usando 0% de agregado grueso reciclado (estos resultados los obtuvieron para una relación a/c de 0.53). Cabe mencionar que usaron  $f'c$  mayores o iguales a 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Chumán y Rivas (2020), en su tesis “Aditivos plastificantes a base de policarboxilatos para mejorar las propiedades físico – mecánicas del concreto fluido”, usaron aditivo superplastificante de policarboxilato para ver cómo se logra mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto, para distintas relaciones a/c entre 0.25 y 0.45 usaron dosificaciones del aditivo de 0.07%, 0.09%, 0.11%, 0.13% y 0.15% del peso del cemento; obtuvieron una mejora en la resistencia a la compresión de 42% con dosis de 0.30% de aditivo para una relación a/c de 0.37 y una mejora de 54% en la resistencia a la flexión con dosis de 0.40% de aditivo para una relación a/c de 0.40. Además, concluyeron que el aditivo superplastificante a base de policarboxilato genera mayor trabajabilidad y su buena capacidad plastificante permite una alta reducción de agua, permitiendo reducir la relación a/c y así genera un incremento de la resistencia a compresión. Señalaron que una dosis óptima del aditivo se encontraba entre 0.2% y 0.7% (porcentaje que varía dependiendo de la relación a/c) y que dosis altas de aditivo (a las que denominan “sobredosis”, y se refieren a dosis que superan la dosis de saturación) son desfavorables para la resistencia del concreto. Esa importancia de la dosis de aditivo a usar se ve reflejada en los valores mínimos de resistencia que obtuvieron; puesto que el mínimo valor de resistencia a compresión fue obtenido con una dosis de 1% de aditivo, y en el caso de la resistencia a flexión obtuvieron el máximo valor con una dosis de 0.4% de aditivo, mientras que el mínimo valor lo obtuvieron con una dosis de 0.5% (tan solo 0.1% más de aditivo respecto a la dosificación del máximo valor).

### 1.8.2 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Domingo, Pelufo, Serna, Ulloa y Vergara (2007) en su investigación “Uso de los residuos de construcción y demolición en la fabricación de hormigón, para uso estructural”; analizaron el uso de agregado grueso reciclado (AGR) en concreto estructural para distintos porcentajes de AGR a los que se analizaron propiedades físicas y mecánicas; cabe mencionar que usaron aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad, el cual se usó en dosis de porcentaje que variaron desde 0.7% hasta 1.6% (conforme era mayor el porcentaje de sustitución de agregado reciclado, se fue aumentando el porcentaje

---

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA”**

de aditivo) dependiendo de la trabajabilidad de la mezcla. Los valores promedio de densidad a los 28 días fueron de 2.37 gr/cm<sup>3</sup>, 2.36 gr/cm<sup>3</sup>, 2.35 gr/cm<sup>3</sup> y 2.33 gr/cm<sup>3</sup> para porcentajes de sustitución de agregado reciclado de 0%, 20%, 50% y 100% respectivamente; los valores promedio de resistencia a compresión a los 28 días que obtuvieron fueron 589 kg/cm<sup>2</sup>, 534 kg/cm<sup>2</sup>, 581 kg/cm<sup>2</sup> y 565 kg/cm<sup>2</sup> para porcentajes de sustitución de agregado reciclado de 0%, 20%, 50% y 100% respectivamente y los valores de resistencia a tracción a los 28 días para relaciones a/c de 0.65 a 0.40 estaban entre los valores de 2.4 MPa y 2.5 MPa. Concluyeron que los concretos que contenían hasta un 20% de agregado grueso reciclado tenían un comportamiento similar (en aspectos como trabajabilidad, densidad, y resistencia a compresión y tracción) que el de concreto convencional. Además, mencionaron que los concretos que contenían un 100% de agregado grueso reciclado mantenían la calidad exigida al concreto, aunque también señalaron que deben de hacerse estudios comparativos acerca de la durabilidad entre agregado reciclado y natural.

Eguchi, Teranishi, Nakagome, Kishimoto, Shinozaki y Narikawa (2007) en su investigación “Aplicación de agregado grueso reciclado en mezcla para construcción de concreto” desarrollaron un nuevo método de producción de concreto reciclado, buscando mejorar el método que dio el Ministerio de Construcción de Japón en 1996, analizando diferentes características del concreto obtenido como rendimiento estructural, resistencia al fuego y trabajabilidad. Concluyeron que la resistencia al fuego y trabajabilidad de concretos reciclados están a la par de concreto ordinario. Otra conclusión a la que llegaron es que, si bien la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad disminuyen en aproximadamente 8% y 16% respectivamente (diferencia de valores obtenidos entre un concreto con una proporción de reemplazo de concreto reciclado de 30% y otro de 100%), es posible estimar el porcentaje de reemplazo de concreto reciclado para garantizar la calidad requerida por el concreto. También señalaron que el proceso de trituración debe ser cuidadoso debido a que se podría generar morfología indeseable en los agregados obtenidos, pudiendo tener formas alargadas y/o semicirculares que no contribuyen a una mezcla homogénea. Así mismo, concluyeron que en comparación con la construcción que usa exclusivamente concreto ordinario, una construcción que use concreto reciclado puede reducir su costo y el efecto que provoca en el medio ambiente.

Kou, Poon y Wan (2012) en su trabajo “Propiedades de concreto preparado con agregados reciclados de baja calidad” analizaron propiedades mecánicas y de durabilidad de concreto preparado con agregado natural, dos tipos de agregado reciclado de baja calidad y un agregado comercial reciclado. Concluyeron que la resistencia a compresión a los 28 días de un concreto con agregado reciclado de baja calidad era menor que la de los concretos que contenían agregado reciclado comercial y agregado natural. También concluyeron que la resistencia a la tracción a los 90 días de concreto que contenía una cantidad de agregado reciclado de baja calidad de entre 25% y 50% era mayor que la del concreto con agregado natural a los 28 días. Comparando la resistencia del concreto primario (o concreto de origen) y la de los agregados reciclados obtenidos de estos, señalaron que la calidad y propiedades de estos agregados reciclados dependerá de su origen (la calidad del concreto primario), es decir que mientras mejor sea el concreto primario, mejor será el agregado reciclado obtenido de dicho concreto (para su investigación usaron una relación a/c de 0.55 y una cantidad de cemento constante de 410 kg/m<sup>3</sup>). Entre otros resultados obtuvieron que, a mayor contenido de agregado reciclado, la resistencia del concreto resultante disminuyó.

Por lo tanto, las primeras investigaciones acerca de los agregados reciclados se enfocaban en analizar el proceso de producción de estos (como Eguchi et. al en 2007 o Kou et. al en 2012) con el objetivo de mejorar su calidad. Esas investigaciones ayudaron a establecer un proceso de producción caracterizado por darle especial importancia al proceso de selección del material de demoliciones a reciclar y al proceso de trituración que se debía seguir.

Con agregados reciclados de buena calidad las investigaciones se centraron en ver si el concreto podía mantener las mismas exigencias que un concreto elaborado con agregados naturales. Se hizo trabajos acerca de su uso para elaborar concretos de mediana a baja resistencia (como Ponce en 2014) y trabajos acerca de su uso añadiendo aditivo superplastificante para elaborar concretos estructurales (como Domingo et. al en 2007).

Los avances tecnológicos y el apoyo de los gobiernos (promoviendo su uso mediante normas) permitieron que la producción de estos agregados reciclados se pueda dar de forma masiva. Si bien no fue el caso de Perú, en otros países cuentan con una normativa bien definida acerca de como usar estos



agregados en mezcla para asfalto o concreto (como el Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México en 2020) que abarca desde el proceso de recolección del material de demoliciones, el transporte, la selección y el posible uso que se le puede dar de acuerdo a sus características.

Entonces, siguiendo el camino trazado por trabajos anteriores, en esta investigación se estudió el uso de los agregados reciclados (reemplazando el agregado fino natural por agregado fino reciclado en proporciones de 10%, 25%, 50% y 100%) para elaborar concretos de mediana a alta resistencia. También se hicieron algunas mezclas con aditivo superplastificante donde el porcentaje de reemplazo del agregado fino natural por agregado fino reciclado fue de 50% y 100%. Además, se analizó el costo del concreto al usar el agregado fino reciclado en reemplazo del agregado fino natural.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 CONCRETO**

Según INDECOPI (2021), en la NTP 339.047, el concreto es la mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En el concreto normal, los materiales aglomerantes son el agua y el cemento Portland, aunque también pueden contener puzolanas, escorias y/o aditivos.

### **2.2 CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA**

Para definir este tipo de concreto, del que trata la presente tesis, se describe la clasificación del concreto por su resistencia (a compresión).

Elizondo (2013) presentó una clasificación brindada por el IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.), la cual indica que un concreto de baja resistencia es aquel que tiene resistencias a compresión menores a 20 MPa (204 kgf/cm<sup>2</sup>), un concreto de resistencia moderada es aquel que tiene una resistencia a compresión cuyo valor va desde los 20 MPa hasta los 40 MPa (204 hasta los 408 kgf/cm<sup>2</sup>) y un concreto de alta resistencia es aquel que tiene una resistencia a compresión mayor a los 40 MPa (408 kgf/cm<sup>2</sup>).

Entonces, se desprendió que un concreto de mediana a alta resistencia será aquel concreto cuyas resistencias a compresión van desde 204 kgf/cm<sup>2</sup> hasta valores mayores, pero cercanos, a los 408 kgf/cm<sup>2</sup>.

### **2.3 CONCRETO RECICLADO**

INDECOPI (1999), en la NTP 400.053, estableció que este concreto es el que está conformado por agregados que se hayan originado, de forma parcial o por completo, de granulados de concreto, gravas y/o arenas de reciclaje.

Así mismo, también estableció que el granulado de concreto es un producto de las demoliciones (de concreto y mortero); el cual pasa por un tratamiento de forma que se pueda obtener un material cuyas partículas tengan el tamaño aproximado al de los agregados.

### **2.4 AGREGADO RECICLADO**

Si bien no existe una definición para este término en la normativa peruana; según la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal (2020), de la norma mexicana Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México, se desprende que un

agregado reciclado es un residuo de actividades como la construcción y la demolición que pasa por un proceso de transformación para poder ser reutilizado.

En este trabajo se usó agregado fino reciclado, obtenido del producto de demoliciones que pasaron por un proceso de transformación hasta obtener partículas de un tamaño similar o aproximado al de las partículas de la arena.

## **2.5 RELACIÓN AGUA CEMENTO**

De acuerdo a INDECOPI (2021), en la NTP 339.047, se desprende que una mezcla de concreto, mortero o grout está conformada por cierta masa de agua y cemento. Al cociente que se obtiene de dividir la masa de agua entre la cantidad en masa de cemento Portland se le denomina relación agua cemento. Este valor normalmente se expresa en forma decimal y puede servir como indicador de la resistencia del concreto puesto que mientras su valor sea más pequeño, mayor será la resistencia del concreto.

## **2.6 ENSAYO DE COMPRESIÓN**

INDECOPI (2021), en la NTP 339.034, estableció que este ensayo consiste en la aplicación de una carga axial a los cilindros a una velocidad que esté contenida en un rango específico ( $0.25 \pm 0.05$  MPa/s) hasta que se produzca la falla. Se registra la carga máxima obtenida al realizar el ensayo, que al dividirla entre el área de la sección transversal del cilindro se obtendrá la resistencia a compresión.

La norma también indicó los requisitos que deben tener los aparatos y los especímenes empleados para este método de ensayo, como por ejemplo que las muestras a ensayar deben estar en condición húmeda. Además, la norma menciona la tolerancia permisible respecto a cada edad de ensayo de los cilindros, indicando que para 7 días y 28 días las tolerancias serán de  $\pm 6$  horas y  $\pm 20$  horas respectivamente.

## **2.7 ENSAYO DE TRACCIÓN**

INDECOPI (2012), en la NTP 339.084, estableció que este ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión diametral a lo largo de toda la longitud del espécimen cilíndrico a una velocidad que esté contenida en un rango específico (0.7 MPa/min a 1.4 MPa/min) hasta que se produzca la falla. Se registra la carga máxima obtenida al realizar el ensayo, que al dividirla por un

factor geométrico apropiado se obtendrá la resistencia a la tracción por compresión diametral.

La norma también indicó que para el procedimiento del ensayo se deben seguir aspectos como el marcado de los especímenes, las mediciones a realizar a los especímenes y la ubicación de estos usando las líneas diametrales marcadas.

## **2.8 ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

INDECOPI (2012), en la NTP 339.078, estableció que este ensayo consiste en la aplicación de una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que esta falle. Dependiendo si la falla se encuentra ubicada dentro del tercio medio de la viga o a una distancia de éste que no sea mayor al 5% de la luz libre, se deberá seguir un procedimiento de cálculo para obtener el módulo de rotura.

La norma también indicó los requerimientos de los aparatos usados en el ensayo y de los especímenes, así como el procedimiento de medición de las muestras después del ensayo.

## CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales, se usó una tolva para almacenar los materiales (Anexo N°01). La constancia otorgada por el laboratorio se muestra en el Anexo N°02.

### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

#### 3.1.1 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS

El agregado fino (arena) se obtuvo de la cantera de Trapiche y el agregado grueso (piedra) de la cantera de UNICON.

El agregado reciclado se compró de la empresa Construcciones Ecológicas, en esta investigación se usó agregado fino reciclado, que la empresa lo vendió como arena gruesa. La descripción que ofreció la empresa acerca de este producto es que es un agregado ecológico, el cual es obtenido por trituración de concreto reciclado. El Anexo N°03 muestra la ficha técnica de este producto.

La Figura 1 es una foto de la planta de producción del agregado reciclado donde se puede ver todo el material de demoliciones listo para ser triturado, al fondo a la izquierda se ve cómo va cayendo el agregado reciclado obtenido.



**Figura 1** Planta de producción del agregado reciclado.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS

Los ensayos para obtener la granulometría de los agregados se realizaron siguiendo los requisitos exigidos por la NTP 400.012:2021 "AGREGADOS.

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4ª Edición” y la NTP 400.037:2021 “AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5ª Edición”.

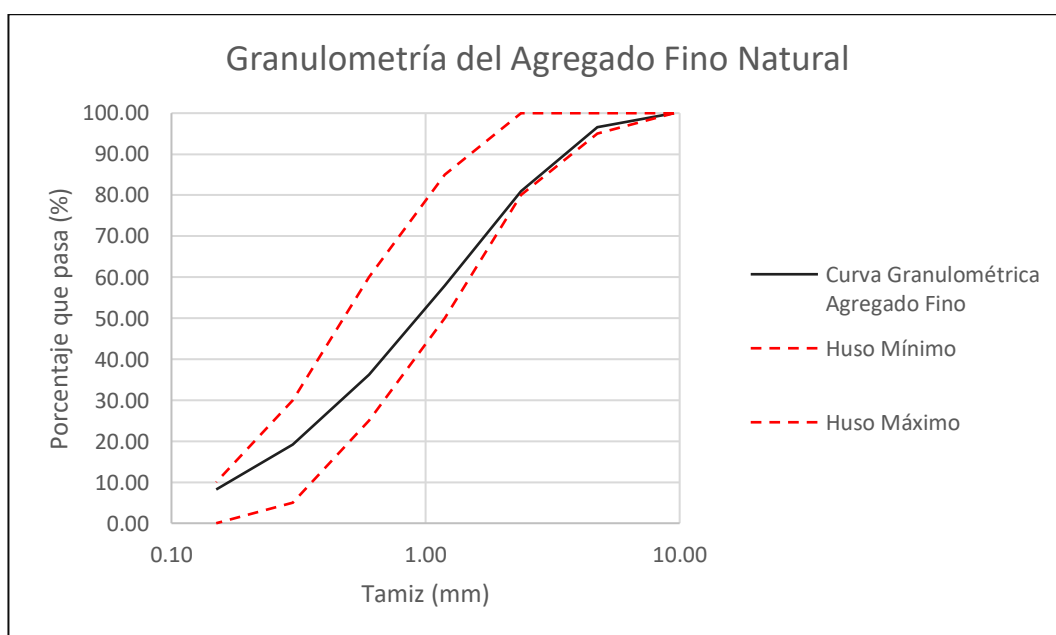
En la presente investigación se hizo este ensayo para los agregados naturales (fino y grueso) y el agregado fino reciclado. Los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino natural se muestran en la Tabla 2 y Figura 2.

**Tabla 2**

Ensayo granulométrico del agregado fino natural.

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO NATURAL				
TAMIZ mm (pulg)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
9.50 3/8"	0.00	0.00	100.00	100
4.75 N°4	3.47	3.47	96.53	95 - 100
2.38 N°8	15.60	19.07	80.93	80 - 100
1.19 N°16	23.03	42.10	57.90	50 - 85
0.60 N°30	21.62	63.72	36.28	25 - 60
0.30 N°50	17.15	80.87	19.13	5 - 30
0.15 N°100	10.90	91.77	8.23	0 - 10
FONDO	8.23	100.00	0.00	0 - 3

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 2** Granulometría del agregado fino natural.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA”

La NTP 400.037:2021 presenta el requerimiento de granulometría para agregado fino; esos límites establecidos son el huso que está representado por líneas rojas punteadas en la Figura 2.

La Figura 3 muestra el aparato donde se realizó el ensayo de granulometría del agregado fino, en este aparato se colocan los tamices ordenados de mayor a menor diámetro (desde arriba hacia abajo) con la muestra en el tamiz superior, el aparato vibra y las partículas se van reteniendo en los tamices de acuerdo a su tamaño. La Figura 4 muestra el material retenido en cada tamiz una vez terminado el ensayo, ordenado de mayor a menor tamaño del material (de izquierda a derecha).



**Figura 3** Aparato para ensayo de granulometría de agregado fino.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4** Material que pasa por cada tamiz del ensayo granulométrico del agregado fino natural.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de granulometría del agregado grueso se muestran en la Tabla 3 y Figura 5. La NTP 400.037:2021 presenta los requisitos granulométricos para agregado grueso; esos límites establecidos son el huso que

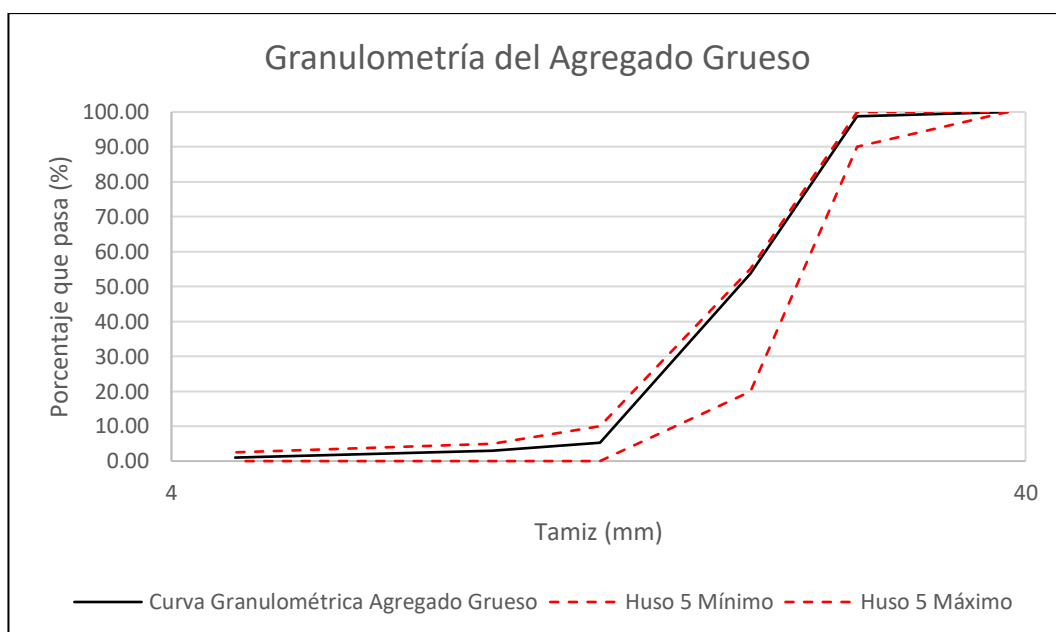
está representado por líneas rojas punteadas en la Figura 5. Cabe mencionar que en la norma hay varios husos, el escogido fue el Huso 5.

**Tabla 3**

Ensayo granulométrico del agregado grueso.

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO					
TAMIZ		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
mm	(pulg)				
38.10	1 1/2"	0.00	0.00	100.00	100
25.40	1"	1.16	1.16	98.84	90 - 100
19.05	3/4"	45.17	46.33	53.67	20 - 55
12.70	1/2"	48.35	94.68	5.32	0 - 10
9.50	3/8"	2.28	96.96	3.04	0 - 5
4.75	N°4	2.04	99.00	1.00	
FONDO		1.00	100.00	0.00	

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5** Granulometría del agregado grueso.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del agregado fino reciclado, su tratamiento fue de forma similar al agregado fino natural. Se usó el requerimiento contenido en la NTP 400.037:2021; los límites establecidos son el huso que está representado por líneas rojas punteadas en la Figura 6. Los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino reciclado se muestran en la Tabla 4 y Figura 6.

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

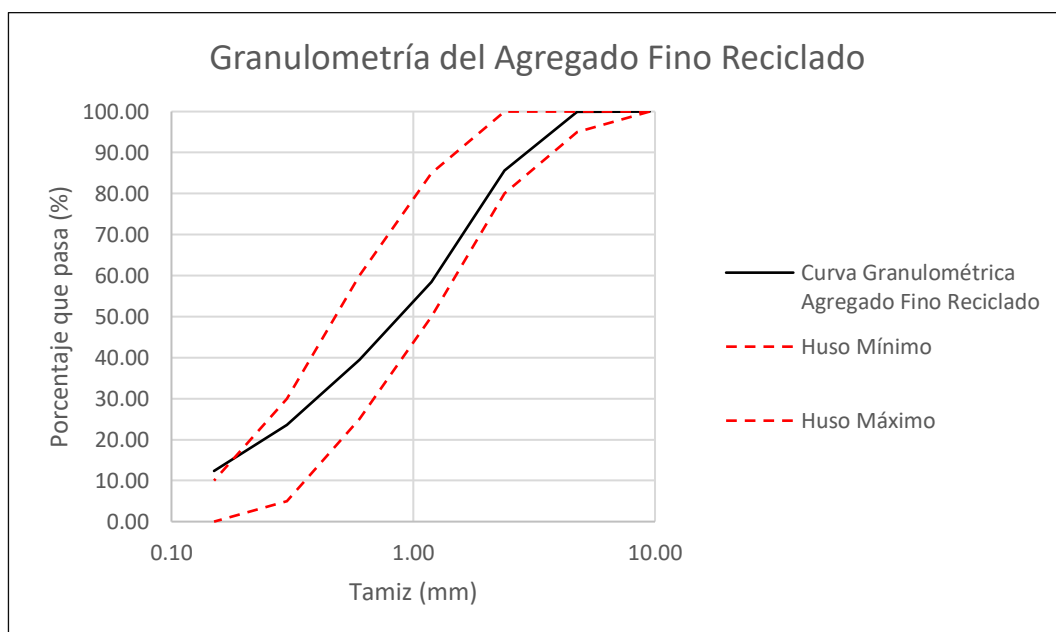


**Tabla 4**

Ensayo granulométrico del agregado fino reciclado.

<b>ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO RECICLADO</b>					
TAMIZ		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	% Que Pasa HUSO ASTM
mm	(pulg)				
9.50	3/8"	0.00	0.00	100.00	100
4.75	N°4	0.03	0.03	99.97	95 - 100
2.38	N°8	14.37	14.40	85.60	80 - 100
1.19	N°16	27.17	41.57	58.43	50 - 85
0.60	N°30	18.94	60.50	39.50	25 - 60
0.30	N°50	15.95	76.45	23.55	5 - 30
0.15	N°100	11.20	87.64	12.36	0 - 10
FONDO		12.36	100.00	0.00	0 - 3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6** Granulometría del agregado fino reciclado.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 muestra el aparato donde se realizó el ensayo de granulometría del agregado grueso, en este aparato se colocan los tamices ordenados de mayor a menor tamaño de abertura (desde arriba hacia abajo) con la muestra en el tamiz superior, el aparato vibra y las partículas se van reteniendo en los tamices de acuerdo a su tamaño.



**Figura 7** Aparato para ensayo de granulometría de agregado grueso.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de granulometría de los agregados fino natural y fino reciclado obtenidos, se pudo calcular el módulo de fineza (o finura) de los agregados naturales. El procedimiento para calcularlo está descrito en la NTP 400.012:2021 "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global". El módulo de fineza del agregado fino natural y del agregado fino reciclado se encuentran en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

**Tabla 5**

Módulo de fineza del Agregado fino natural.

<b>MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO NATURAL</b>		
Malla	% Retenido	%Retenido Acumulado
3/8"	0.00	0.00
N°4	3.47	3.47
N°8	15.60	19.07
N°16	23.03	42.10
N°30	21.62	63.72
N°50	17.15	80.87
N°100	10.90	91.77
	SUMA =	301.00
<b>Módulo de Fineza del Agregado Fino Natural</b>		<b>3.01</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

**Tabla 6**

Módulo de fineza del Agregado fino reciclado.

<b>MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO RECICLADO</b>		
Malla	% Retenido	%Retenido Acumulado
3/8"	0.00	0.00
N°4	0.03	0.03
N°8	14.37	14.40
N°16	27.17	41.57
N°30	18.94	60.50
N°50	15.95	76.45
N°100	11.20	87.64
	SUMA =	280.60
<b>Módulo de Fineza del Agregado Fino Reciclado</b>		<b>2.81</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Además, la NTP 400.037:2021, menciona que respecto al requerimiento de la granulometría del agregado fino reciclado (o artificial), se debe conocer la cantidad de material fino que atraviesa el tamiz N° 200 (0.075mm o 75  $\mu$ m).

El procedimiento a seguir está en la NTP 400.018:2020 "AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4ª Edición". Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7**

Material fino que atraviesa la malla N° 200.

<b>MATERIAL FINO QUE ATRAVIESA LA MALLA N°200</b>	
Masa seca de la muestra original (g):	500.00
Masa seca de la muestra luego del lavado (g):	486.50
<b>Material fino que atraviesa la malla N°200 (%):</b>	<b>2.70</b>

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que, en la operación de lavado, que es parte del procedimiento de este ensayo, solo se usó agua (no se usó agente dispersante alguno). La Figura 8 muestra cómo se realizó la operación de lavado del agregado.

El procedimiento de este ensayo radica en tener una muestra original seca con peso conocido, la que pasará por un proceso de lavado manual (como se

muestra en la Figura 8) que consiste en lavar la muestra en agua e ir decantando el material suspendido en el agua de lavado en el tamiz de malla N°200. Se repite este proceso hasta ver que el agua de lavado esté clara; es decir, que no haya material suspendido. Entonces, se recupera el material atrapado en la malla N°200, el cual se junta con la muestra lavada. Se lleva al horno y así se obtiene el peso seco de la muestra luego del lavado.



**Figura 8** Ensayo del material más fino que atraviesa la malla N°200. Operación de lavado del material.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 muestra el peso seco de material original (500 gramos) usado para este ensayo.



**Figura 9** Ensayo del material más fino que atraviesa la malla N° 200. Peso seco de la muestra original.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

### 3.1.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

El procedimiento de estos ensayos se realizó según los requerimientos mencionados en la NTP 400.022:2021 “AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Edición” y la NTP 400.021:2020 “AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. 4ª Edición”.

En la presente investigación se hizo estos ensayos para los agregados naturales (fino y grueso) y el agregado fino reciclado. Los resultados de los ensayos de Peso específico y Absorción de los agregados se muestran de la siguiente forma. Del agregado fino natural se muestran en la Tabla 8, del agregado grueso en la Tabla 9 y del agregado fino reciclado en la Tabla 10.

**Tabla 8**

Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino natural.

<b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO NATURAL</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra superficialmente seca (g)		500.0	500.0	500.0
Peso de la muestra superficialmente seca + picnómetro + agua (g)		1003.0	1003.8	997.5
Peso del picnómetro (g)			193.7	
Peso del agua (g)		309.3	310.1	303.8
Peso de la muestra seca al horno (g)		489.4	490.5	489.4
Volumen del picnómetro (ml)			500.0	
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.55</b>	
<b>Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.60</b>	
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.69</b>	
<b>Absorción (%)</b>			<b>2.09</b>	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 10 muestra un paso del procedimiento del ensayo, el cual consiste en pesar los 500 gramos de muestra superficialmente seca (ya sumergida en agua), el picnómetro (cuyo peso y volumen son conocidos) y el agua. Luego este material fue vertido en un recipiente para llevarlo al horno y obtener el peso de la muestra seca al horno.



**Figura 10** Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino. Peso de la muestra superficialmente seca N°1, el picnómetro y el agua.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9**

Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

<b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra secada al horno (kg)		4.96	4.95	4.95
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (kg)		5.00	5.00	5.00
Peso de la muestra sumergida en agua (kg)		3.17	3.17	3.16
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.70</b>	
<b>Peso específico de masa saturado superficialmente seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.73</b>	
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.77</b>	
<b>Absorción (%)</b>			<b>0.92</b>	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 11 muestra un paso del procedimiento del ensayo, el cual consiste en pesar la muestra saturada superficialmente seca sumergida en agua. Para esto se puso el material en una canastilla que va sujeta de la balanza, el peso de la canastilla sumergida en agua se guardó previamente como una tara en la balanza, y así se obtuvo el peso requerido.



**Figura 11** Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. Peso de la muestra sumergida en agua.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**

Resultado del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino reciclado.

<b>ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO RECICLADO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra superficialmente seca (g)		500.0	500.0	500.0
Peso de la muestra superficialmente seca + picnómetro + agua (g)		969.1	967.1	973.4
Peso del picnómetro (g)			193.1	
Peso del agua (g)		276.0	274.0	280.3
Peso de la muestra seca al horno (g)		463.5	463.3	463.6
Volumen del picnómetro (ml)			500.0	
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.08</b>	
<b>Peso específico de masa superficialmente seco (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.24</b>	
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>			<b>2.48</b>	
<b>Absorción (%)</b>			<b>7.88</b>	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

El procedimiento de estos ensayos se realizó según los requerimientos mencionados en la NTP 400.017:2020 “AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 4ª Edición” y la NTP 339.185:2021 “AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición”.

En la presente investigación se hizo estos ensayos para los agregados naturales (fino y grueso) y el agregado fino reciclado.

Los resultados de los ensayos de Peso unitario de los agregados se muestran de la siguiente forma; del agregado fino natural se muestran en la Tabla 11, del agregado grueso en la Tabla 12 y del agregado fino reciclado en la Tabla 13.

**Tabla 11**

Resultado del ensayo de peso unitario del agregado fino natural.

<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO NATURAL</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (g)		6292.7	6296.2	6254.4
Peso del recipiente (g)			1573.2	
Peso del agregado (g)		4719.5	4723.0	4681.2
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0028	
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1681.39</b>	
<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO NATURAL</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (g)		6660.7	6646.6	6539.3
Peso del recipiente (g)			1573.2	
Peso del agregado (g)		5087.5	5073.4	4966.1
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0028	
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1800.83</b>	

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 muestra el procedimiento de enrasado del recipiente con el agregado, esto se realiza para eliminar el exceso de agregado.

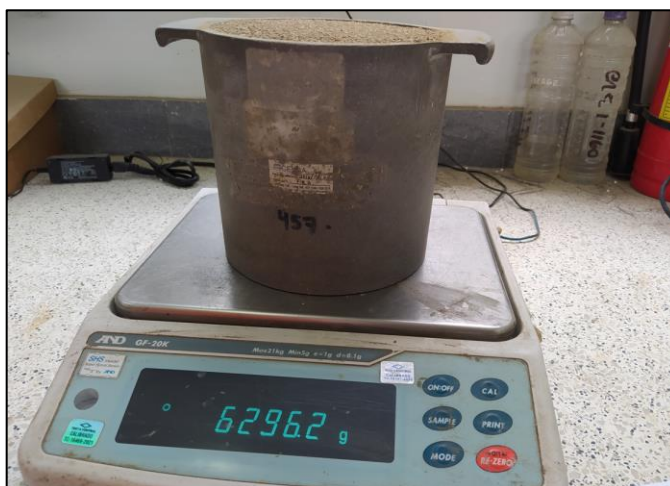




**Figura 12** Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino. Procedimiento de enrasado previo a pesar el recipiente con el agregado.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Una vez eliminado el exceso, se procedió a pesar el recipiente y el agregado, la Figura 13 muestra ese peso, que pertenece a la muestra N° 2 del ensayo de peso unitario suelto del agregado fino natural. Al peso obtenido se le restó el peso del recipiente, al resultado se le dividió entre el volumen del recipiente y se obtuvo el valor del peso unitario suelto.



**Figura 13** Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino. Peso del recipiente y agregado de la muestra N°2.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12**

Resultado del ensayo de peso unitario del agregado grueso.

<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)		17.39	17.33	17.46
Peso del recipiente (kg)			4.34	
Peso del agregado (kg)		13.05	12.99	13.12
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0093	
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1403.58</b>	
<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (kg)		18.88	18.82	18.86
Peso del recipiente (kg)			4.34	
Peso del agregado (kg)		14.54	14.48	14.52
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0093	
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1560.57</b>	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13**

Resultado del ensayo de peso unitario del agregado fino reciclado.

<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO RECICLADO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (g)		5486.1	5510.2	5501.5
Peso del recipiente (g)			1573.2	
Peso del agregado (g)		3912.9	3937	3928.3
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0028	
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1402.17</b>	
<b>ENSAYO DE PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO RECICLADO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso del recipiente más el agregado (g)		5813.3	5820.1	5800.6
Peso del recipiente (g)			1573.2	
Peso del agregado (g)		4240.1	4246.9	4227.4
Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			0.0028	
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>1513.62</b>	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

Los resultados de los ensayos de Contenido de humedad de los agregados se muestran de la siguiente forma. Del agregado fino natural se muestran en la Tabla 14, del agregado grueso en la Tabla 15 y del agregado fino reciclado en la Tabla 16.

**Tabla 14**

Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino natural.

<b>ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO NATURAL</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		500.2	500	500.1
Peso de la muestra seca (g)		490.3	490.6	490.1
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		9.9	9.4	10.0
<b>Contenido de Humedad (%)</b>		<b>1.99</b>		

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 15**

Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

<b>ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		4000.2	4000.6	4000.2
Peso de la muestra seca (g)		3979.9	3980.9	3978.4
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		20.3	19.7	21.8
<b>Contenido de Humedad (%)</b>		<b>0.52</b>		

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16**

Resultado del ensayo de contenido de humedad del agregado fino reciclado.

<b>ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO RECICLADO</b>				
	MUESTRA:	1	2	3
Peso de la muestra húmeda original (g)		500.6	500.3	500.1
Peso de la muestra seca (g)		464.1	463.4	462.7
Peso del agua en muestra húmeda original (g)		36.5	36.9	37.4
<b>Contenido de Humedad (%)</b>		<b>7.97</b>		

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 14 muestra las 3 muestras de agregado fino reciclado luego de ser retiradas del horno, se pesaron para obtener los valores que pertenecen al

peso de la muestra seca. Como previamente se conocía el peso de las 3 muestras en su estado original (muestra húmeda original) se pudo calcular el contenido de humedad de las muestras.



**Figura 14** Ensayo de contenido de humedad de agregado fino reciclado. Peso de la muestra seca.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.5 COMBINACIÓN DE AGREGADOS POR EL MÉTODO DE MÁXIMA COMPACIDAD

Para encontrar la máxima compactación de los agregados se procedió a calcular el peso unitario compactado con cinco distintas proporciones de agregado fino y grueso. Estas proporciones, para este caso, se tomaron variando los porcentajes de proporción en 2.5% para así conocer la proporción de agregados que logre un mayor acomodo de sus partículas y así obtener el punto donde se tiene el valor más grande de peso unitario compactado. La Figura 15 muestra el recipiente con una de las combinaciones de agregados usadas, ya enrasado y listo para ser pesado.



**Figura 15** Combinación de agregados para obtener su peso unitario compactado.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

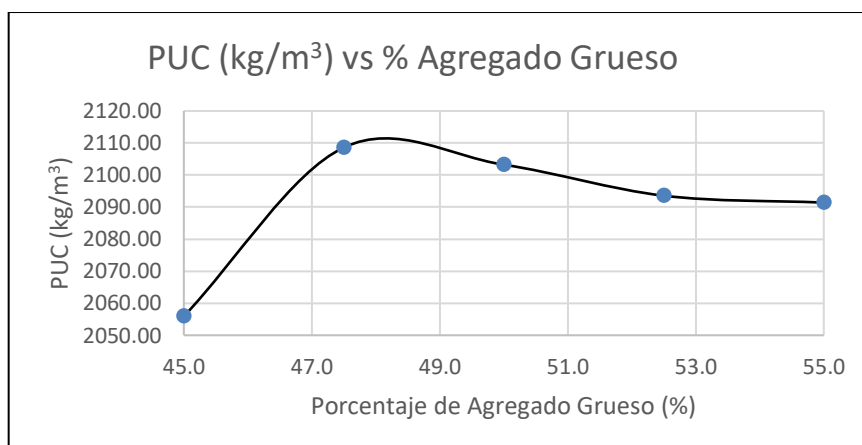
La Tabla 17 y Figura 16 muestran los resultados de los Pesos Unitarios Compactados obtenidos de las cinco proporciones usadas para la combinación de los agregados, en forma de tabla y su representación gráfica respectivamente.

**Tabla 17**

Resultado del ensayo de peso unitario compactado para combinaciones de agregados.

Muestra	% Agregado Fino	% Agregado Grueso	PUC (kg/m <sup>3</sup> )
1	45.0	55.0	2091.40
2	47.5	52.5	2093.55
3	50.0	50.0	2103.23
<b>4</b>	<b>52.5</b>	<b>47.5</b>	<b>2108.60</b>
5	55.0	45.0	2055.91

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 16** Combinación de agregados por el método de máxima compactación.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La curva granulométrica del agregado global correspondiente a la combinación de agregados obtenida por el método de máxima compactación se presenta en el Anexo N°04.

### 3.1.6 CEMENTO

El cemento usado fue PORTLAND TIPO I de la marca SOL, la cual pertenece a UNACEM. El Anexo N°05 muestra su ficha técnica.

Se usó este tipo de cemento por ser de uso general, además que los otros tipos se enfocan en ciertos aspectos como la durabilidad frente a la exposición a sulfatos o una ganancia rápida de resistencia (Cachay, 2022a).

Este cemento cumple con la NTP 334.009:2020 “CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos. 7ª Edición”.

### 3.1.7 ADITIVO

El aditivo usado para esta investigación fue Z Fluidizante SR-1000 de la empresa Z Aditivos S.A.; es un aditivo superplastificante a base de policarboxilatos cuya descripción de su hoja técnica nos dice que ofrece rápida resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad. El Anexo N°06 muestra la ficha técnica de este aditivo.

Este aditivo cumplía con la NTP 334.088:2021 “CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones. 4ª Edición”.

### 3.1.8 AGUA

El agua usada en esta investigación fue agua potable, extraída de la red de agua del LEM.

Según la NTP 339.088:2021 “CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4ª Edición”, el uso de agua potable en mezcla de concreto está permitido sin la necesidad de hacer ensayos al agua.

Cabe mencionar que se pudieron usar otros tipos de agua, como por ejemplo agua residual tratada. Para estos casos existe una gran variedad de normas que analizan aspectos del agua como el contenido de materia orgánica (NTP 339.071), contenido de cloruros (NTP 334.148), contenido de sulfatos (NTP 334.078), entre otros (Cachay, 2022b).

## 3.2 DISEÑO DE MEZCLA

Para esta tesis, la cual está referida a concretos de mediana a alta resistencia, se escogieron tres relaciones agua cemento (en adelante *a/c*) que corresponden a esa resistencia; según el procedimiento de diseño establecido por ACI 211, las resistencias de un concreto de relaciones *a/c* de 0.46 y 0.40 tienen una resistencia a compresión aproximada de 300 kgf/cm<sup>2</sup> y 350 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente. Por lo mencionado anteriormente, las relaciones *a/c* escogidas para obtener un concreto de mediana a alta resistencia fueron las de 0.50, 0.45 y 0.40. En estas mezclas se buscó que el valor del asentamiento (*slump*) esté comprendido en un rango de 3” a 4”, debido a que se consideró que dentro de ese

rango se tiene un concreto de consistencia plástica, trabajable y el método de compactación sugerido es de vibración ligera y chuseado.

Entonces, se tuvieron tres diseños patrón (uno por cada a/c), los cuales tuvieron como característica principal que solo están conformados por agregados naturales; es decir, en estos se tuvo un 0% de reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural.

Para cada diseño patrón se realizó un reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural, este reemplazo se hizo de forma parcial (teniendo 10%, 25% y 50% como porcentajes de reemplazo) y de forma total (teniendo 100% como porcentaje de reemplazo).

Para el diseño de mezclas de concreto existen diversos métodos, como por ejemplo los de Bolomey, Walker, del Módulo de fineza de la combinación de los agregados o de la Máxima compacidad de la combinación de los agregados. Para esta investigación se usó la Máxima compacidad de la combinación de los agregados, donde el valor a maximizar fue el peso unitario compactado.

La razón por la que se escogió este método fue porque los otros métodos usan como datos la forma y el TMN de los agregados para, por medio de ecuaciones y/o tablas, obtener la mejor proporción entre estos. Sin embargo, las características de los agregados podían depender de factores tan aleatorios como su origen o composición, que hace imposible caracterizar todos los agregados por medio de una ecuación o una tabla. Además, al tener el tiempo y equipamiento necesarios para calcular la mejor proporción de estos de forma experimental, se optó por esta alternativa, que es de uso común en investigaciones (Torre, 2022).

Para los diseños de mezcla de los tres diseños patrón se usaron las tablas de diseño del “Método ACI 211”, usando la “Máxima compacidad del peso unitario de la combinación de agregados” para obtener la proporción entre estos. Este método tuvo como enfoque que con un mejor acomodo entre las partículas de los agregados se tendrá una menor cantidad de vacíos y a la vez se tendrá un mayor valor del peso unitario compactado; debido a lo anterior, con esta proporción de agregados, se tendrá un concreto con mayor resistencia.

Como se mostró en la Tabla 17, la Máxima compacidad de la combinación de los agregados dio como resultado que el máximo peso unitario compactado se daba en la proporción de 52.5% de agregado fino y 47.5% de agregado grueso.

Entonces, el método usado se apoya de las tablas y procedimiento del método ACI 211 para tratar de aproximarse a los algunos valores como la resistencia promedio, el asentamiento, el volumen de agua y el contenido de aire de la mezcla de concreto. El punto de quiebre, respecto al método ACI 211, se dio en la determinación de la proporción entre agregados; puesto que el valor de esta proporción se obtuvo de forma experimental mediante la Combinación de agregados por el método de máxima compacidad. Además, el valor de la relación a/c en esta investigación es un dato de entrada, porque los diseños patrón tuvieron valores fijos de 0.50, 0.45 y 0.40.

A continuación, se muestra el procedimiento para la obtención del diseño de la mezcla patrón con relación a/c de 0.50:

- Como paso preliminar se debió obtener (o averiguar) los valores de ciertas propiedades de los componentes del concreto (cemento, agua y agregados).
- Volumen unitario de agua, este valor se obtuvo de forma tabular. Los datos de entrada son el asentamiento, el TMN del agregado grueso y si la mezcla tiene aire incorporado o no.

La consistencia de las mezclas patrón debió ser plástica; es decir, con un asentamiento de entre 3" y 4". El valor obtenido del TMN del agregado grueso fue de 0.75". Y se escogió una mezcla sin aire incorporado.

Con esos 3 datos, la tabla indicó un valor de 205 lt/m<sup>3</sup>. Cabe mencionar que después de los ensayos de asentamiento, este valor se tuvo que aumentar hasta 250 lt/m<sup>3</sup> debido a que no se llegaba a la consistencia deseada (plástica), con ese valor se obtuvo un asentamiento de 4".

Es importante señalar que al haber tenido un a/c fijo (0.50), al aumentar la cantidad de agua, también se tuvo que aumentar la cantidad de cemento (correspondiente a 205 lt/m<sup>3</sup>) para que el valor del a/c no varíe.

Por lo tanto, se tiene que: Volumen unitario de agua = 250 lt/m<sup>3</sup>.

- Contenido de aire atrapado, este valor se obtuvo de forma tabular. El dato de entrada es el TMN del agregado grueso.  
Con un TMN del agregado grueso de 0.75", el contenido de aire atrapado tomó un valor de 2.0%.
- Relación a/c, su valor fue fijo para las mezclas patrón de esta investigación.



Para este caso, se está desarrollando el procedimiento de la mezcla con relación a/c de 0.50. Este valor se escogió porque corresponde a un concreto de mediana resistencia.

- Se calculó la cantidad de cemento.

Dividiendo el Volumen unitario de agua entre la relación a/c, se obtuvo la cantidad de cemento. Para este caso, se tiene:

Considerando que el P.E. del agua es  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

Peso de cemento:  $250 / 0.5 = 500 \text{ kg/m}^3$ .

- Se calculó el volumen de todos los componentes de la pasta (cemento, agua y aire).

El cemento usado tuvo un P.E. de  $3120 \text{ kg/m}^3$ .

Volumen de cemento:  $500 / 3120 = 0.16$ .

Volumen de agua:  $250 / 1000 = 0.25$ .

Volumen de aire:  $2.0\% = 0.02$ .

Volumen de pasta:  $0.16 + 0.25 + 0.02 = 0.43$ .

- Se calculó el volumen de los agregados.

Volumen de agregados:  $1 - 0.43 = 0.57$ ,

- Se calculó el peso seco de los agregados (fino y grueso).

De la Combinación de agregados por el método de máxima compactación y tandas de prueba, el agregado fino y el agregado grueso debieron estar en una proporción de 52.5% y 47.5% respectivamente. Entonces:

Volumen total de agregados = Volumen AF + Volumen AG

$0.57 = (52.5\% \cdot \text{Peso Seco} / \text{P.E. AF}) + (52.5\% \cdot \text{Peso Seco} / \text{P.E. AG})$

Cabe mencionar que Peso Seco, es el peso seco total de los agregados (fino y grueso). Los valores de P.E. del agregado fino y grueso obtenidos fueron de  $2.69 \text{ g/cm}^3$  y  $2.77 \text{ g/cm}^3$  respectivamente.

Reemplazando los valores de P.E. y resolviendo la ecuación, se tuvo:

Peso Seco de agregados =  $1553.93 \text{ kg/m}^3$ .

Peso seco del AF =  $1553.93 \cdot 52.5\% = 815.81 \text{ kg/m}^3$ .

Peso seco del AG =  $1553.93 \cdot 47.5\% = 738.12 \text{ kg/m}^3$ .

- Se tuvieron los pesos secos de todos los componentes de la mezcla.

Peso seco del cemento =  $500 \text{ kg/m}^3$ .

Peso seco del agua =  $250 \text{ kg/m}^3$ .

Peso seco del AF =  $815.81 \text{ kg/m}^3$ .

Peso seco del AG =  $738.12 \text{ kg/m}^3$ .

- Se realizó la corrección por humedad, debido a que los agregados fino y grueso presentan aportes de agua por su humedad natural y absorción. De los ensayos en agregados, se obtuvo que los valores de Contenido de Humedad del agregado fino y el agregado grueso fueron de 1.99 y 7.99 respectivamente.

$$\text{Peso húmedo del AF} = 815.81 * (1 + (1.99/100)) = 832.05 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Peso húmedo del AG} = 738.12 * (1 + (7.99/100)) = 741.95 \text{ kg/m}^3.$$

Cálculo de la Humedad superficial de los agregados.

Humedad superficial = Contenido de Humedad – Absorción.

$$\text{Humedad superficial del AF} = 1.99\% - 2.09\% = -0.1\%.$$

$$\text{Humedad superficial del AG} = 0.52\% - 0.92\% = -0.4\%.$$

Cálculo del aporte de la humedad de los agregados.

Aporte de la humedad = Peso seco \* Humedad superficial.

$$\text{Aporte de la humedad del AF} = 815.81 * -0.1\% = -0.82 \text{ lt/m}^3.$$

$$\text{Aporte de la humedad del AG} = 738.12 * -0.4\% = -2.95 \text{ lt/m}^3.$$

Cálculo del agua efectiva.

Agua efectiva = Volumen unitario de agua – Aportes de humedad.

$$\text{Agua efectiva} = 250 - (-0.82 + -2.95) = 253.77 \text{ lt/m}^3.$$

- Finalmente, se tuvieron las proporciones en peso de cada componente de la mezcla.

$$\text{Peso del cemento} = 500 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Peso del agua} = 253.77 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Peso del AF (húmedo)} = 832.05 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Peso del AG (húmedo)} = 741.95 \text{ kg/m}^3.$$

Para diseñar las mezclas patrón con relaciones a/c de 0.45 y 0.40, se siguió un procedimiento similar al descrito para la relación a/c de 0.50.

Se elaboraron 03 diseños patrón (de relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40), en cada uno de los cuales se realizó un reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural (en porcentajes de reemplazo de 10%, 25%, 50% y 100%).

Los diseños patrón de las relaciones agua cemento y sus variantes se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18**

Diseños patrón y sus variantes con agregado fino reciclado.

<b>Diseño Patrón 1</b>	<b>a/c</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>	<b>AFN</b>	<b>AG</b>	<b>AFR</b>
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	<b>0.50</b>	500.00	253.77	832.05	741.95	0.00
	10% AFR	500.00	253.77	748.84	741.95	83.20
Mezclas con % de reemplazo	25% AFR	500.00	253.77	624.04	741.95	208.01
	50% AFR	500.00	253.77	416.02	741.95	416.02
	100% AFR	500.00	253.77	0.00	741.95	832.05
<b>Diseño Patrón 2</b>	<b>a/c</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>	<b>AFN</b>	<b>AG</b>	<b>AFR</b>
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	<b>0.45</b>	604.44	275.40	751.03	669.71	0.00
	10% AFR	604.44	275.40	675.93	669.71	75.10
Mezclas con % de reemplazo	25% AFR	604.44	275.40	563.27	669.71	187.76
	50% AFR	604.44	275.40	375.52	669.71	375.52
	100% AFR	604.44	275.40	0.00	669.71	751.03
<b>Diseño Patrón 3</b>	<b>a/c</b>	<b>Cemento</b>	<b>Agua</b>	<b>AFN</b>	<b>AG</b>	<b>AFR</b>
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
	<b>0.40</b>	787.50	317.73	602.55	537.31	0.00
	10% AFR	787.50	317.73	542.30	537.31	60.26
Mezclas con % de reemplazo	25% AFR	787.50	317.73	451.91	537.31	150.64
	50% AFR	787.50	317.73	301.28	537.31	301.28
	100% AFR	787.50	317.73	0.00	537.31	602.55

Nota 1. "10% AFR" indica que la mezcla contiene 10% de Agregado Fino Reciclado.

Nota 2. Las cantidades corresponden a lo necesario para 1m<sup>3</sup> de mezcla.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

Así mismo, a partir de las mezclas con 50% y 100% de AFR se realizaron otras distintas mezclas en las que se añadió aditivo superplastificante. Las relaciones a/c (que inicialmente fueron 0.50, 0.45 y 0.40) cambiaron debido a que, por efecto del aditivo, la cantidad de agua se redujo.

En estas mezclas con aditivo se mantuvo constante la cantidad de cemento de la relación a/c inicial. Por medio de esta acción de añadir el aditivo en las mezclas con 50% y 100% de AFR, manteniendo el cemento constante, de la relación a/c de 0.500 se tuvo las relaciones a/c resultantes de 0.305 y 0.341; de la relación a/c de 0.450 se tuvo las relaciones a/c resultantes de 0.303 y 0.304; y de la relación a/c de 0.400 se tuvo las relaciones a/c resultantes de 0.295 y 0.301.

**Tabla 19**

Diseño de mezclas con aditivo superplastificante.

$a/c_0$	Mezcla con aditivo 1	Cemento (kg)	Agua (kg)	AFN (kg)	AG (kg)	AFR (kg)	Aditivo (kg)	$a/c_1$
0.50	50% AFR	500.00	152.27	416.02	741.95	416.02	5.00	0.305
0.50	100% AFR	500.00	170.45	0.00	741.95	832.05	5.00	0.341
$a/c_0$	Mezcla con aditivo 2	Cemento (kg)	Agua (kg)	AFN (kg)	AG (kg)	AFR (kg)	Aditivo (kg)	$a/c_1$
0.45	50% AFR	604.44	183.29	375.52	669.71	375.52	6.04	0.303
0.45	100% AFR	604.44	183.75	0.00	669.71	751.03	6.04	0.304
$a/c_0$	Mezcla con aditivo 3	Cemento (kg)	Agua (kg)	AFN (kg)	AG (kg)	AFR (kg)	Aditivo (kg)	$a/c_1$
0.40	50% AFR	787.50	232.70	301.28	537.31	301.28	7.88	0.295
0.40	100% AFR	787.50	237.08	0.00	537.31	602.55	7.88	0.301

Nota 1. "50% AFR" indica que la mezcla contiene 50% de Agregado Fino Reciclado.

Nota 2. AFN, AG y AFR significan Agregado Fino Natural, Agregado Grueso y Agregado Fino Reciclado respectivamente.

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

*Nota 3.*  $a/c_0$  es la relación agua cemento inicial (sin aditivo),  $a/c_1$  es la relación agua cemento resultante (con aditivo) luego de la reducción del agua en la mezcla.

*Nota 4.* Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se tuvo una “Relación agua cemento resultante”, que se calculó como el cociente entre el peso de agua usada en la mezcla (para ello se registró el sobrante de agua en el vaciado) y el peso de cemento. La dosificación de estas 6 mezclas con aditivo superplastificante se muestra en la Tabla 19.

### **3.3 MUESTREO DE MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO**

Para realizar los ensayos en concreto fresco se siguieron los requerimientos exigidos por la NTP 339.036:2017 “CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco. 4ª Edición”.

Algunos de estos requerimientos fueron:

- El tiempo en que se obtuvieron todas las porciones de una misma mezcla no fue mayor a 15 minutos.

- Para dar inicio a los ensayos de asentamiento y contenido de aire no pasaron más de 5 minutos desde la obtención de la mezcla.

- Las muestras de una mezcla no se extrajeron hasta que se añadieron toda la cantidad de agua y aditivo (en mezclas que hayan contemplado su uso).

- El equipo de tamizado húmedo tuvo una malla con características definidas y fue capaz de separar rápidamente el agregado de mayor tamaño de la mezcla de concreto. Este equipo fue usado para obtener la pasta necesaria para el ensayo de tiempo de fraguado.

### **3.4 ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO**

#### **3.4.1 ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN CONCRETO FRESCO**

Los ensayos de asentamiento de concreto fresco se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.035:2022 “CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de Ensayo. 5ª Edición”.

Se realizaron un total de 15 ensayos. Tres para los diseños patrón y doce para las mezclas con reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural. La Tabla 20 muestra los resultados de los asentamientos (o slumps) de

las distintas mezclas, ordenándolas de acuerdo a su relación agua cemento y a su porcentaje de Agregado Fino Reciclado (%AFR).

**Tabla 20**

Resultados del ensayo de asentamiento de concreto fresco.

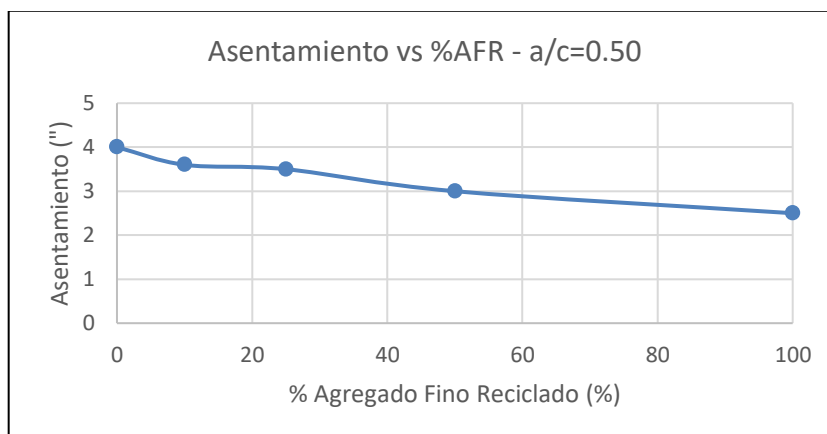
<b>a/c = 0.50</b>		<b>a/c = 0.45</b>		<b>a/c = 0.40</b>	
<b>%AFR</b>	<b>Slump (")</b>	<b>%AFR</b>	<b>Slump (")</b>	<b>%AFR</b>	<b>Slump (")</b>
0	4.0	0	3.3	0	3.4
10	3.6	10	3.5	10	3.1
25	3.5	25	3.4	25	2.5
50	3.0	50	3.5	50	1.5
100	2.5	100	3.3	100	1.3

*Nota 1.* "% AFR" indica el porcentaje de Agregado Fino Reciclado en la mezcla.

*Nota 2.* Los diseños patrón son aquellos que tienen 0% de AFR.

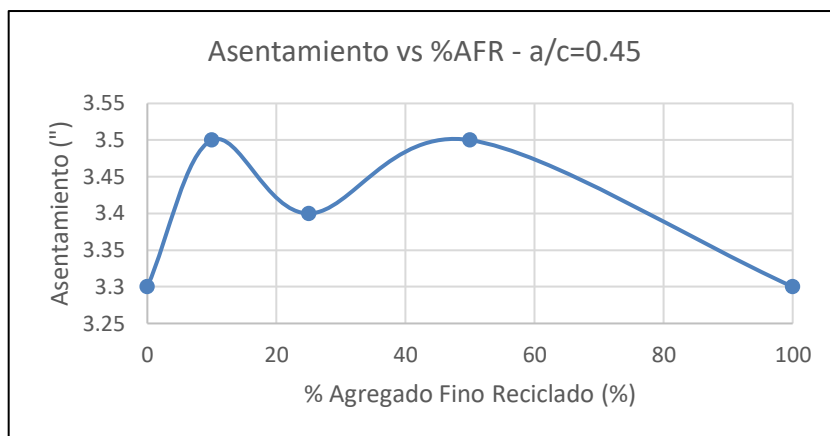
*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 17, 18 y 19 muestran los resultados de forma gráfica según su relación agua cemento (0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente).



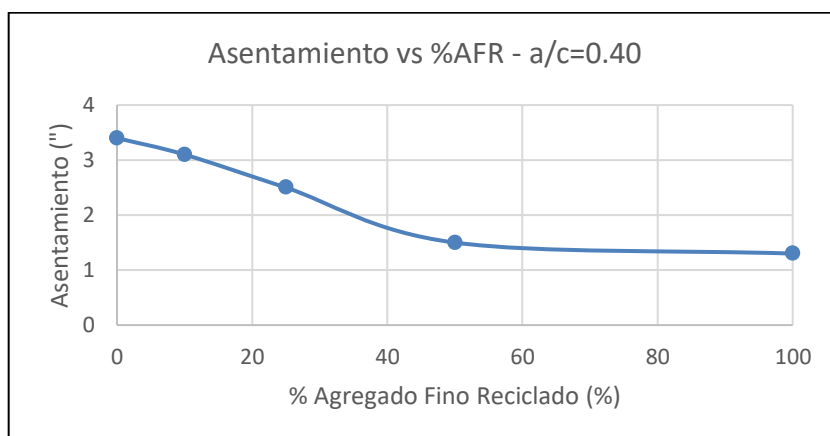
**Figura 17** Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



**Figura 18** Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.45.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



**Figura 19** Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.40.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 muestra la operación de registrar el asentamiento obtenido de una de las mezclas. Para ello, se pone el cono de Abrams al costado de la muestra cónica de concreto como se ve en la figura, se usa la varilla compactadora como una guía horizontal y colocando una wincha se puede obtener el asentamiento (cuya medición se realiza desde el concreto hasta el límite inferior de la varilla).



**Figura 20** Ensayo de asentamiento. Medición.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2 ENSAYO DE PESO UNITARIO EN CONCRETO FRESCO

Los ensayos de peso unitario se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.046:2019 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición”.

Se realizaron un total de 15 ensayos. Tres para los diseños patrón y doce para las mezclas con reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural.

La Tabla 21 muestra los resultados de las distintas mezclas, ordenándolas de acuerdo a su relación agua cemento y a su porcentaje de Agregado Fino Reciclado (%AFR).

**Tabla 21**

Resultados del ensayo de peso unitario de concreto fresco.

<b>a/c = 0.50</b>		<b>a/c = 0.45</b>		<b>a/c = 0.40</b>	
<b>%AFR</b>	<b>PU (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%AFR</b>	<b>PU (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>%AFR</b>	<b>PU (kg/m<sup>3</sup>)</b>
0	2357.14	0	2375.00	0	2289.29
10	2350.00	10	2346.43	10	2271.43
25	2325.00	25	2346.43	25	2267.86
50	2310.71	50	2296.43	50	2260.71
100	2289.29	100	2282.14	100	2253.57

*Nota 1.* "% AFR" indica el porcentaje de Agregado Fino Reciclado en la mezcla.

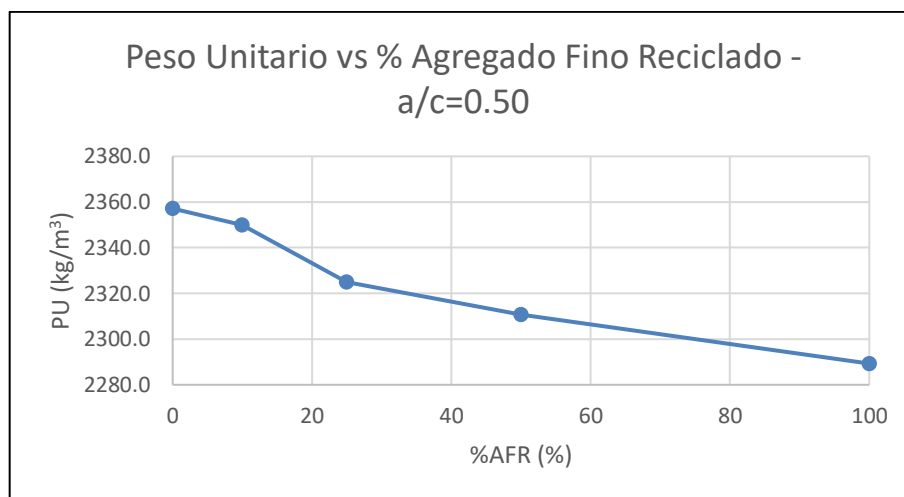
*Nota 2.* El diseño patrón es aquel que tiene 0% de AFR.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



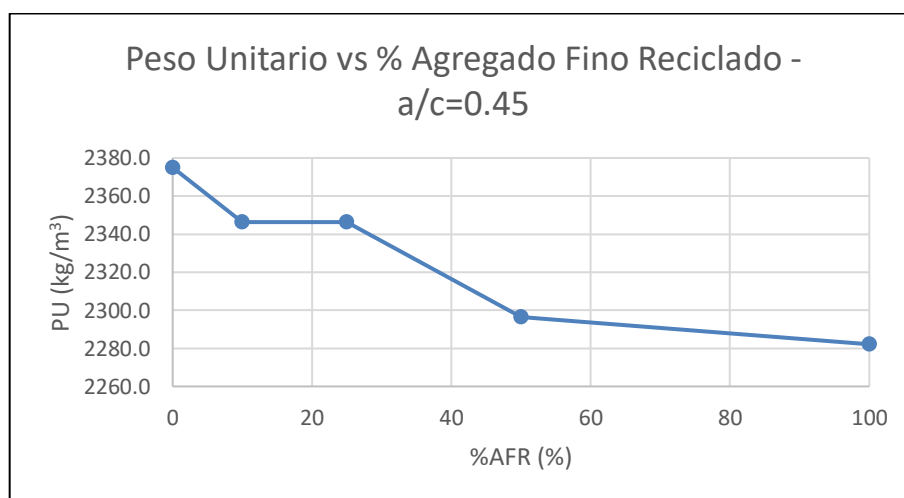
Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 21, 22 y 23 muestran el resultado del Peso Unitario de concreto fresco obtenido de forma gráfica, diferenciándose entre sí por la relación agua cemento (0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente).



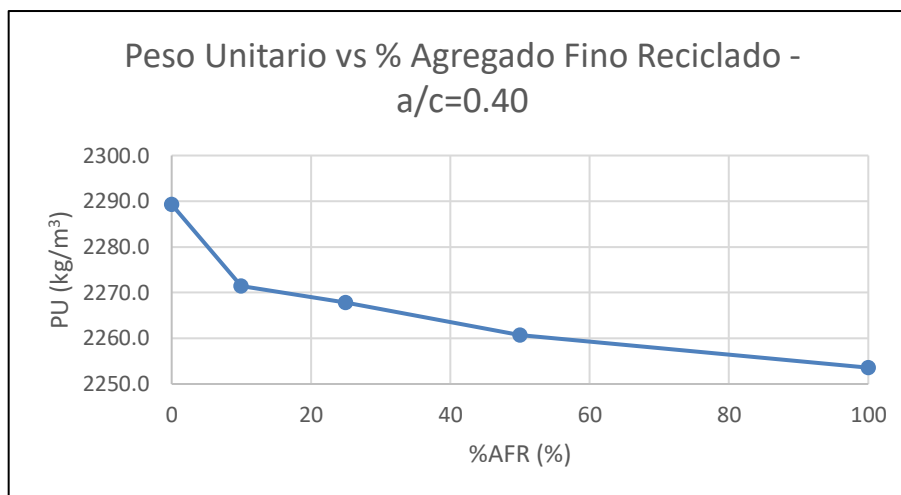
**Figura 21** Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50.

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 22** Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.45.

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 23** Peso unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.40.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN CONCRETO FRESCO

Los ensayos de contenido de aire se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.046:2019 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición”.

Se realizaron un total de 5 ensayos. Este ensayo solo se realizó para la relación agua cemento de 0.50, se hizo ensayos para cada una de las cinco variantes de mezcla (diseño patrón y mezcla con %AFR de 10, 25, 50 y 100).

La Tabla 22 y Figura 24 muestran los resultados obtenidos del ensayo de contenido de aire en concreto fresco; de forma tabular y de forma gráfica respectivamente.

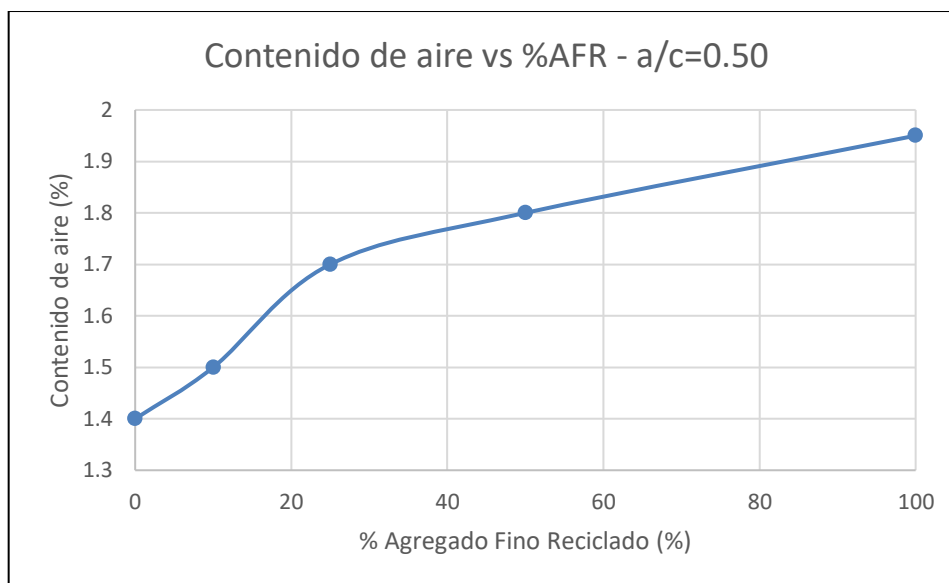
**Tabla 22**

Resultados del ensayo de contenido de aire en concreto fresco.

<b>a/c = 0.50</b>	
<b>%Agregado Fino Reciclado</b>	<b>Contenido de Aire (%)</b>
0	1.40
10	1.50
25	1.70
50	1.80
100	1.95

*Nota 1.* El diseño patrón es aquel que tiene 0% de AFR.

Nota 2. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 24** Contenido de aire vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100) – a/c = 0.50.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 25 muestra la Olla Washington, aparato que se usa para medir el contenido de aire en una mezcla de concreto en estado fresco.



**Figura 25** Aparato usado para medir el contenido de aire en concreto fresco.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.4 ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO EN CONCRETO FRESCO

Los ensayos de tiempo de fraguado se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.082:2017

“CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Edición”.

Se realizaron un total de 5 ensayos. Este ensayo solo se realizó para la relación agua cemento de 0.50, se hizo ensayos para cada una de las cinco variantes de mezcla (diseño patrón y mezcla con %AFR de 10, 25, 50 y 100).

Una vez que se tuvieron los resultados, estos se pudieron aproximar a una ecuación exponencial de la forma “ $Y=A*(X^B)$ ”. En esa ecuación “A” y “B” son constantes que se obtienen del ajuste a la curva, y las variables “X” e “Y” representan el Tiempo en minutos y la Resistencia a la penetración en libras por pulgada cuadrada (lb/pulg<sup>2</sup>) respectivamente.

El tiempo de fraguado inicial se alcanza cuando la resistencia a la penetración alcanza el valor de 500 lb/pulg<sup>2</sup> y el tiempo de fraguado final cuando se alcanza el valor de 4000 lb/pulg<sup>2</sup>. Para obtener los tiempos de fraguado inicial y fraguado final se reemplazó el valor de “Y”, que representa la resistencia a la penetración, por sus valores respectivos (500 y 4000) en las ecuaciones obtenidas para así calcular los valores de los tiempos de fraguado (“X” en las ecuaciones).

La Tabla 23 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para el diseño patrón (que tiene un porcentaje de agregado fino reciclado de 0). Así mismo, en la última fila de la tabla se presentan los valores de tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

**Tabla 23**

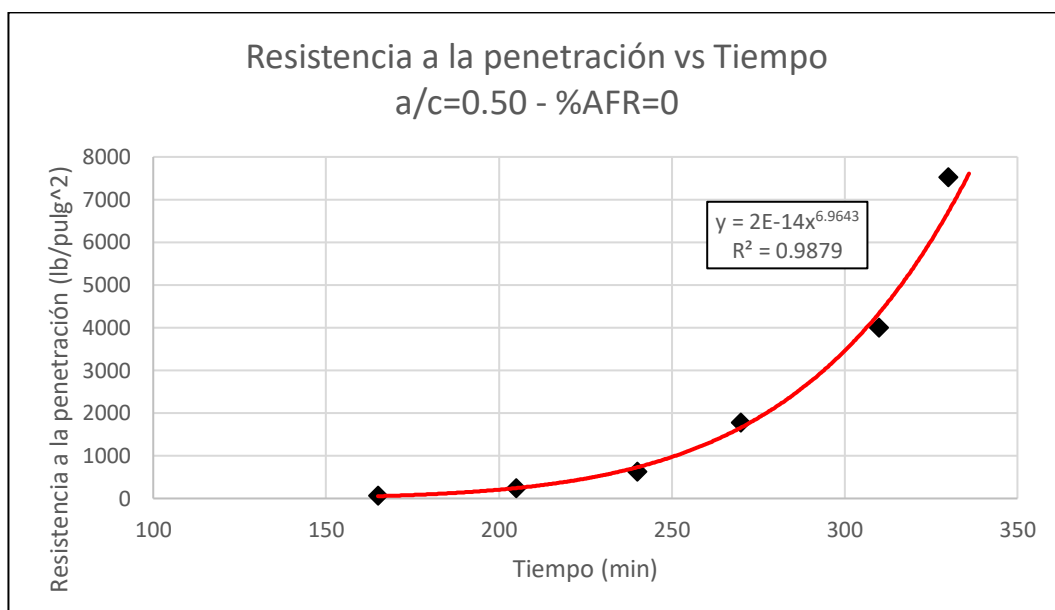
Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 0.

Hora inicial = 10:10 am	TIEMPO DE FRAGUA a/c=0.50 - %AFR=0					
Tiempo (min)	165	205	240	270	310	330
Fuerza (lb)	58	118	158	178	200	188
Área de aguja (pulg <sup>2</sup> )	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg <sup>2</sup> )	58	236	632	1780	4000	7520
Tiempo de fraguado inicial (min):	227		Tiempo de fraguado final (min):			305

*Nota 1.* “%AFR = 0” significa que no hay reemplazo de agregados, por lo que estos resultados son del diseño patrón para a/c = 0.50.

*Nota 2.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 26 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para el diseño patrón de forma gráfica, la línea roja es la gráfica de la ecuación exponencial a la cual se aproximan los valores. En la figura también se presenta dicha ecuación.



**Figura 26** Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 0.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 24 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para una mezcla que contiene un porcentaje de agregado fino reciclado (%AFR) de 10. Así mismo, en la última fila de la tabla se presentan los valores de tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

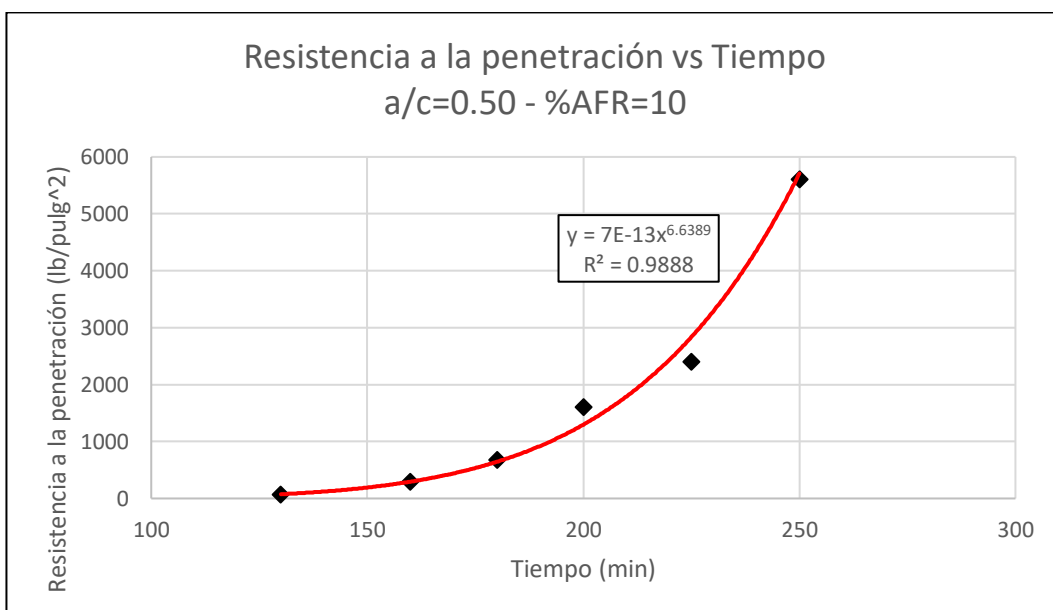
**Tabla 24**

Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 10.

Hora inicial = 12 m	TIEMPO DE FRAGUA a/c=0.50 - %AFR=10					
Tiempo (min)	130	160	180	200	225	250
Fuerza (lb)	70	145	170	160	120	140
Área de aguja (pulg <sup>2</sup> )	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg <sup>2</sup> )	70	290	680	1600	2400	5600
Tiempo de fraguado inicial (min):	173		Tiempo de fraguado final (min):			237

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 27 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para la mezcla con un contenido de agregado fino reciclado de 10% de forma gráfica, la línea roja es la gráfica de la ecuación exponencial a la cual se aproximan los valores. En la figura también se presenta dicha ecuación.



**Figura 27** Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 10.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 25 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para una mezcla que contiene un porcentaje de agregado fino reciclado (%AFR) de 25. Así mismo, en la última fila de la tabla se presentan los valores de tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

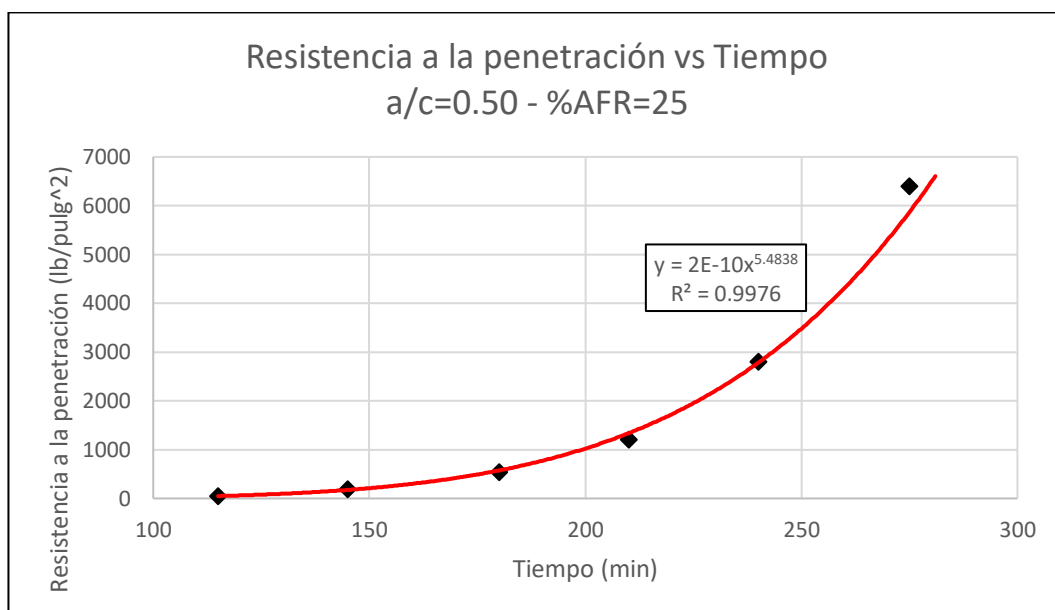
**Tabla 25**

Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 25.

Hora inicial = 10:40 am	TIEMPO DE FRAGUA a/c=0.50 - %AFR=25					
Tiempo (min)	115	145	180	210	240	275
Fuerza (lb)	50	94	134	120	140	160
Área de aguja (pulg <sup>2</sup> )	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg <sup>2</sup> )	50	188	536	1200	2800	6400
Tiempo de fraguado inicial (min):	183		Tiempo de fraguado final (min):			267

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 28 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para la mezcla con un contenido de agregado fino reciclado de 25% de forma gráfica, la línea roja es la gráfica de la ecuación exponencial a la cual se aproximan los valores. En la figura también se presenta dicha ecuación.



**Figura 28** Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 25.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 26 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para una mezcla que contiene un porcentaje de agregado fino reciclado (%AFR) de 50. Así mismo, en la última fila de la tabla se presentan los valores de tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

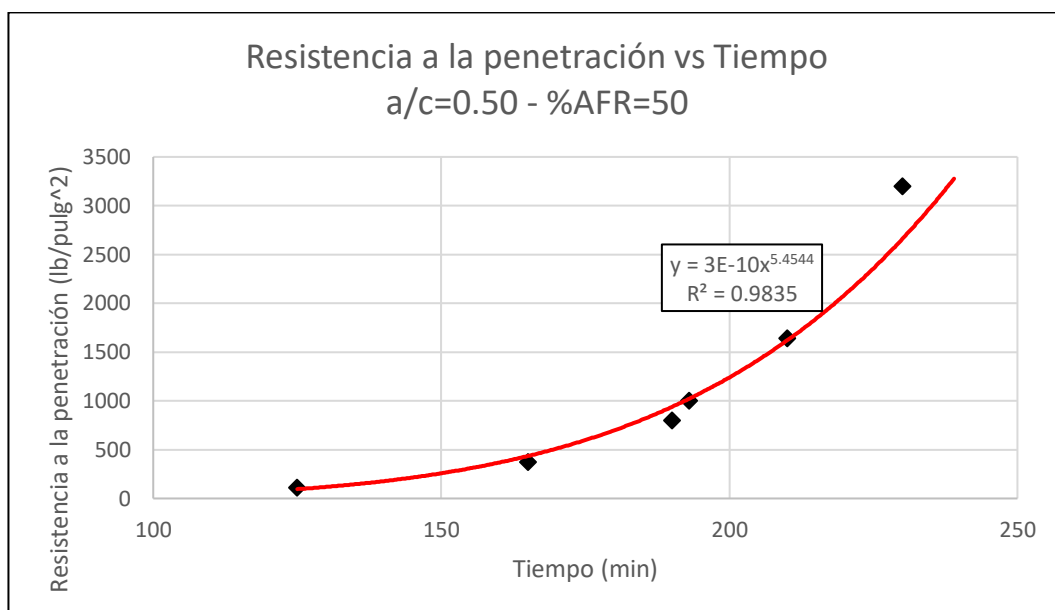
**Tabla 26**

Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 50.

Hora inicial = 10:30 am	TIEMPO DE FRAGUA a/c=0.50 - %AFR=50					
Tiempo (min)	125	165	190	193	210	230
Fuerza (lb)	110	185	200	100	82	80
Área de aguja (pulg <sup>2</sup> )	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg <sup>2</sup> )	110	370	800	1000	1640	3200
Tiempo de fraguado inicial (min):	175		Tiempo de fraguado final (min):			255

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para la mezcla con un contenido de agregado fino reciclado de 50% de forma gráfica, la línea roja es la gráfica de la ecuación exponencial a la cual se aproximan los valores. En la figura también se presenta dicha ecuación.



**Figura 29** Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 50.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 27 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para una mezcla que contiene un porcentaje de agregado fino reciclado (%AFR) de 100; es decir, un reemplazo total del agregado fino reciclado por el agregado fino natural. Así mismo, en la última fila de la tabla se presentan los valores de tiempo de fraguado inicial y tiempo de fraguado final.

**Tabla 27**

Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 100.

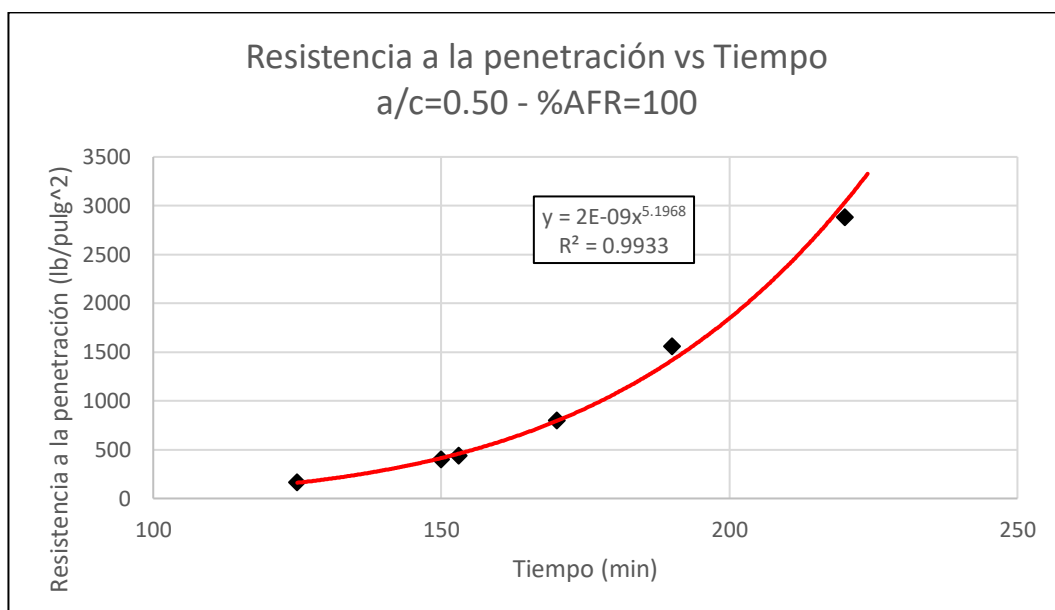
Hora inicial = 11:10 am	TIEMPO DE FRAGUA a/c=0.50 - %AFR=100					
Tiempo (min)	125	150	153	170	190	220
Fuerza (lb)	164	200	110	80	78	72
Área de aguja (pulg <sup>2</sup> )	1	0.5	0.25	0.1	0.05	0.025
Resistencia a la penetración (lb/pulg <sup>2</sup> )	164	400	440	800	1560	2880
Tiempo de fraguado inicial (min):	157		Tiempo de fraguado final (min):			233

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



La Figura 30 muestra los resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco para la mezcla con un contenido de agregado fino reciclado de 100% de forma gráfica, la línea roja es la gráfica de la ecuación exponencial a la cual se aproximan los valores. En la figura también se presenta dicha ecuación.



**Figura 30** Resultados del ensayo de tiempo de fraguado de concreto fresco - %AFR = 100.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

La elaboración y curado de los especímenes cilíndricos y prismáticos (vigas) siguió los requerimientos y procedimientos descritos en la NTP 339.183:2021 "CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 3ª Edición".

A continuación, se presenta un resumen del procedimiento usado:

- Se limpió los moldes a usar y se les aplicó una sustancia en el interior que ayude al posterior desmolde.
- Se hizo el mezclado, en este caso fue a máquina, añadiendo cada componente de la mezcla de concreto de forma conveniente y respetando la norma.
- Se descargó la mezcla de concreto desde la mezcladora hacia una carretilla, una vez en la carretilla se remezcló con un cucharón para uniformizar la mezcla.

- Una vez la mezcla estuvo homogenizada se vació la mezcla en sus moldes. Dependiendo del tipo de molde varía la cantidad de capas, el diámetro de la varilla y el número de varillados requeridos.
- En la presente investigación solo se usaron moldes cilíndricos de 4"x8" (aproximado a 10x20cm) y moldes prismáticos para vigas de 6"x6"x21" (aproximado a 15x15x50cm).
- Para los moldes cilíndricos de 10x20cm, la mezcla se puso en el molde en 3 capas, usando la varilla de 3/8" y aplicando 25 golpes por capa. Después de cada capa aplicar 15 golpes en cada lado del molde con el martillo de goma.
- Para los moldes prismáticos de 15x15x50cm, la mezcla se puso en el molde en 2 capas, usando la varilla de 5/8" y aplicando 54 golpes por capa. Después de cada capa aplicar 15 golpes en cada lado del molde con el martillo de goma.
- Se procedió a enrasar los moldes, para retirar los excesos de la mezcla de concreto de los moldes.
- Se desmoldaron los especímenes en el tiempo establecido por norma (24h  $\pm$  8h) y se trasladaron a las pozas de curado, donde estuvieron hasta alcanzar la edad a la que serían ensayadas. En esta tesis solo se ensayaron especímenes a 7 días o 28 días; cabe recalcar que la edad de un espécimen se cuenta desde el vaciado, no desde su desmolde.



**Figura 31** Especímenes cilíndricos y prismáticos.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 31 muestra unos especímenes cilíndricos (probetas) y prismáticos (vigas) en las que se acaba de verter el concreto fresco. Estos se

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

desencofraron (o desmoldaron) al día siguiente del vaciado, para posteriormente ser llevados a la poza de curado donde estuvieron sumergidos hasta alcanzar la edad para ser ensayadas.

### 3.6 ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

El Código Generado (C.G.) para nombrar a las distintas mezclas sin aditivo tiene la siguiente forma: "C07.45.3" que se divide en "letra", "número 1", ".", "número 2", "." y "número 3". La letra y los 3 números aportan significado, mientras que los 2 puntos sirven como separadores. A continuación, se explica cada parte:

- "letra": Indica el tipo de ensayo; por lo que un valor de C será referido a Compresión, T a Tracción y F a Flexión.
- "número 1": Indica la edad del ensayo en días; por lo que solo podrá tomar dos valores, que son 07 y 28.
- "número 2": Indica la relación a/c, aunque multiplicada por diez; por ejemplo, para un valor de a/c de 0.50 tomará el valor de 50.
- "número 3": Indica el porcentaje de Agregado Fino Reciclado. Para un %AFR de 0 tomará como valor 0, para 10 tomará 1, para 25 tomará 2, para 50 tomará 3 y para 100 tomará 4.
- Por ejemplo, el código mostrado inicialmente: "C07.45.3". Está referido a un ensayo de Compresión a 07 días, con a/c de 0.45 y un %AFR de 50.

Este código fue usado para identificar las muestras y será usado para poder referirse con más facilidad a cada una de las 15 distintas mezclas sin aditivo.

Para mezclas con aditivo, el C.G. tendrá la siguiente forma: "C28.295.3", que se divide en "letra", "número 1", ".", "número 2", "." y "número 3". La letra y los 3 números aportan significado, mientras que los 2 puntos sirven como separadores. A continuación, se explica cada parte:

- "letra": Indica el tipo de ensayo; en mezclas con aditivo solo se analizó Compresión, por lo que solo tomará el valor de C.
- "número 1": Indica la edad del ensayo en días; en mezclas con aditivo solo se ensayó especímenes a 28 días, por lo que solo tomará ese valor.

- “número 2”: Indica la relación a/c, aunque multiplicada por cien; por ejemplo, para un valor de a/c de 0.303 tomará el valor de 303.
- “número 3”: Indica el porcentaje de Agregado Fino Reciclado. Para mezclas con aditivo solo podrá tomar como valores 3 y 4 (cuando la mezcla contenga 50% y 100% de AFR respectivamente).
- Por ejemplo, el código mostrado inicialmente: “C28.295.3”. Está referido a un ensayo de Compresión a 28 días, con a/c de 0.295 y un %AFR de 50.

Este código será usado para poder referirse con más facilidad a cada una de las 6 distintas mezclas con aditivo superplastificante.

Por tanto, para diferenciar rápidamente una mezcla sin aditivo de otra que, si tenga aditivo, se puede ver que el “número 2” (que indica la relación agua cemento) en el C.G. de una mezcla sin aditivo tendrá 2 dígitos, mientras que en el C.G. de una mezcla con aditivo tendrá 3 dígitos.

### 3.6.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.034:2021 “CONCRETO. Determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5ª Edición”.

Se realizó 180 ensayos en especímenes conformados por una mezcla sin aditivo. En este ensayo, se realizaron 6 especímenes para cada variante de mezcla para edades de 7 y 28 días. Las variantes corresponden a cada porcentaje de agregado fino reciclado en mezcla (0, 10, 25, 50 y 100) para cada relación agua cemento (0.50, 0.45 y 0.40).

Así mismo, se realizaron 36 ensayos en especímenes conformados por una mezcla con aditivo superplastificante. Las variantes de mezcla con aditivo son seis (para cada relación agua cemento y porcentajes de agregado fino reciclado de 50 y 100). Para cada una de estas variantes se ensayaron 6 especímenes como mínimo.

En la Figura 32 se presenta una foto del aparato para ensayo de resistencia a compresión; la cual consta de un compartimiento en el que va el espécimen, el motor encargado de ejercer la presión al espécimen y una pantalla donde se

puede indicar las dimensiones de la probeta y su posición (vertical para ensayo a compresión y horizontal para ensayo a tracción).



**Figura 32** Aparato para ensayo de resistencia a compresión.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 33 se muestra cómo se miden los diámetros de un espécimen con un vernier (o pie de rey). Para el caso de ensayos a compresión se realizan dos mediciones del diámetro en la mitad de la altura de la probeta (o espécimen) y dos mediciones de la altura de la probeta.

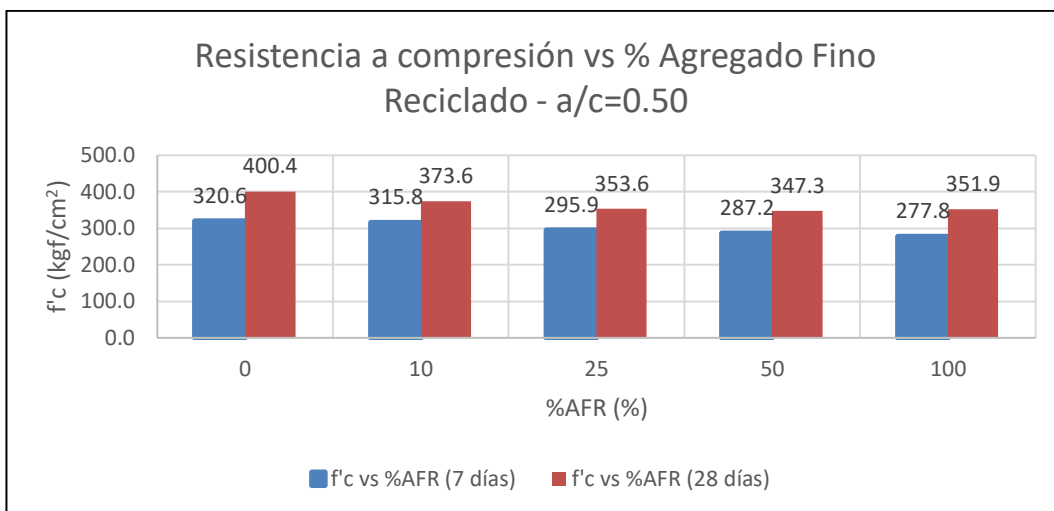


**Figura 33** Medición de diámetro de un espécimen cilíndrico de 4"x8".

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°07 (Tabla 78 y Tabla 79) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión para mezclas con a/c de 0.50 y con edades

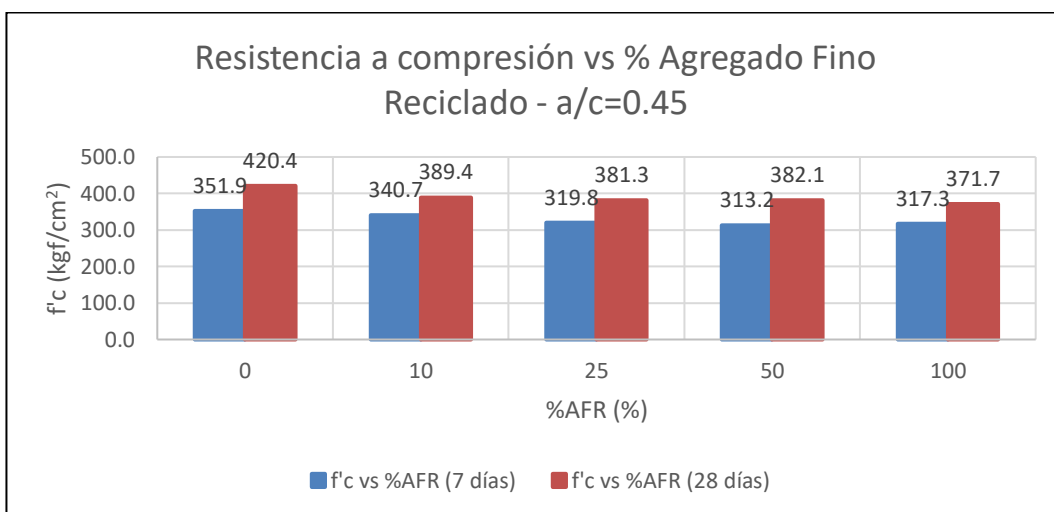
de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 34 muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 34** Resistencia a compresión vs %AFR –  $a/c = 0.50$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

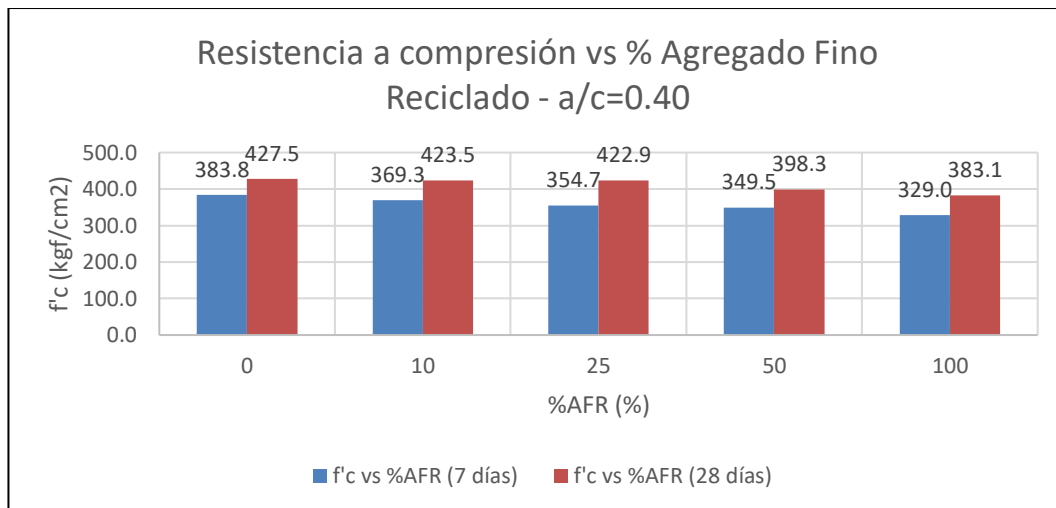
En el Anexo N°08 (Tabla 80 y Tabla 81) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión para mezclas con  $a/c$  de 0.45 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 35 muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 35** Resistencia a compresión vs %AFR –  $a/c = 0.45$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°09 (Tabla 32 y Tabla 33) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión para mezclas con a/c de 0.40 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 36 muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).

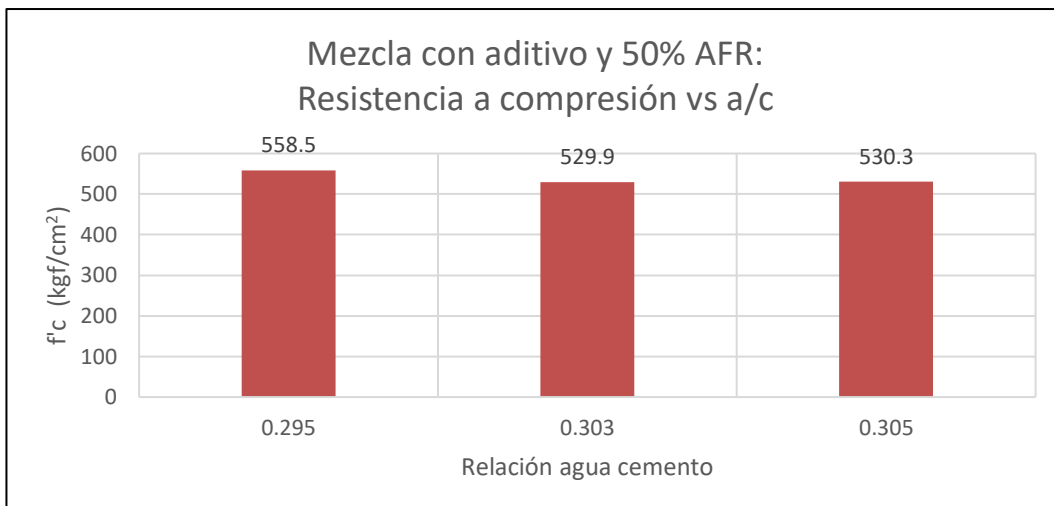


**Figura 36** Resistencia a compresión vs %AFR – a/c = 0.40.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la presente investigación también se realizaron ensayos de compresión a 28 días en mezclas con aditivo superplastificante. Estos resultados se dividieron en dos grupos, las mezclas que contienen 50% de AFR y las mezclas que contienen 100% de AFR.

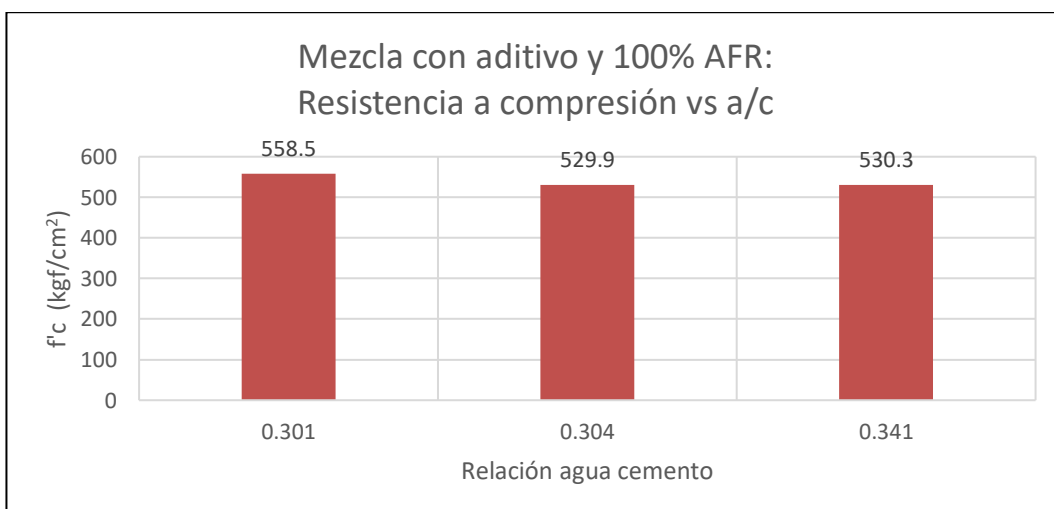
Respecto a los ensayos de resistencia a compresión en mezclas con aditivo; en Anexo N° 10 (Tabla 84) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión a 28 días de las mezclas que contienen 50% de agregado fino reciclado para sus 3 relaciones a/c (0.295, 0.303 y 0.305). La Figura 37 muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión de cada variante de mezcla con 50% de AFR y aditivo, respecto a sus relaciones agua cemento.



**Figura 37** Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 50.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Respecto a los ensayos de resistencia a compresión en mezclas con aditivo; en el Anexo N°11 (Tabla 85) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a compresión a 28 días de las mezclas que contienen 100% de agregado fino reciclado para sus 3 relaciones a/c (0.301, 0.304 y 0.341). La Figura 38 muestra los resultados promedio de la resistencia a compresión de cada variante de mezcla con 50% de AFR y aditivo, respecto a sus relaciones agua cemento.



**Figura 38** Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 100.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



### 3.6.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN

Los ensayos de resistencia a tracción se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.084:2012 “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª Edición”.

Se realizó un aproximado de 105 ensayos en especímenes conformados por una mezcla sin aditivo. En este ensayo se realizaron, como mínimo, 3 especímenes por cada variante de mezcla para ser ensayados a edad de 7 días y 4 especímenes por cada variante de mezcla para ser ensayados a edad de 28 días. Las variantes corresponden a cada porcentaje de agregado fino reciclado en mezcla (0, 10, 25, 50 y 100) para cada relación agua cemento (0.50, 0.45 y 0.40).

Cabe recalcar que para este ensayo no se usaron mezclas con aditivo, puesto que esas mezclas solo se ensayaron a compresión a una edad de 28 días.

En la Figura 39 se presenta una foto del aparato para ensayo de resistencia a tracción, es la misma que se usa para compresión. Además, se muestra una probeta ensayada (en posición horizontal) que alcanzó la rotura.



**Figura 39** Aparato para ensayo de resistencia a tracción.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 se muestra cómo se miden las alturas de un espécimen con un vernier. Para el caso de ensayos a tracción se realizan tres mediciones del

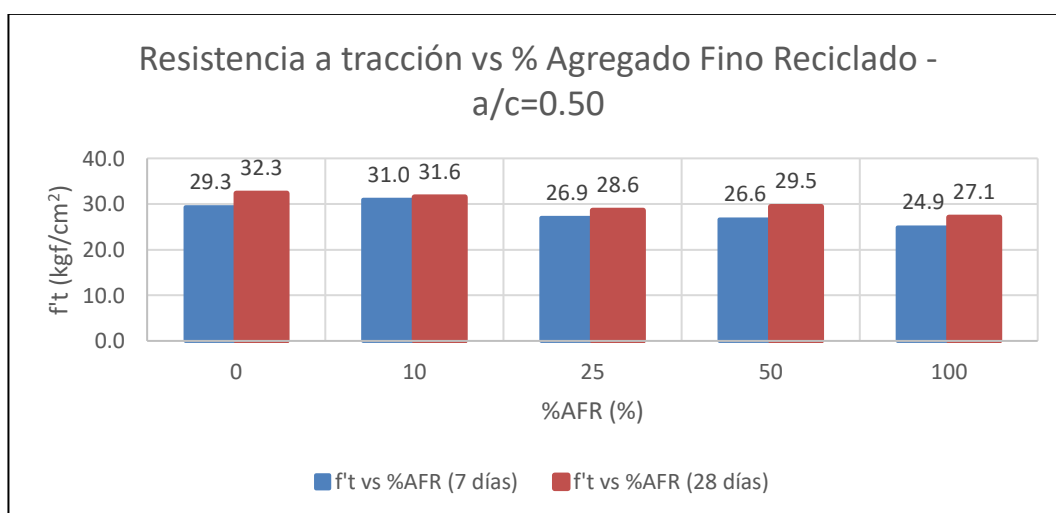
diámetro de la probeta (una en cada extremo, y una en el centro de su altura) y dos mediciones de la altura de la probeta.



**Figura 40** Medición de altura de un espécimen cilíndrico de 4"x8".

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°12 (Tabla 86 y Tabla 87) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a tracción para mezclas con  $a/c$  de 0.50 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 41 muestra los resultados promedio de la resistencia a tracción de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



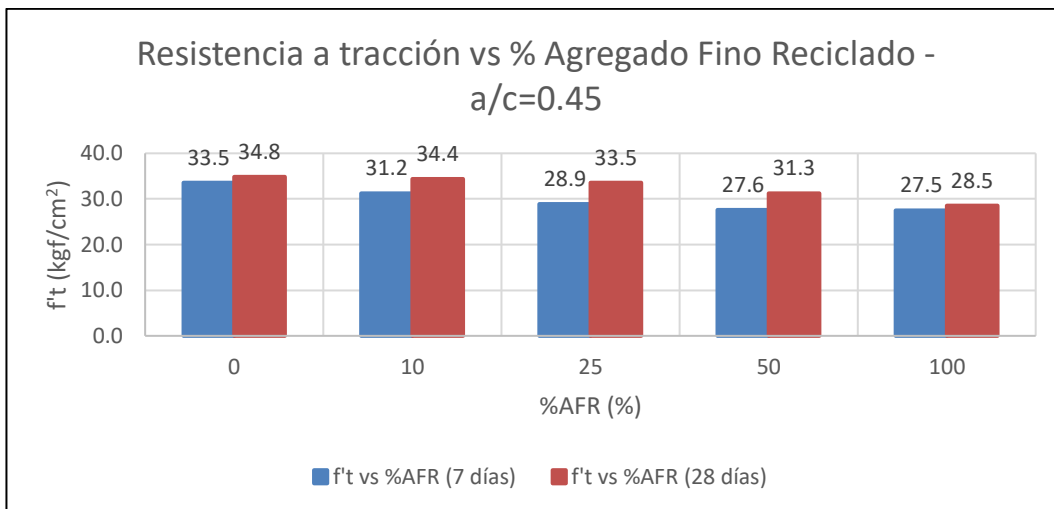
**Figura 41** Resistencia a tracción vs %AFR –  $a/c = 0.50$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°13 (Tabla 88 y Tabla 89) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a tracción para mezclas con  $a/c$  de 0.45 y con edades de 7

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

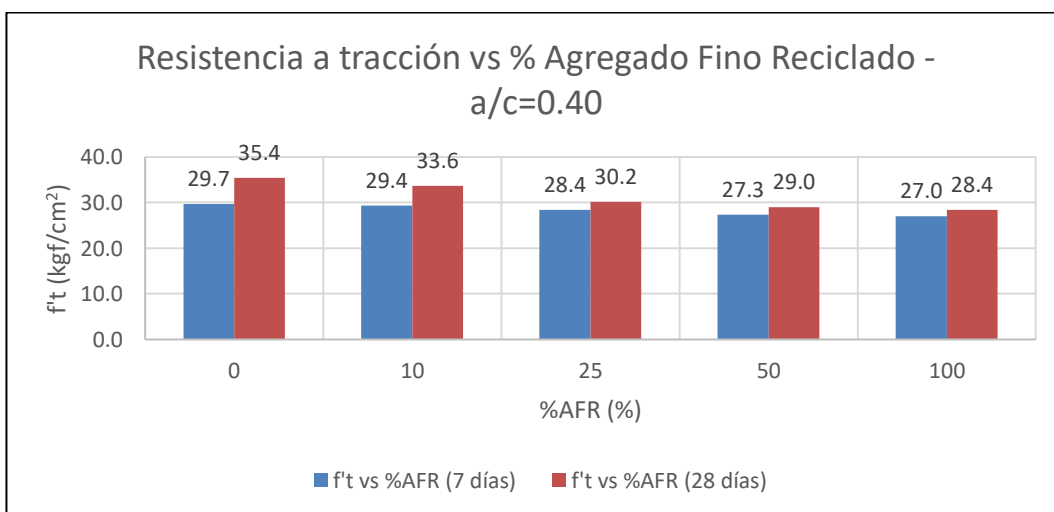
y 28 días respectivamente. La Figura 42 muestra los resultados promedio de la resistencia a tracción de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 42** Resistencia a tracción vs %AFR – a/c = 0.45.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°14 (Tabla 90 y Tabla 91) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a tracción para mezclas con a/c de 0.40 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 43 muestra los resultados promedio de la resistencia a tracción de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 43** Resistencia a tracción vs %AFR – a/c = 0.40.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Los ensayos de resistencia a flexión se realizaron siguiendo el procedimiento y los requerimientos indicados en la NTP 339.078:2012 “CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. 3ª Edición”.

Se realizaron 105 ensayos en especímenes conformados por una mezcla sin aditivo. En este ensayo se realizaron 3 especímenes por cada variante de mezcla para ser ensayados a edad de 7 días y 4 especímenes por cada variante de mezcla para ser ensayados a edad de 28 días. Las variantes corresponden a cada porcentaje de agregado fino reciclado en mezcla (0, 10, 25, 50 y 100) para cada relación agua cemento (0.50, 0.45 y 0.40).

Cabe recalcar que para este ensayo no se usaron mezclas con aditivo, puesto que esas mezclas solo se ensayaron a compresión a una edad de 28 días.

En la Figura 44 se presenta una foto del aparato para ensayo de resistencia a flexión; la cual consta de un compartimiento en el que va el espécimen, el motor encargado de ejercer la presión al espécimen y un dial que indica la fuerza que el aparato ejerce a la viga. La velocidad con la que crece la fuerza aplicada es controlada, como se ve en la figura, en todo momento por un técnico debidamente capacitado.



**Figura 44** Aparato para ensayo de resistencia a flexión.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

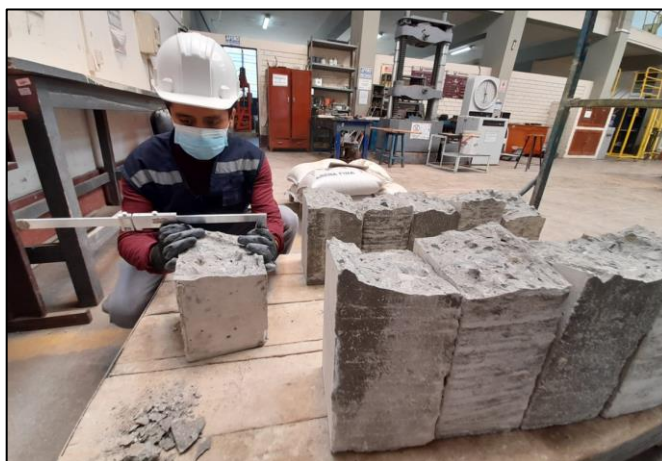
En la Figura 45 se presenta una foto de una viga ya ensayada. Una vez alcanzada la rotura se tiene que ver si esta ocurrió dentro del tercio medio de la luz de la viga o no, esto porque dependiendo de ello se usará una fórmula u otra para el cálculo del módulo de rotura.



**Figura 45** Viga después del ensayo de resistencia a flexión.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 46 se presenta una foto que muestra la medición de la sección de rotura de un conjunto de vigas ensayadas. En la sección de rotura se deben medir tres alturas y tres anchos, con estas medidas se calcula el área de la sección, que nos sirve para calcular el módulo de rotura.

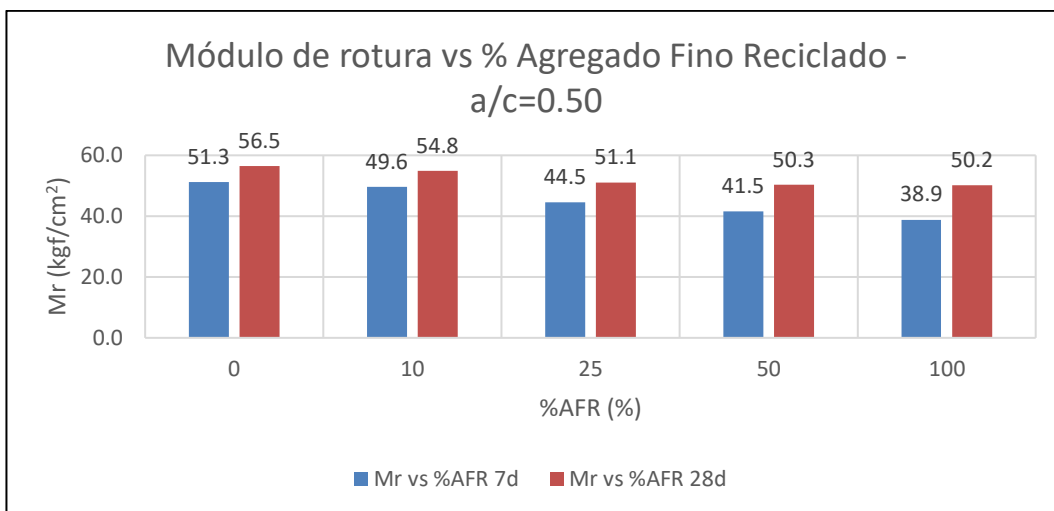


**Figura 46** Ensayo de resistencia a flexión. Medición de la sección donde se produjo la rotura.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°15 (Tabla 92 y Tabla 93) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a flexión para mezclas con a/c de 0.50 y con edades de 7 y

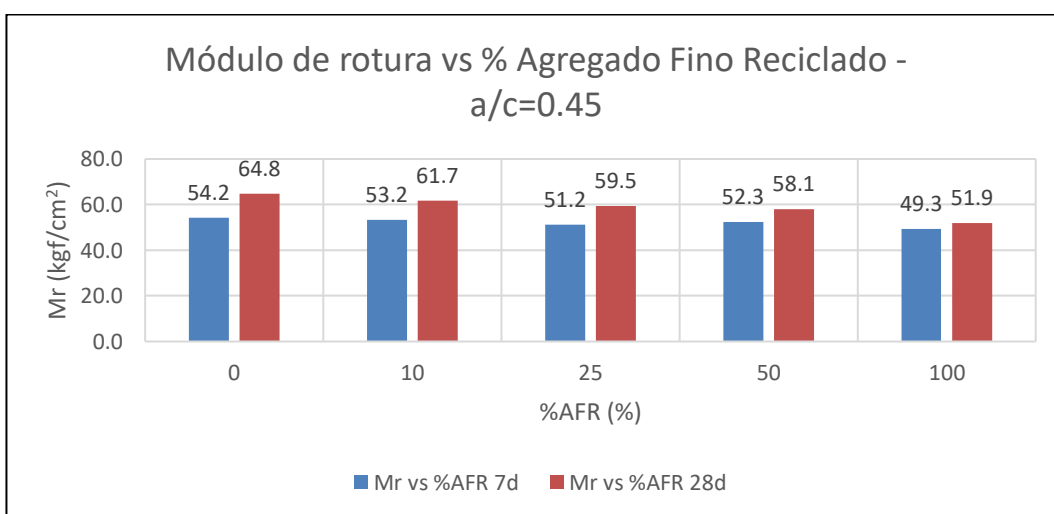
28 días respectivamente. La Figura 47 muestra los resultados promedio del módulo de rotura de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 47** Módulo de rotura vs %AFR –  $a/c = 0.50$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

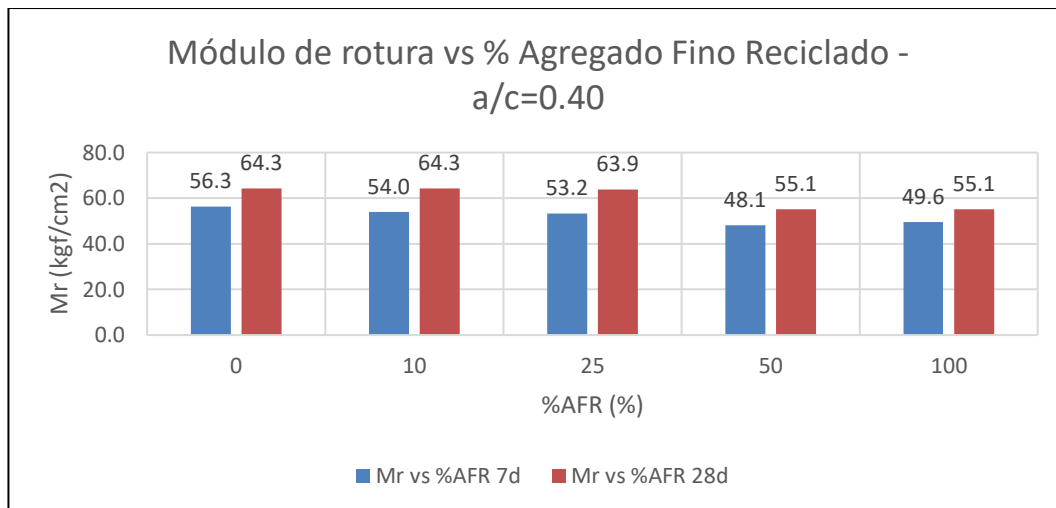
En el Anexo N°16 (Tabla 94 y Tabla 95) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a flexión para mezclas con  $a/c$  de 0.45 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 48 muestra los resultados promedio del módulo de rotura de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 48** Módulo de rotura vs %AFR –  $a/c = 0.45$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo N°17 (Tabla 96 y Tabla 97) se muestran los resultados del ensayo de resistencia a flexión para mezclas con a/c de 0.40 y con edades de 7 y 28 días respectivamente. La Figura 49 muestra los resultados promedio del módulo de rotura de cada variante de mezcla respecto a los porcentajes de agregado fino reciclado (%AFR).



**Figura 49** Módulo de rotura vs %AFR – a/c = 0.40.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

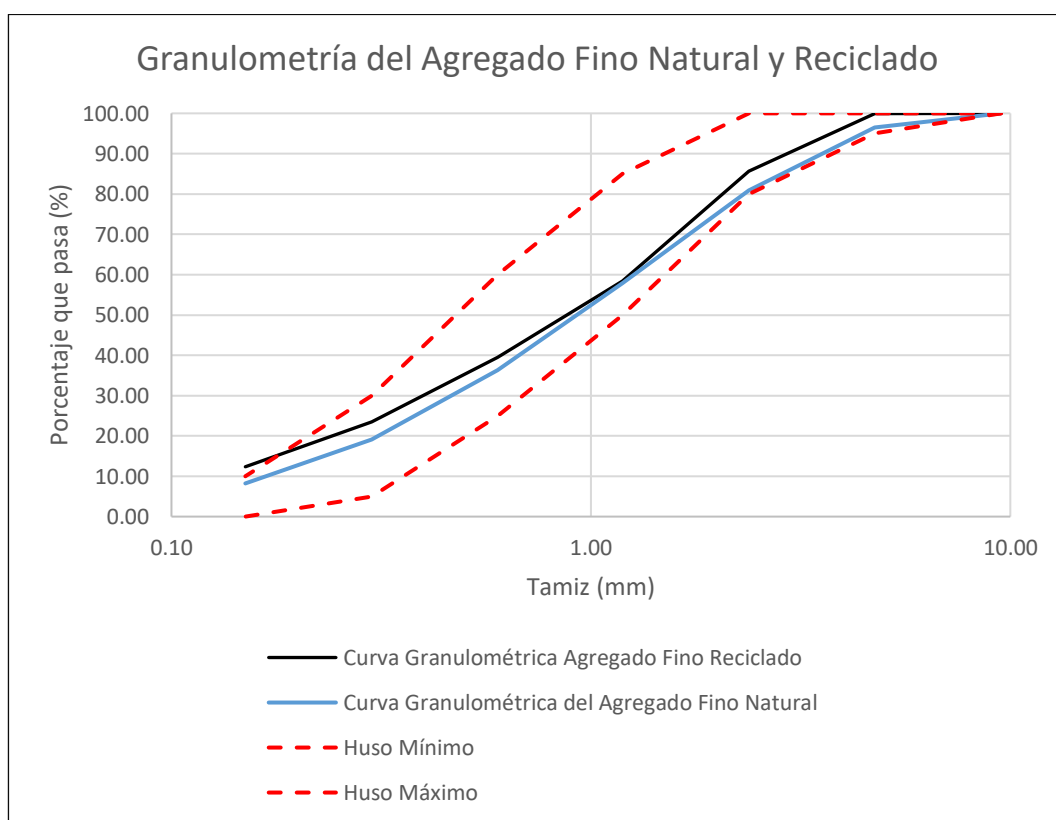
## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN LOS AGREGADOS

#### 4.1.1 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

##### ▪ Curvas granulométricas

Las curvas granulométricas obtenidas del agregado fino natural y el agregado fino reciclado se encuentran en la Figura 2 y Figura 6 respectivamente. Para realizar una comparación entre estas se presenta la Figura 50 que contiene ambas curvas en una sola figura.



**Figura 50** Granulometría del agregado fino natural y reciclado.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 50 se puede apreciar que la curva granulométrica del agregado fino natural está dentro del huso establecido por la NTP 400.037:2021, mientras que la curva granulométrica del agregado fino reciclado no. Esto se debe a que en el agregado fino reciclado hubo más cantidad de partículas finas (12.36%) que atraviesan la malla N°100, cuyo tamaño de tamiz es de 0.15 mm, que en el agregado fino natural (8.23%) y que los establecidos la norma técnica (de 0% a 10%).



La norma técnica establece que, respecto a la granulometría del agregado fino, esta no debe tener más del 45% del material que atraviesa en alguna malla y retenido en la malla consecutiva. Ambos agregados finos, natural y reciclado, cumplieron con esta exigencia.

Respecto a la curva granulométrica obtenida del agregado grueso (natural), en la Figura 5 se pudo apreciar que dicha curva está dentro del requisito granulométrico del agregado grueso exigido por el Huso 5 (para un tamaño máximo nominal de 1" a 0.5"). Cabe mencionar que la norma técnica ofrece varios husos a usar, de los cuales se seleccionó ese huso como el adecuado.

- **Tamaño Máximo (TM) y Tamaño Máximo Nominal (TMN)**

La Tabla 28 muestra el TM y TMN obtenidos para todos los agregados usados. Como se puede apreciar, los valores obtenidos para ambos agregados finos (natural y reciclado) son los mismos.

**Tabla 28**

Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal de los agregados.

	Agregado Fino Natural	Agregado Fino Reciclado	Agregado Grueso
Tamaño Máximo	4.75mm (malla N°4)	4.75mm (malla N°4)	25.40mm (1")
Tamaño Máximo Nominal	2.38mm (malla N°8)	2.38mm (malla N°8)	19.05mm (3/4")

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

- **Módulo de fineza**

En la Tabla 5 y Tabla 6 se presentaron los módulos de fineza (o finura) del AFN y del AFR, obteniendo valores de 3.01 y 2.81 respectivamente. El Módulo de fineza es un indicador del tamaño promedio del agregado, por lo cual se podría decir que el AFR es más fino (es decir, contiene partículas más finas) que el AFN.

La norma técnica nos dice que los valores de módulo de fineza de agregados finos deben estar entre 2.3 y 3.1, por lo que ambos valores son aceptables.

- **Material fino que pasa la malla N°200**

La norma técnica indica que para agregados reciclados (manufacturados o artificiales), este valor no debe ser mayor a 5% para concretos afectados por abrasión, ni mayor a 7% para concretos que no afectados por abrasión.

En la Tabla 7 se presentó el valor obtenido del porcentaje de material del agregado fino reciclado que atraviesa la malla N°200, que fue de 2.70%. Por lo que el agregado fino reciclado usado cumple con esta exigencia.

#### 4.1.2 ANÁLISIS DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

La NTP 400.021:2020, que trata sobre el agregado grueso, exige una cantidad mínima de muestra a ensayar según el TMN de este. El valor de TMN obtenido fue de 1", para el cual la norma establece que se deberían ensayar 4kg como mínimo, y se optó por ensayar una masa de casi 5kg (como se puede ver en la Tabla 9).

La NTP 400.022:2020, que trata sobre el agregado fino, nos dice que para el método usado (procedimiento con picnómetro), una cantidad de 500g es lo recomendado si se cuenta con un matraz de 500 cm<sup>3</sup>. Por lo que se usó el peso recomendado de 500g.

Los resultados de los ensayos de Peso específico y Absorción de los agregados se presentaron en la sección 3.1.3 (Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10). A continuación, se presenta la Tabla 29, que resume los resultados obtenidos.

**Tabla 29**

Peso específico y Absorción de los agregados.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS			
Propiedades del:	Agregado Fino Natural	Agregado Fino Reciclado	Agregado Grueso
Peso específico aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2.69	2.48	2.77
Absorción (%)	2.09	7.88	0.92

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 49 muestra que el Peso Específico del AFR es ligeramente menor (en 12%) que el del AFN. Como era de esperarse, debido al tipo de agregado, el valor de la Absorción para el AG fue menor a la del AFN y AFR. Además, el valor de la Absorción del AFR fue casi 4 veces la obtenida para el AFN.

#### 4.1.3 ANÁLISIS DEL PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD

La NTP 400.021:2020 trata acerca del ensayo de Peso Unitario. Y exige que la capacidad del recipiente a usar dependa del TMN del agregado a ensayar. Para el AF, al tener un TMN siempre menor a 1/2", se usó el recipiente de volumen

1/10 pie<sup>3</sup> (o 0.0028 m<sup>3</sup>). Para el AG, como se mostró en la Figura 48, el TMN obtenido fue de 3/4" y se usó la capacidad de recipiente exigida para un TMN de 1", de volumen de 1/3 pie<sup>3</sup> (o 0.0093 m<sup>3</sup>).

La NTP 339.185:2021 trata acerca del ensayo de Contenido de Humedad. Y exige una cantidad mínima del agregado a ensayar según su TMN. Para el AF, de TMN de 2.38 mm (malla N°8), se usó la cantidad exigida para un TMN de 4.75 mm (malla N°4) que es de 500 g. Para el AG, con TMN de 3/4", se usaron 4kg, que es 1kg más de lo exigido por la norma.

Los resultados de los ensayos de Peso unitario y Contenido de humedad de los agregados se presentaron en la sección 3.1.4 (Tabla 11 a Tabla 16). A continuación, se presenta la Tabla 30, que resume los resultados obtenidos.

**Tabla 30**

Peso unitario y Contenido de humedad de los agregados.

PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS			
Propiedades del:	Agregado Fino Natural	Agregado Fino Reciclado	Agregado Grueso
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1681.39	1402.17	1403.58
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1800.83	1513.62	1560.57
Contenido de Humedad (%)	1.99	7.97	0.52

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 50 muestra que los valores de PUS y PUC del AFR fueron menores, en un 20%, que los obtenidos para el AFN; e incluso fueron menores, aunque cercanos, a los valores obtenidos para el AG. El valor de Contenido de humedad del AFR fue casi 4 veces el obtenido para el AFN.

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO

### 4.2.1 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO

En la sección 3.4.1 se mostraron los resultados de los ensayos de asentamiento realizados. En la Tabla 31 se muestran los valores obtenidos para cada relación agua cemento y su variación ( $\Delta$ ) porcentual respecto al patrón (aquellas mezclas con 0% de AFR).

**Tabla 31**

Asentamientos obtenidos y su variación porcentual.

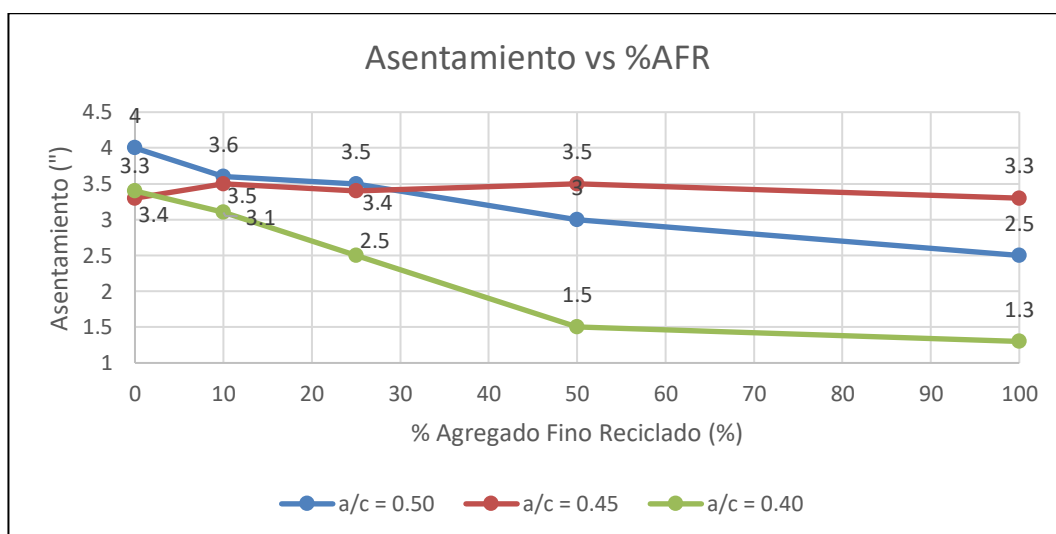
%AFR	a/c = 0.50	$\Delta$ (%)	a/c = 0.45	$\Delta$ (%)	a/c = 0.40	$\Delta$ (%)
0	4	0.0	3.3	0.0	3.4	0.0
10	3.6	-10.0	3.5	6.1	3.1	-8.8
25	3.5	-12.5	3.4	3.0	2.5	-26.5
50	3	-25.0	3.5	6.1	1.5	-55.9
100	2.5	-37.5	3.3	0.0	1.3	-61.8

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En el diseño de la mezcla, se escogió que el concreto resultante debería tener una consistencia plástica, la cual se da obteniendo asentamientos de entre 3" y 4". Esto se logró, puesto que los valores registrados de asentamiento de los diseños patrón (%AFR = 0) fueron 4.0", 3.3" y 3.4" para las relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente.

Los valores obtenidos indicaron que para las relaciones a/c de 0.50 y 0.40 el asentamiento disminuía conforme aumentaba el %AFR. Para la relación a/c de 0.45 no se obtuvo una tendencia definida, pero al ver que los valores fluctúan entre 3.3" y 3.5" se podría concluir que el asentamiento se mantuvo constante.

Además, para las relaciones a/c de 0.50 y 0.40 el mínimo asentamiento obtenido fue con un %AFR de 100, donde se redujo en 37.5% y 61.8%.

**Figura 51** Asentamiento vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 51 se resume de forma gráfica los valores de asentamientos obtenidos, donde cada curva representa una relación a/c.

#### 4.2.2 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO

En la sección 3.4.2 se mostraron los resultados de los ensayos de peso unitario del concreto. En la Tabla 32 se muestran los valores obtenidos para cada relación agua cemento y su variación ( $\Delta$ ) porcentual respecto al patrón (aquellas mezclas con 0% de AFR).

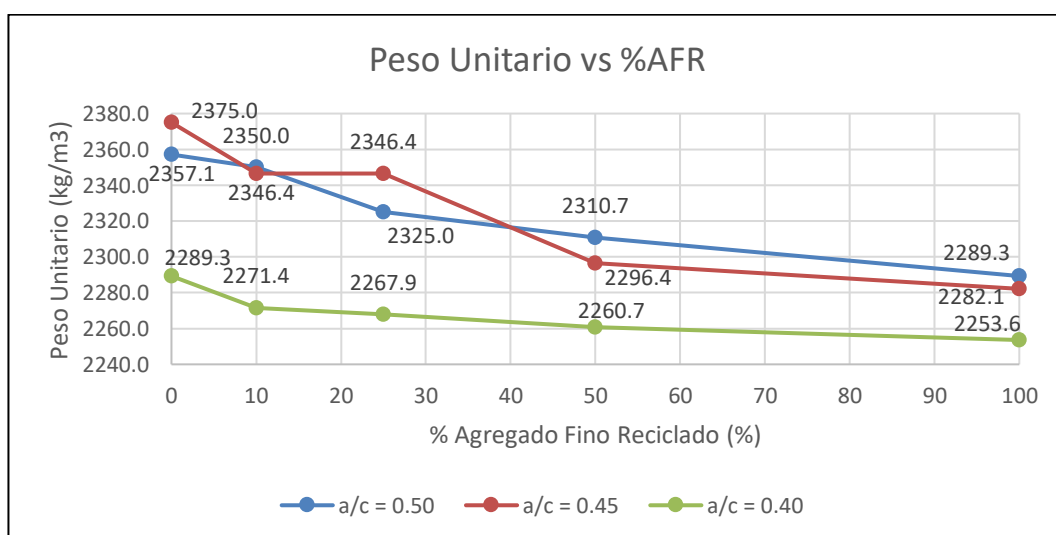
**Tabla 32**

Pesos Unitarios obtenidos y su variación porcentual.

%AFR	a/c = 0.50	$\Delta$ (%)	a/c = 0.45	$\Delta$ (%)	a/c = 0.40	$\Delta$ (%)
0	2357.1	0.0	2375.0	0.0	2289.3	0.0
10	2350.0	-0.3	2346.4	-1.2	2271.4	-0.8
25	2325.0	-1.4	2346.4	-1.2	2267.9	-0.9
50	2310.7	-2.0	2296.4	-3.3	2260.7	-1.2
100	2289.3	-2.9	2282.1	-3.9	2253.6	-1.6

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos indicaron que para todas las relaciones a/c el peso unitario disminuía conforme aumentaba el %AFR. Sin embargo, la disminución del valor del peso unitario fue ínfima, porque las variaciones máximas (obtenidas para 100% de AFR) fueron de 2.9%, 3.9% y 1.6% para las relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente.



**Figura 52** Peso Unitario vs %AFR (0, 10, 25, 50 y 100).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

En la Figura 52 se resume de forma gráfica los valores de pesos unitarios obtenidos, donde cada curva representa una relación a/c.

En esta figura se aprecia que los valores obtenidos para las relaciones a/c de 0.50 y 0.45 fueron muy similares (puesto que las curvas se entrecruzan), mientras que los valores para la relación de 0.40 fueron menores. Sin embargo, esta disminución de valores de peso unitario entre relaciones a/c fue pequeña, puesto que la máxima variación entre valores de distinto a/c (la cual se dio entre valores para a/c 0.45 y 0.40, ambos para 0% de AFR) fue de solo 3.7%.

#### 4.2.3 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE

En la sección 3.4.3 se mostraron los resultados de los ensayos de contenido de aire en el concreto. Cabe recordar que este ensayo solo se realizó para la relación a/c de 0.50.

En la Tabla 33 se muestran los valores obtenidos de Contenido de Aire y su variación ( $\Delta$ ) porcentual respecto al patrón (0% de AFR).

**Tabla 33**

Contenidos de aire obtenidos y su variación porcentual.

%AFR	Contenido de aire (%)	$\Delta$ Contenido de Aire (%)
0	1.40	0.0
10	1.50	7.1
25	1.70	21.4
50	1.80	28.6
100	1.95	39.3

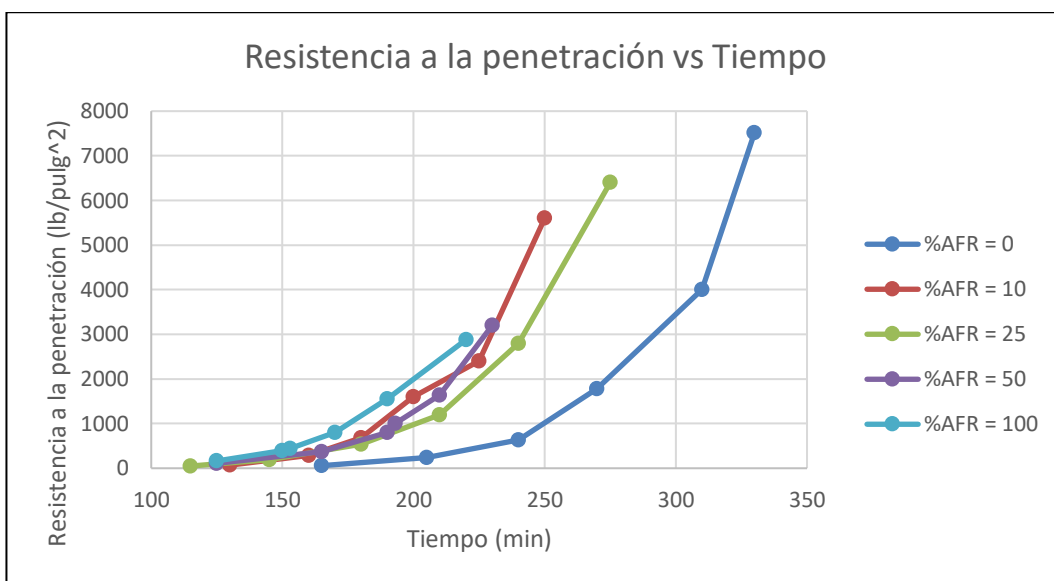
*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos indicaron que el contenido de aire aumentaba mientras mayor era el %AFR en la mezcla. La variación máxima respecto al patrón fue de 39.3%, donde se alcanzó un valor de casi 2% de contenido de aire en la mezcla. Este incremento del contenido de aire puede ser beneficioso según el clima donde vaya a estar el concreto, puesto que disminuye el riesgo de que este se desintegre debido a un proceso continuo de hielo-deshielo.

#### 4.2.4 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO

En la sección 3.4.4 se mostraron los resultados de los ensayos de tiempo de fraguado del concreto. Cabe recordar que este ensayo solo se realizó para la

relación a/c de 0.50. Los valores obtenidos de la Resistencia a la penetración vs Tiempo (Tabla 23 a Tabla 27), se muestran graficados en la Figura 53.



**Figura 53** Valores registrados de Resistencia a la penetración vs Tiempo.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 34 se muestra un resumen de los Tiempos de fragua inicial y final obtenidos según cada variante de la mezcla con relación a/c de 0.50, en las cuales varía el %AFR. Cabe recordar que el tiempo de fraguado inicial se alcanza cuando la resistencia a la penetración alcanza el valor de 500 lb/pulg<sup>2</sup> y el tiempo de fraguado final cuando se alcanza el valor de 4000 lb/pulg<sup>2</sup>.

**Tabla 34**

Tiempos de fraguado inicial y final según %AFR.

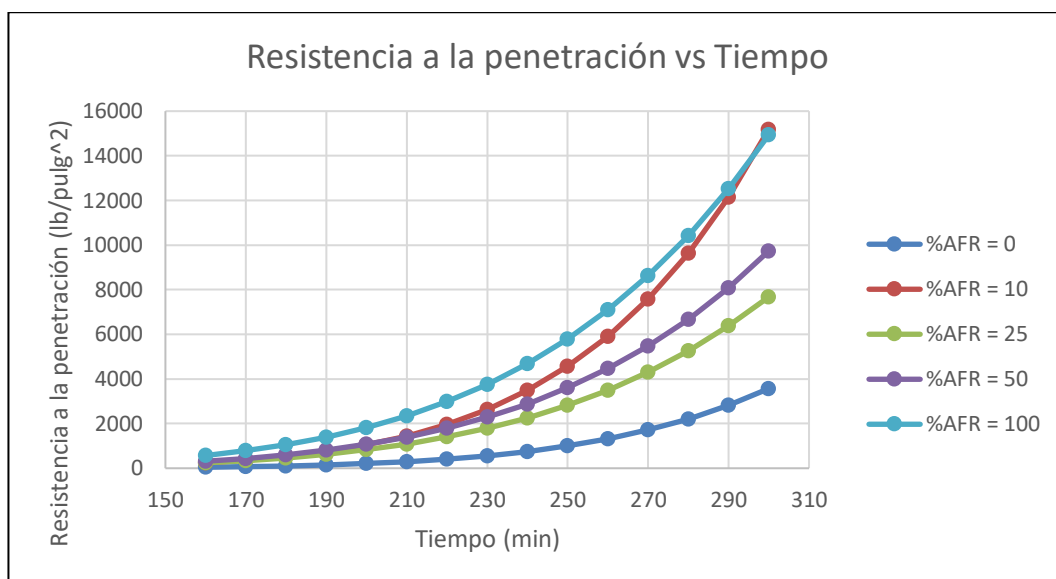
Tiempos de fraguado inicial y final según %AFR					
% Agregado Fino Reciclado (%):	0	10	25	50	100
Tiempo de fraguado inicial (min):	227	173	183	175	157
Tiempo de fraguado final (min):	305	237	267	255	233

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

De esta tabla se pudo deducir que a mayor porcentaje de agregado fino reciclado (%AFR) en la mezcla, el tiempo de fraguado disminuía.

Al tener lecturas con tiempos de fragua tan distintos, la Figura 53 no muestra de forma clara las curvas que representan. Es por eso que en la Figura 54 se muestran las gráficas de las ecuaciones exponenciales, de la forma  $Y=A*(X^B)$ , respecto a un rango óptimo de tiempo que contenga los tiempos de

fragua inicial y final (desde el minuto 160, al minuto 300). Estas ecuaciones se mostraron en las figuras de la sección 3.4.4 (Figura 26 a Figura 30).



**Figura 54** Gráficas de Resistencia a la penetración vs Tiempo.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la Tabla 54 y la Figura 54, se puede ver que el tiempo de fraguado disminuía conforme el %AFR aumentaba, a excepción de la curva obtenida para %AFR de 10. Además, para valores de %AFR de 25 y 50 se obtuvieron curvas similares (puesto que estas fueron cercanas entre sí) y los valores de tiempo de fragua inicial y final variaron muy poco (12 min respecto al fraguado inicial y 12 min respecto al fraguado final).

### 4.3 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

#### 4.3.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

- **Relación a/c = 0.50**

Los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.50 se mostraron en la Figura 34.

En la Tabla 35 se muestra los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

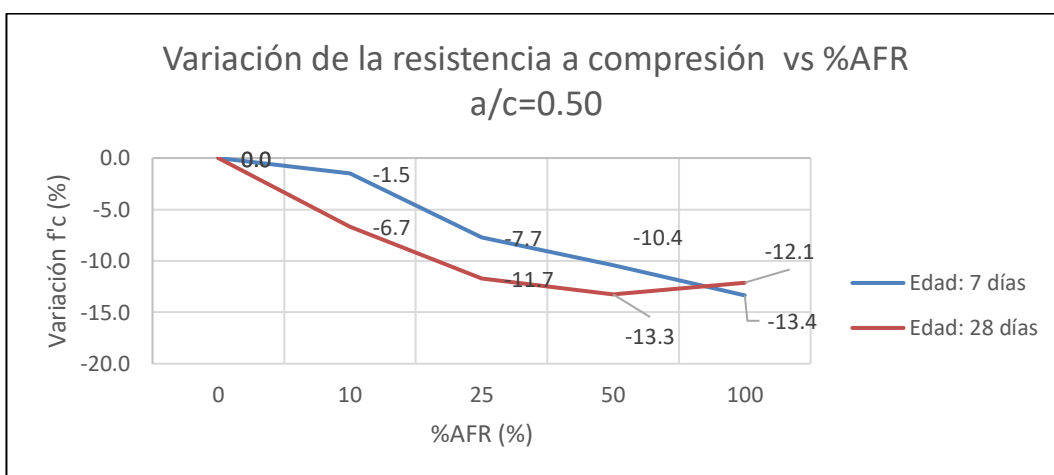


**Tabla 35**Resistencia a compresión y su variación ( $a/c = 0.50$ ).

<b>a/c = 0.50</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>Δf'c (%) respecto al patrón</b>	
	<b>%AFR</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>	<b>7 días</b>
0	320.6	400.4	0.0	0.0
10	315.8	373.6	-1.5	-6.7
25	295.9	353.6	-7.7	-11.7
50	287.2	347.3	-10.4	-13.3
100	277.8	351.9	-13.4	-12.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 55 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a compresión según el %AFR en la mezcla.

**Figura 55** Variación de la Resistencia a compresión ( $a/c = 0.50$ ).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a compresión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la máxima variación fue de 6.7%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 25% de AFR, la resistencia a compresión disminuía en promedio (de ambas edades) un aproximado de 10% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a compresión similares al patrón.

Para mezclas con más de 25% de AFR, la resistencia a compresión disminuyó hasta un máximo de 13.4% con respecto al patrón.

▪ **Relación a/c = 0.45**

Los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.45 se mostraron en la Figura 35.

En la Tabla 36 se muestra los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

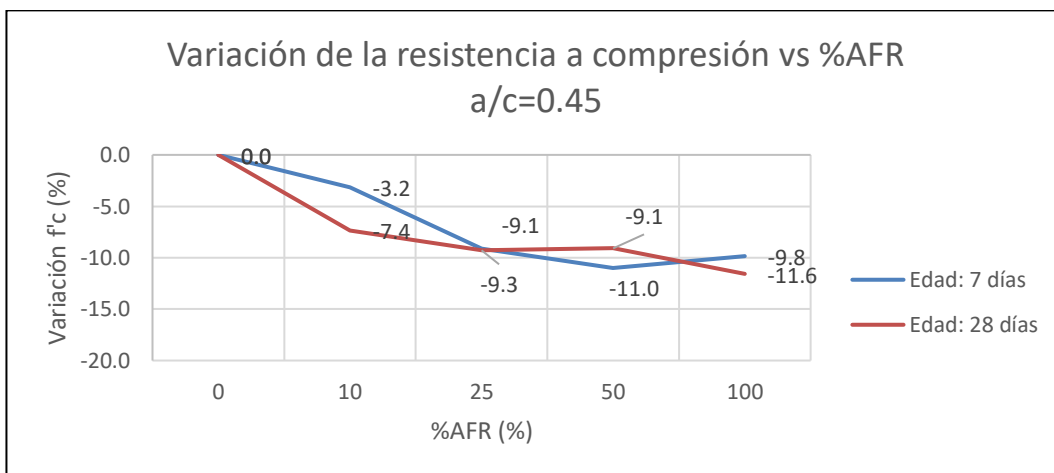
**Tabla 36**

Resistencia a compresión y su variación (a/c = 0.45).

a/c=0.45 %AFR	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )		Δf'c (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	351.9	420.4	0.0	0.0
10	340.7	389.4	-3.2	-7.4
25	319.8	381.3	-9.1	-9.3
50	313.2	382.1	-11.0	-9.1
100	317.3	371.7	-9.8	-11.6

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 56 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a compresión según el %AFR en la mezcla.



**Figura 56** Variación de la Resistencia a compresión (a/c = 0.45).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a compresión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la máxima variación fue de 7.4%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 50% de AFR, la resistencia a compresión disminuía en promedio (de ambas edades) un aproximado de 10% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a compresión similares al patrón.

Para la mezcla con 100% de AFR, la resistencia a compresión disminuyó hasta un máximo de 11.6% con respecto al patrón.

▪ **Relación a/c = 0.40**

Los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.50 se mostraron en la Figura 36.

En la Tabla 37 se muestra los valores promedio de resistencia a compresión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

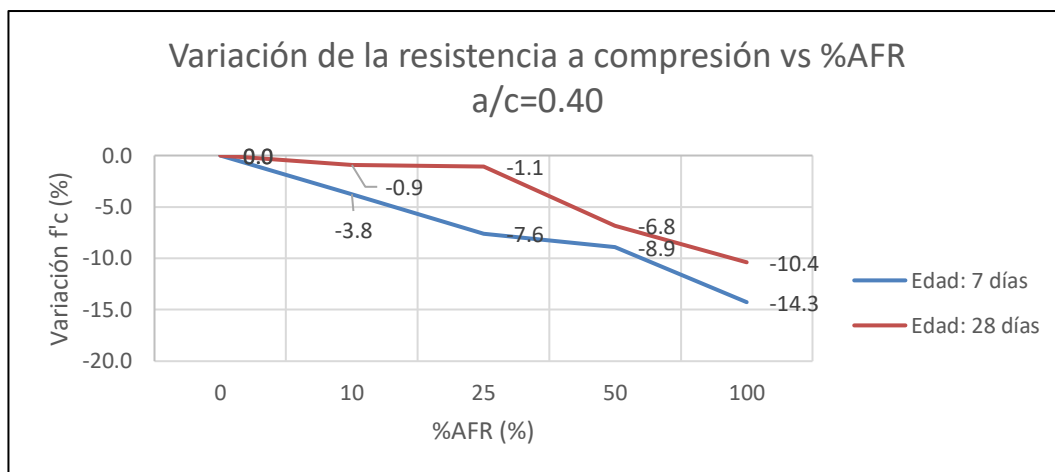
**Tabla 37**

Resistencia a compresión y su variación (a/c = 0.40).

a/c=0.40 %AFR	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )		Δf'c (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	383.8	427.5	0.0	0.0
10	369.3	423.5	-3.8	-0.9
25	354.7	422.9	-7.6	-1.1
50	349.5	398.3	-8.9	-6.8
100	329.0	383.1	-14.3	-10.4

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 57 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a compresión según el %AFR en la mezcla.



**Figura 57** Variación de la Resistencia a compresión (a/c = 0.40).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a compresión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la máxima variación fue de 3.8%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 50% de AFR, la resistencia a compresión disminuía en promedio (de ambas edades) un aproximado de 8% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a compresión similares al patrón.

Para la mezcla con 100% de AFR, la resistencia a compresión disminuyó hasta un máximo de 14.3% con respecto al patrón.

#### ▪ Resistencia a compresión a 7 días

**Tabla 38**

Comparación entre  $f'c$  a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c.

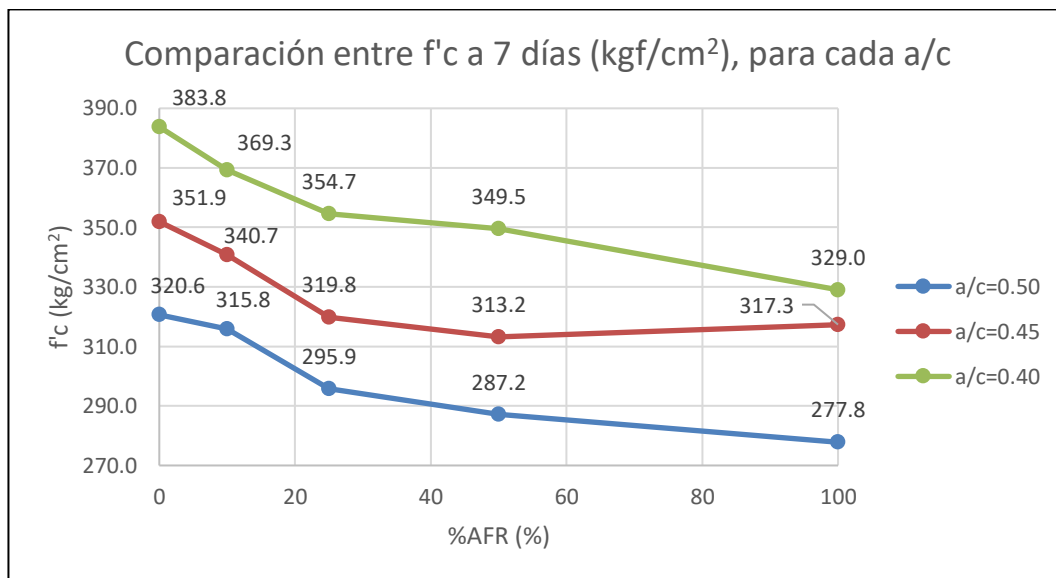
%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	320.6	315.8	295.9	287.2	277.8
a/c=0.45	351.9	340.7	319.8	313.2	317.3
a/c=0.40	383.8	369.3	354.7	349.5	329.0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 38 agrupa los valores promedio de las resistencias a compresión con edad de 7 días. Estos valores se presentaron en la Figura 34, Figura 35 y

Figura 36, donde se presentaron las resistencias a compresión promedio obtenidas en concretos con edades de 7 y 28 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla.

En la Figura 58 se presenta los valores de la Tabla 38 de forma gráfica.



**Figura 58** Comparación entre  $f'c$  a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada  $a/c$ .

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que todos los valores de resistencia a compresión a 7 días obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.45 estuvieron comprendidos entre los valores obtenidos para las relaciones  $a/c$  de 0.50 y 0.40.

La tendencia para las 3 relaciones  $a/c$  fue que a mayor %AFR, menor resistencia a compresión a 7 días. Como caso que no seguía la tendencia se registró la variación entre los valores para 50% y 100% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.45.

**Tabla 39**

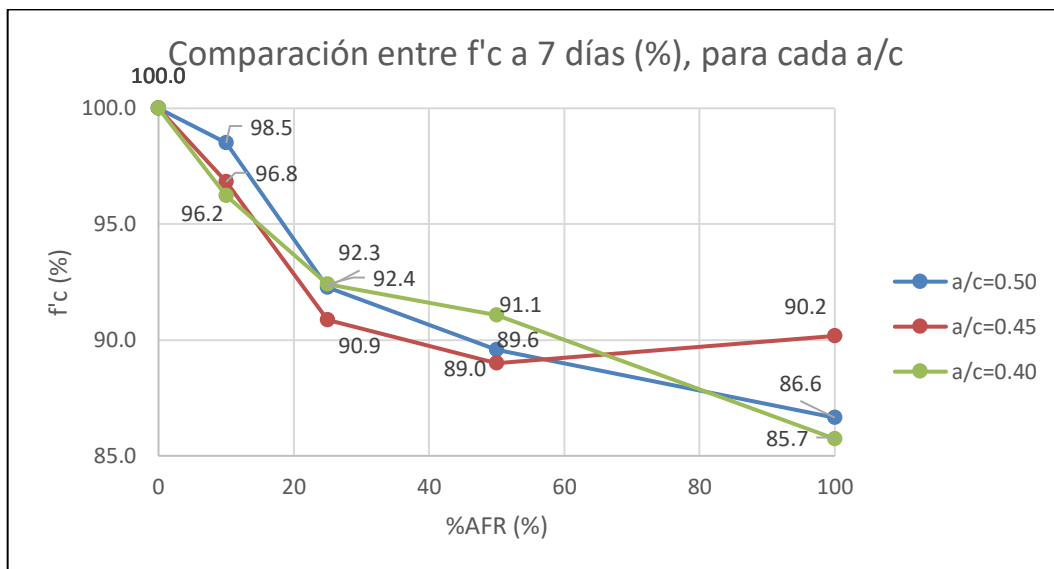
Comparación entre  $f'c$  a 7 días (%), para cada  $a/c$ .

%AFR	0	10	25	50	100
$a/c=0.50$	100.0	98.5	92.3	89.6	86.6
$a/c=0.45$	100.0	96.8	90.9	89.0	90.2
$a/c=0.40$	100.0	96.2	92.4	91.1	85.7

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 39 se presenta los valores de la Tabla 38 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación a/c comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

En la Figura 59 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 39.



**Figura 59** Comparación entre  $f'_c$  a 7 días (%), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

#### ▪ Resistencia a compresión a 28 días

En la Figura 34, Figura 35 y Figura 36 se presentó las resistencias a compresión promedio obtenidas en concretos con edades de 7 y 28 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla. La Tabla 40 agrupa los valores con edad de 28 días.

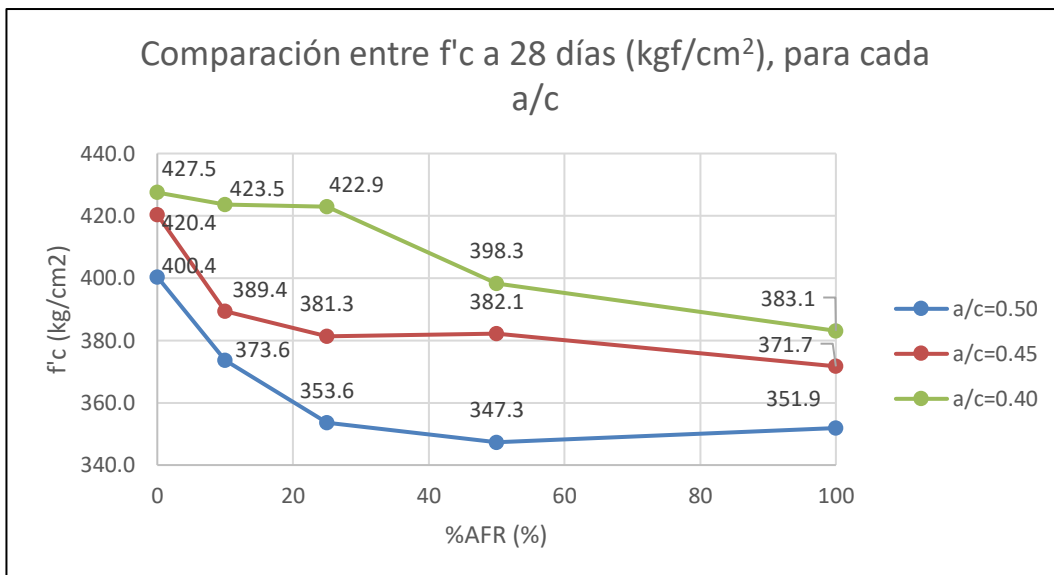
**Tabla 40**

Comparación entre  $f'_c$  a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	400.4	373.6	353.6	347.3	351.9
a/c=0.45	420.4	389.4	381.3	382.1	371.7
a/c=0.40	427.5	423.5	422.9	398.3	383.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 60 se presenta los valores de la Tabla 40 de forma gráfica.



**Figura 60** Comparación entre  $f'_c$  a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada  $a/c$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que todos los valores de resistencia a compresión a 28 días obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.45 estuvieron comprendidos entre los valores obtenidos para las relaciones  $a/c$  de 0.50 y 0.40.

La tendencia para las 3 relaciones  $a/c$  fue que a mayor %AFR, menor resistencia a compresión a 28 días. Como casos que no seguían la tendencia se registraron las variaciones entre los valores para 25% y 50% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.45, y entre los valores para 50% y 100% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.40.

En la Tabla 41 se presenta los valores de la Tabla 40 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación  $a/c$  comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

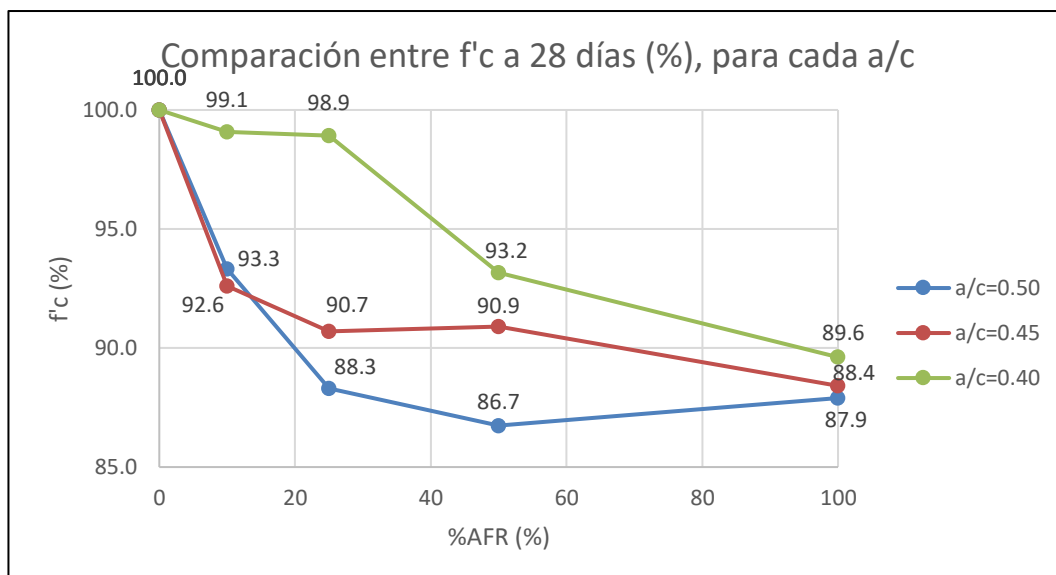
**Tabla 41**

Comparación entre  $f'_c$  a 28 días (%), para cada  $a/c$ .

%AFR	0	10	25	50	100
$a/c=0.50$	100.0	93.3	88.3	86.7	87.9
$a/c=0.45$	100.0	92.6	90.7	90.9	88.4
$a/c=0.40$	100.0	99.1	98.9	93.2	89.6

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 61 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 41.



**Figura 61** Comparación entre  $f'c$  a 28 días (%), para cada  $a/c$ .

Nota. Fuente: Elaboración propia.

#### ▪ Mezclas con aditivo

En mezclas con aditivo solo se realizaron ensayos de compresión a 28 días. Además, estas mezclas únicamente contuvieron 50% o 100% de AFR. Es decir, no se realizaron mezclas con aditivo para %AFR de 0, 10 o 25. Por lo tanto, para el análisis se realizó una comparación entre la resistencia a compresión de mezclas con 50% de AFR y otra entre la resistencia a compresión de mezclas con 100% de AFR.

El objetivo de estas comparaciones fue obtener una gráfica en la que se pudiera reflejar la Ley de Abrams, que establece que la variación de la resistencia a esfuerzos mecánicos en un concreto endurecido es inversamente proporcional a la relación  $a/c$ . La ley establece que la resistencia sigue una ecuación de la forma " $F=A/(B^{a/c})$ " donde  $F$  es el valor de la resistencia, los valores de  $A$  y  $B$  son constantes y el exponente  $a/c$  es la relación agua cemento.

Para las mezclas con 50% de AFR se tuvieron las relaciones  $a/c$  de 0.295, 0.303, 0.305, 0.400, 0.450 y 0.500. Las tres primeras contuvieron aditivo y las tres restantes fueron variaciones de los diseños patrón (que tienen un %AFR de 50) en las que no se añadió aditivo. La Tabla 42 muestra el promedio de la resistencia a compresión obtenida para esas relaciones  $a/c$ .



**Tabla 42**

Resistencia a compresión para Relación a/c (%AFR = 50).

Resistencia a compresión para cada Relación a/c (%AFR = 50)						
a/c	0.295	0.303	0.305	0.400	0.450	0.500
f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	558.5	529.9	530.3	398.3	382.1	347.3

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cabe recordar que de las mezclas con relaciones a/c iniciales de 0.50, 0.45 y 0.40 se obtuvieron las relaciones a/c resultantes de 0.305, 0.303 y 0.295 por medio de añadir aditivo superplastificante y mantener fija la cantidad de cemento.

Para las mezclas con 100% de AFR se tuvieron las relaciones a/c de 0.301, 0.304, 0.341, 0.400, 0.450 y 0.500. Las tres primeras contuvieron aditivo y las tres restantes fueron variaciones de los diseños patrón (que tienen un %AFR de 100) en las que no se añadió aditivo. La Tabla 43 muestra el promedio de la resistencia a compresión obtenida para esas relaciones a/c.

**Tabla 43**

Resistencia a compresión para Relación a/c (%AFR = 100).

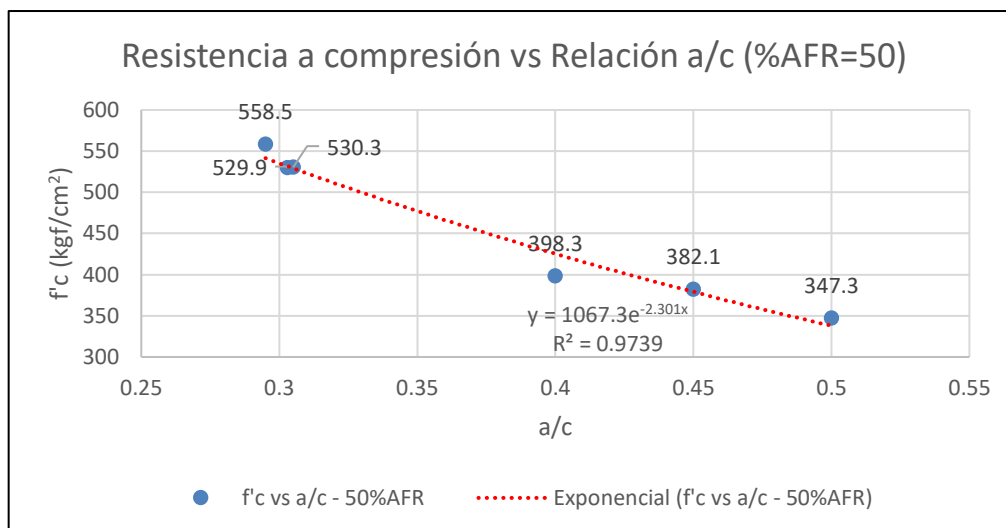
Resistencia a compresión para cada Relación a/c (%AFR = 100)						
a/c	0.301	0.304	0.341	0.400	0.450	0.500
f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	548.8	466.4	446.5	383.1	371.7	351.9

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cabe recordar que de las mezclas con relaciones a/c iniciales de 0.50, 0.45 y 0.40 se obtuvieron las relaciones a/c resultantes de 0.341, 0.304 y 0.301 por medio de añadir aditivo superplastificante y mantener fija la cantidad de cemento.

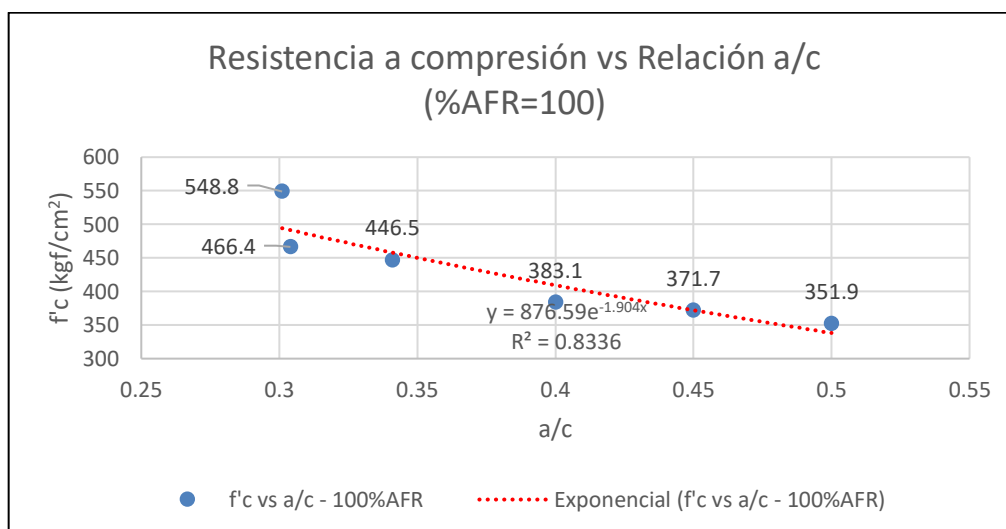
Con los valores de ambas tablas se puede decir que se cumplió lo establecido en la Ley de Abrams, puesto que para mayores valores de relaciones a/c se obtuvieron menores valores de resistencia a compresión. Cabe recordar que los ensayos de resistencia a compresión analizados, se obtuvieron de concretos con una edad de 28 días.

La Figura 62 y Figura 63 muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 42 y Tabla 43 respectivamente. Además, en ambas figuras se muestra con líneas punteadas la curva que tiene una ecuación de la forma " $F=A/(B^{a/c})$ ", que es la establecida según la Ley de Abrams. En la figura también se muestra la ecuación a la que se aproxima dicha curva.



**Figura 62** Resistencia a compresión vs Relación a/c (%AFR = 50).

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 63** Resistencia a compresión vs Relación a/c (%AFR = 100).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Entonces, se obtuvo que las mezclas que contienen %AFR de 50 y 100 cumplieron con la Ley de Abrams. Por lo tanto, esta ley se puede aplicar correctamente a concretos con grandes porcentajes de reemplazo, pudiendo ser incluso un reemplazo total, de AFR por AFN en su composición.

#### 4.3.2 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

- **Relación a/c = 0.50**

Los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.50 se mostraron en la Figura 41.

En la Tabla 44 se muestra los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

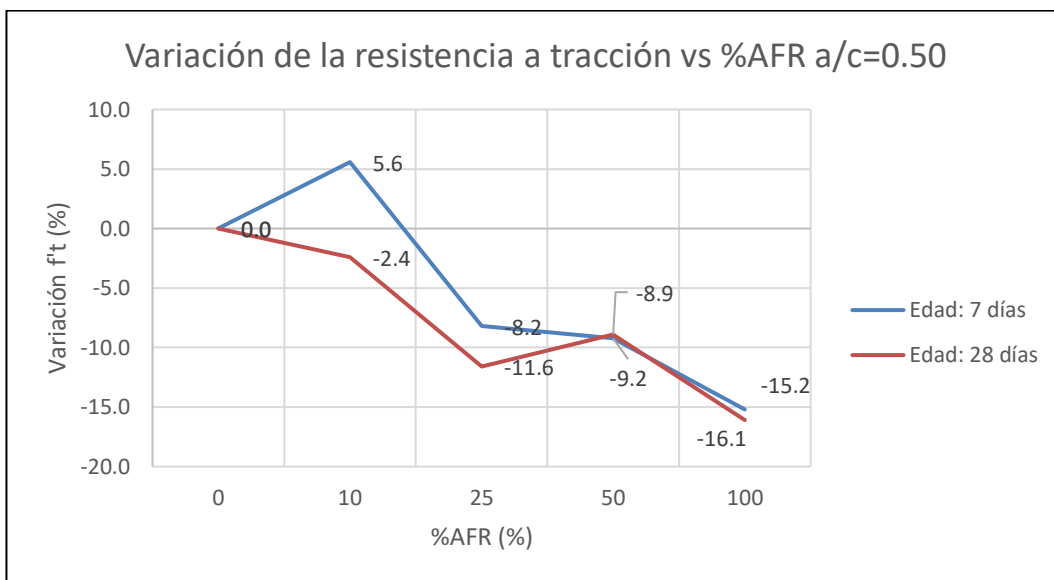
**Tabla 44**

Resistencia a tracción y su variación (a/c = 0.50).

a/c=0.50 %AFR	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )		Δf't (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	29.3	32.3	0.0	0.0
10	31.0	31.6	5.6	-2.4
25	26.9	28.6	-8.2	-11.6
50	26.6	29.5	-9.2	-8.9
100	24.9	27.1	-15.2	-16.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 64 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a tracción según el %AFR en la mezcla.



**Figura 64** Variación de la Resistencia a tracción (a/c = 0.50).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a tracción disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que las variaciones muestran un aumento de 5.6% a 7 días y una disminución de 2.4% a 28 días. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 50% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó en promedio (de ambas edades) un aproximado de 10% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a tracción similares al patrón.

Para la mezcla con 100% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó hasta un máximo de 16.1% con respecto al patrón.

▪ **Relación a/c = 0.45**

Los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.50 se mostraron en la Figura 42.

En la Tabla 45 se muestra los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

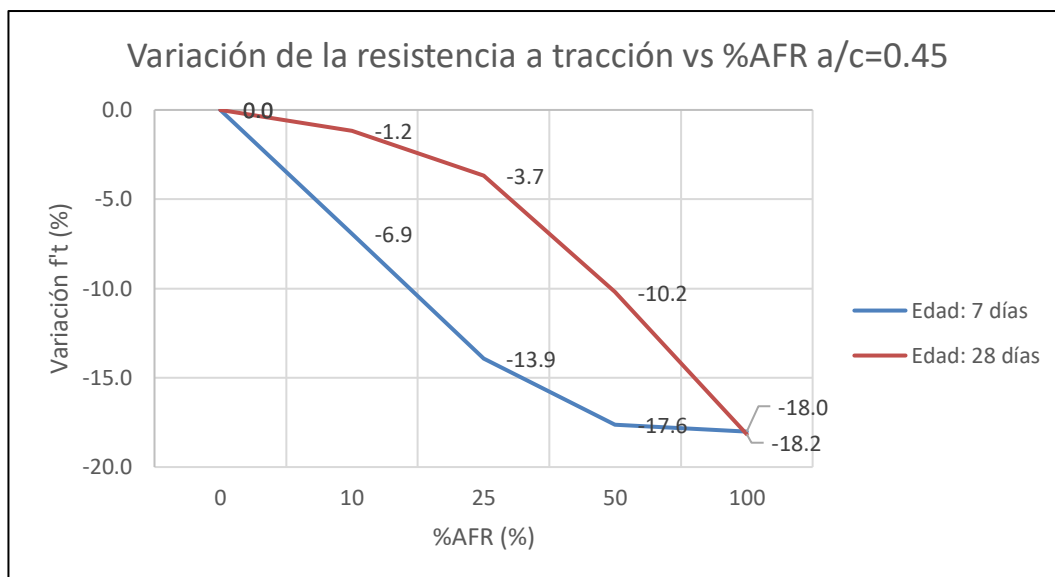
**Tabla 45**

Resistencia a tracción y su variación (a/c = 0.45).

a/c=0.45 %AFR	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )		Δf't (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	33.5	34.8	0.0	0.0
10	31.2	34.4	-6.9	-1.2
25	28.9	33.5	-13.9	-3.7
50	27.6	31.3	-17.6	-10.2
100	27.5	28.5	-18.0	-18.2

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 65 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a tracción según el %AFR en la mezcla.



**Figura 65** Variación de la Resistencia a tracción ( $a/c = 0.45$ ).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a tracción disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la variación máxima respecto al patrón fue de 6.9%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 25% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó en promedio (de ambas edades) un 8.8% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a tracción similares al patrón.

Para mezclas con más de 50% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó hasta un máximo de 18.2% con respecto al patrón.

#### ▪ Relación $a/c = 0.40$

Los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación  $a/c$  de 0.50 se mostraron en la Figura 43.

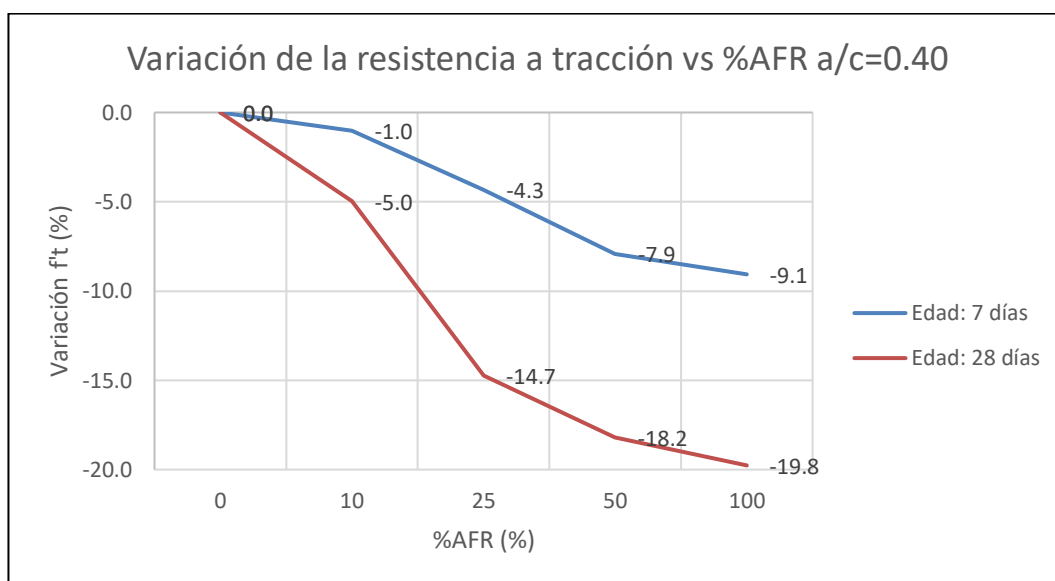
En la Tabla 46 se muestra los valores promedio de resistencia a tracción obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

**Tabla 46**Resistencia a tracción y su variación ( $a/c = 0.40$ ).

$a/c=0.40$	$f_t$ (kgf/cm <sup>2</sup> )		$\Delta f_t$ (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
%AFR	7 días	28 días	7 días	28 días
0	29.7	35.4	0.0	0.0
10	29.4	33.6	-1.0	-5.0
25	28.4	30.2	-4.3	-14.7
50	27.3	29.0	-7.9	-18.2
100	27.0	28.4	-9.1	-19.8

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 66 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a tracción según el %AFR en la mezcla.

**Figura 66** Variación de la Resistencia a tracción ( $a/c = 0.40$ ).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a tracción disminuyó.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la variación máxima respecto al patrón fue de 5%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 25% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó en promedio (de ambas edades) un 9.5% respecto a la resistencia del diseño

patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a tracción similares al patrón.

Para mezclas con más de 50% de AFR, la resistencia a tracción disminuyó hasta un máximo de 19.8% con respecto al patrón.

#### ▪ Resistencia a tracción a 7 días

En la Tabla 47 se presenta las resistencias a tracción obtenidas en concretos con edad de 7 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla.

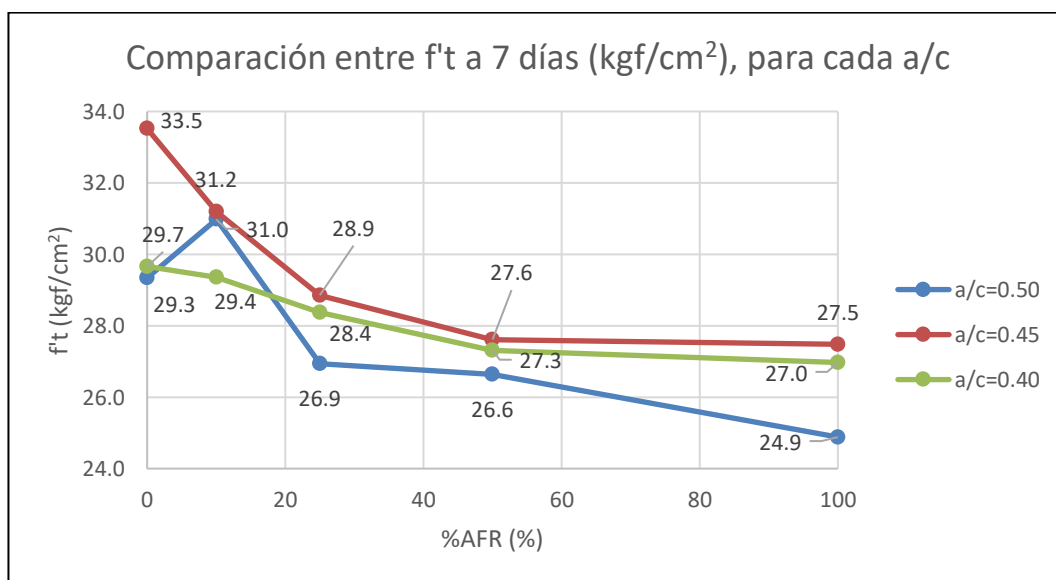
**Tabla 47**

Comparación entre  $f_t$  a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	29.3	31.0	26.9	26.6	24.9
a/c=0.45	33.5	31.2	28.9	27.6	27.5
a/c=0.40	29.7	29.4	28.4	27.3	27.0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 67 se presenta los valores de la Tabla 47 de forma gráfica.



**Figura 67** Comparación entre  $f_t$  a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que todos los valores de resistencia a tracción a 7 días obtenidos para la relación a/c de 0.50 fueron, en general, menores a los obtenidos para las relaciones a/c de 0.40 y 0.45. Sin embargo, los valores de

resistencia a tracción a 7 días obtenidos para la relación a/c de 0.40 fueron menores, aunque muy cercanos, a los obtenidos para la relación a/c de 0.45.

La tendencia para las 3 relaciones a/c fue que a mayor %AFR, menor resistencia a tracción a 7 días. Como caso que no seguía la tendencia se registró la variación entre los valores para 0% (diseño patrón) y 10% de AFR de la relación a/c de 0.50.

En la Tabla 48 se presenta los valores de la Tabla 47 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación a/c comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

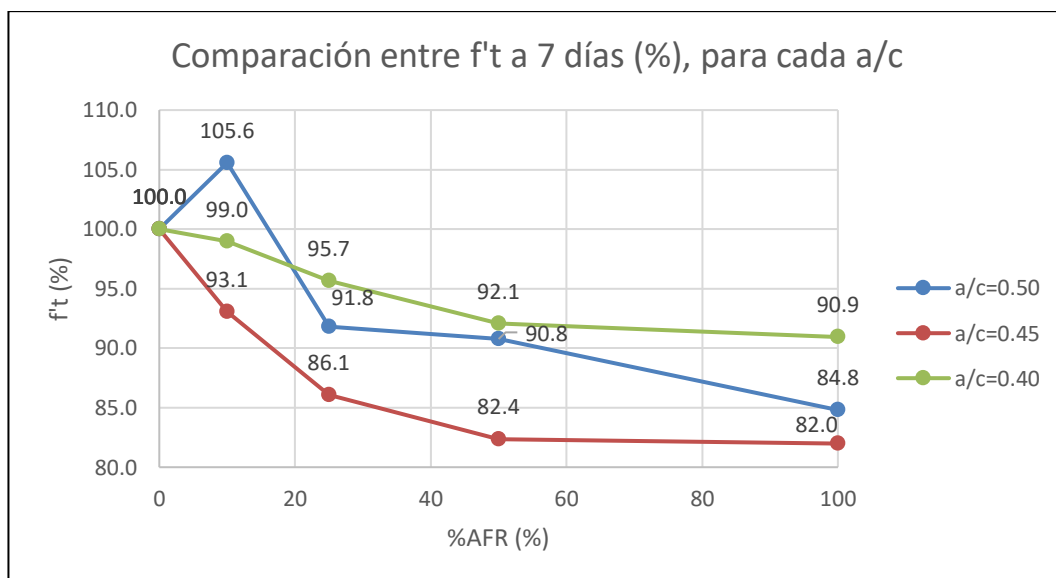
**Tabla 48**

Comparación entre  $f_t$  a 7 días (%), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	100.0	105.6	91.8	90.8	84.8
a/c=0.45	100.0	93.1	86.1	82.4	82.0
a/c=0.40	100.0	99.0	95.7	92.1	90.9

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 68 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 48.



**Figura 68** Comparación entre  $f_t$  a 7 días (%), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

- **Resistencia a tracción a 28 días**



En la Tabla 49 se presenta las resistencias a tracción obtenidas en concretos con edad de 28 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla.

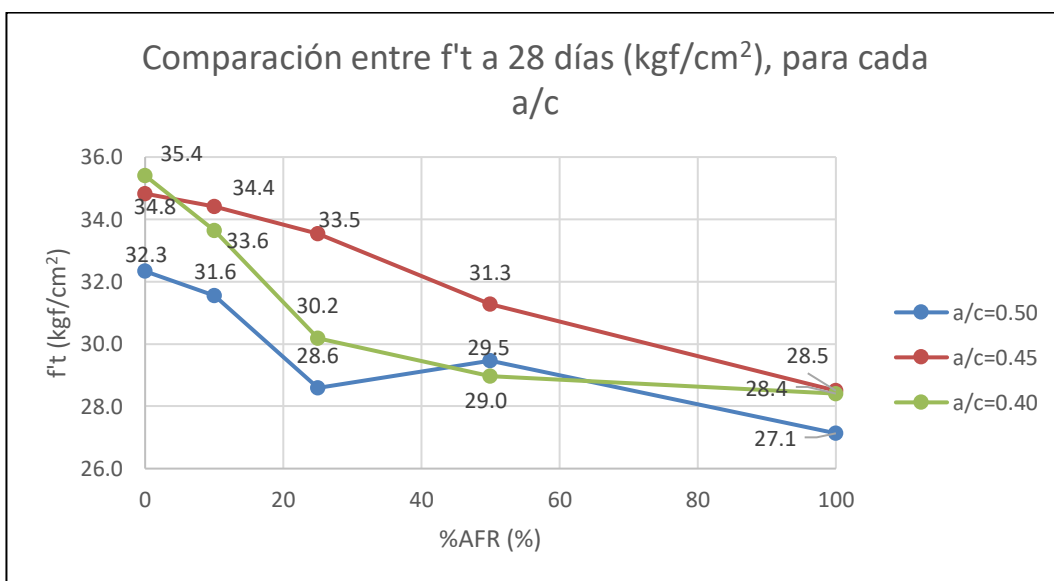
**Tabla 49**

Comparación entre  $f_t$  a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada  $a/c$ .

%AFR	0	10	25	50	100
$a/c=0.50$	32.3	31.6	28.6	29.5	27.1
$a/c=0.45$	34.8	34.4	33.5	31.3	28.5
$a/c=0.40$	35.4	33.6	30.2	29.0	28.4

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 69 se presenta los valores de la Tabla 49 de forma gráfica.

**Figura 69** Comparación entre  $f_t$  a 28 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada  $a/c$ .

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que, en general, los valores de resistencia a tracción a 28 días obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.50 fueron, en general, menores a los obtenidos para las relaciones  $a/c$  de 0.40 y 0.45. Sin embargo, los valores de resistencia a tracción a 7 días obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.40 fueron menores a los obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.45.

La tendencia para las 3 relaciones  $a/c$  fue que a mayor %AFR, menor resistencia a tracción a 28 días. Como casos que no seguían la tendencia se registró la variación entre los valores para 25% y 50% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.50.

En la Tabla 50 se presenta los valores de la Tabla 49 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación a/c comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

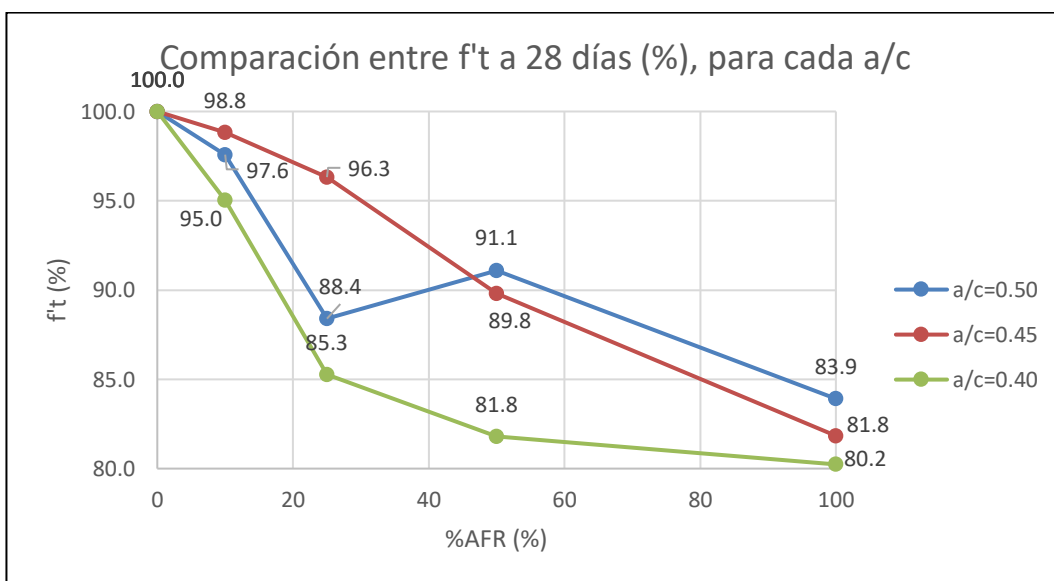
**Tabla 50**

Comparación entre  $f_t$  a 28 días (%), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	100.0	97.6	88.4	91.1	83.9
a/c=0.45	100.0	98.8	96.3	89.8	81.8
a/c=0.40	100.0	95.0	85.3	81.8	80.2

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 70 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 50.

**Figura 70** Comparación entre  $f_t$  a 28 días (%), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.3 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

##### ▪ Relación a/c = 0.50

Los valores de resistencia a flexión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.50 se mostraron en la Figura 47.

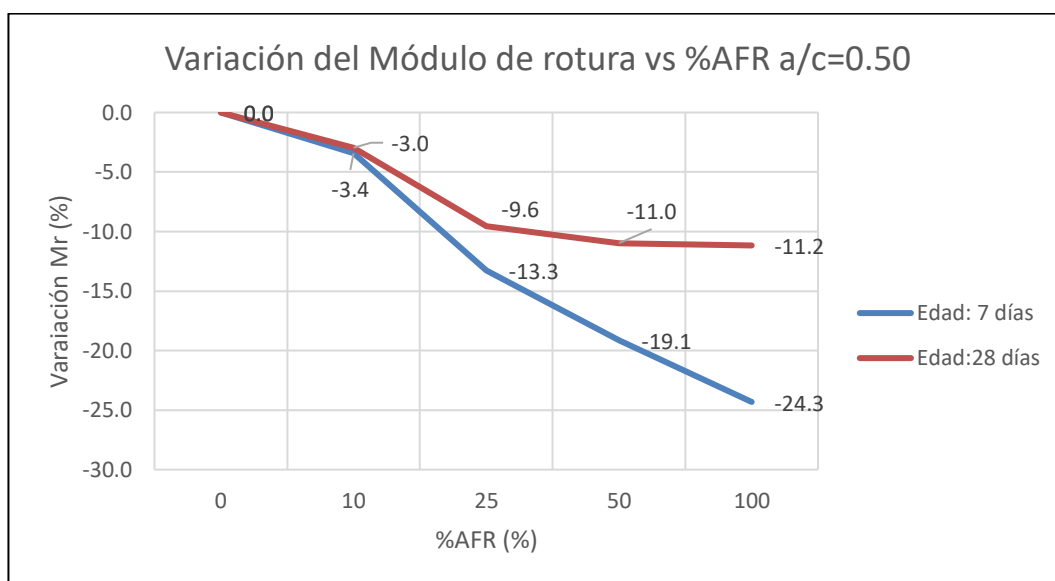
En la Tabla 51 se muestra los valores promedio de resistencia a flexión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

**Tabla 51**Resistencia a flexión y su variación ( $a/c = 0.50$ ).

<b>a/c=0.50</b>	<b>Mr (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>ΔMr (%) respecto al patrón</b>	
	<b>%AFR</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>	<b>7 días</b>
0	51.3	56.5	0.0	0.0
10	49.6	54.8	-3.4	-3.0
25	44.5	51.1	-13.3	-9.6
50	41.5	50.3	-19.1	-11.0
100	38.9	50.2	-24.3	-11.2

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 71 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a flexión según el %AFR en la mezcla.

**Figura 71** Variación del Módulo de rotura ( $a/c = 0.50$ ).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a flexión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la variación máxima fue de 3.4%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para la mezcla con 25% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó en promedio (de ambas edades) 11.45% respecto a la resistencia del diseño patrón.

Para las mezclas con 50% y 100% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó hasta un máximo de 24.3% respecto a la resistencia del diseño patrón.

▪ **Relación a/c = 0.45**

Los valores de resistencia a flexión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.45 se mostraron en la Figura 48.

En la Tabla 52 se muestra los valores promedio de resistencia a flexión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

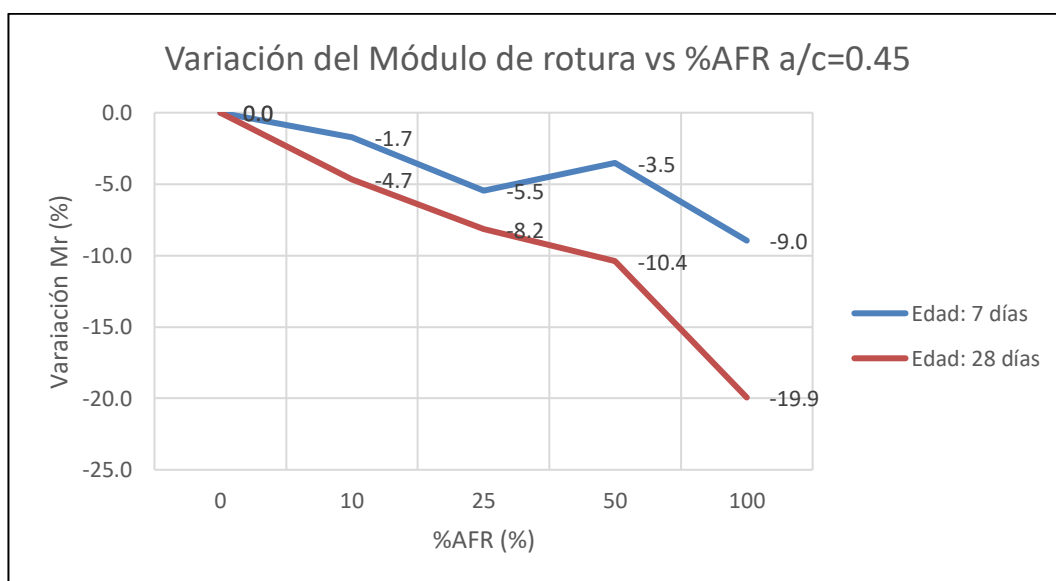
**Tabla 52**

Resistencia a flexión y su variación (a/c = 0.45).

a/c=0.45 %AFR	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )		ΔMr (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	54.2	64.8	0.0	0.0
10	53.2	61.7	-1.7	-4.7
25	51.2	59.5	-5.5	-8.2
50	52.3	58.1	-3.5	-10.4
100	49.3	51.9	-9.0	-19.9

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 72 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a flexión según el %AFR en la mezcla.



**Figura 72** Variación del Módulo de rotura (a/c = 0.45).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a flexión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la variación máxima respecto al patrón fue de 4.7%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 50% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó en promedio (de ambas edades) un aproximado de 7% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtuvieron valores de resistencia a flexión similares al patrón.

Para mezclas con más de 50% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó hasta un máximo de 19.9% con respecto al patrón.

▪ **Relación a/c = 0.40**

Los valores de resistencia a flexión obtenidos para edades de 7 días y 28 días de concretos con una relación a/c de 0.40 se mostraron en la Figura 49.

En la Tabla 53 se muestra los valores promedio de resistencia a flexión obtenidos y su variación porcentual respecto al patrón (%AFR = 0).

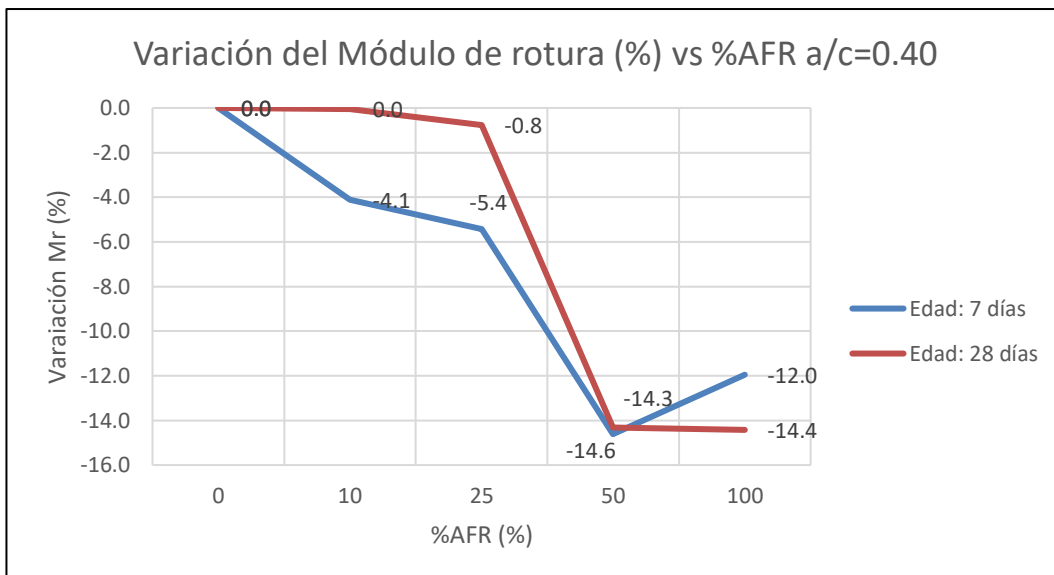
**Tabla 53**

Resistencia a flexión y su variación (a/c = 0.40).

a/c=0.40 %AFR	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )		ΔMr (%) respecto al patrón	
	7 días	28 días	7 días	28 días
0	56.3	64.3	0.0	0.0
10	54.0	64.3	-4.1	0.0
25	53.2	63.9	-5.4	-0.8
50	48.1	55.1	-14.6	-14.3
100	49.6	55.1	-12.0	-14.4

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 73 muestra de forma gráfica la variación porcentual de la resistencia a flexión según el %AFR en la mezcla.



**Figura 73** Variación de la Resistencia a flexión (a/c = 0.40).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de los resultados obtenidos muestra que a mayor %AFR en la mezcla de concreto, la resistencia a flexión disminuía.

Para la mezcla con solo 10% de AFR, se obtuvieron valores muy similares al patrón puesto que la variación máxima respecto al patrón fue de 4.1%. Esto era de esperarse, debido a que el reemplazo de AFR por AFN fue mínimo.

Para mezclas con hasta 25% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó hasta un máximo de 5.4% respecto a la resistencia del diseño patrón. Por tanto, se podría decir que hasta ese contenido de AFR se obtienen valores de resistencia a flexión similares al patrón.

Para mezclas con más de 25% de AFR, la resistencia a flexión disminuyó hasta un máximo de 14.6% con respecto al patrón.

#### ▪ Resistencia a flexión a 7 días

**Tabla 54**

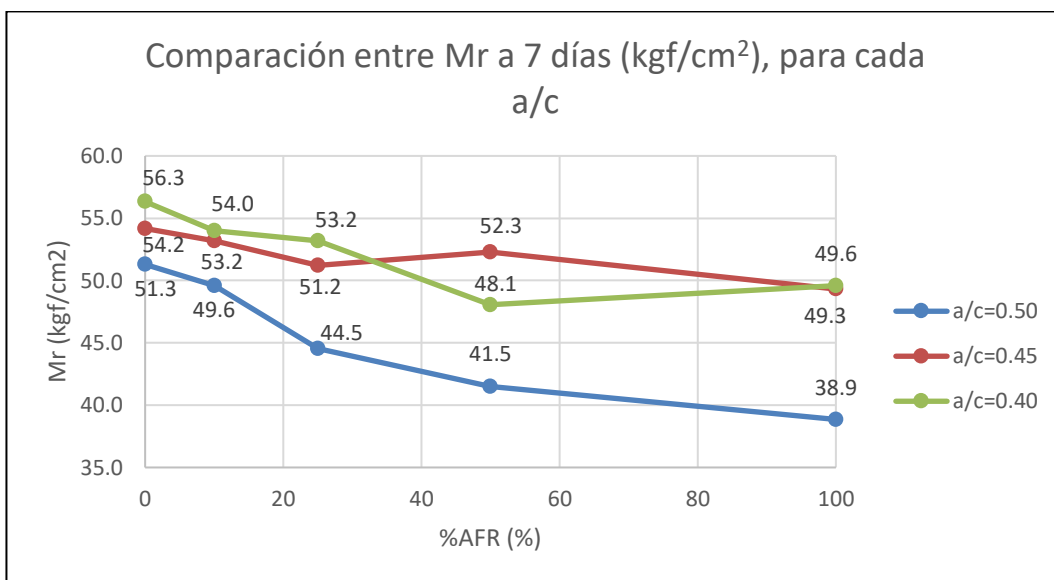
Comparación entre Mr a 7 días (kgf/cm<sup>2</sup>), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	51.3	49.6	44.5	41.5	38.9
a/c=0.45	54.2	53.2	51.2	52.3	49.3
a/c=0.40	56.3	54.0	53.2	48.1	49.6

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 54 se presenta las resistencias a flexión obtenidas en concretos con edad de 7 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla.

En la Figura 74 se presenta los valores de la Tabla 54 de forma gráfica.



**Figura 74** Comparación entre  $M_r$  a 7 días ( $\text{kgf/cm}^2$ ), para cada  $a/c$ .

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que todos los valores de resistencia a flexión a 7 días obtenidos para la relación  $a/c$  de 0.50 fueron, en general, menores a los obtenidos para las relaciones  $a/c$  de 0.40 y 0.45. Sin embargo, los valores de resistencia a flexión a 7 días obtenidos para las relaciones  $a/c$  de 0.40 y 0.45 fueron muy cercanos entre sí.

La tendencia para las 3 relaciones  $a/c$  fue que a mayor %AFR, menor resistencia a flexión a 7 días. Como casos que no seguían la tendencia se registraron las variaciones entre los valores para 25% y 50% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.45, y entre los valores para 50% y 100% de AFR de la relación  $a/c$  de 0.40.

En la Tabla 55 se presenta los valores de la Tabla 54 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación  $a/c$  comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

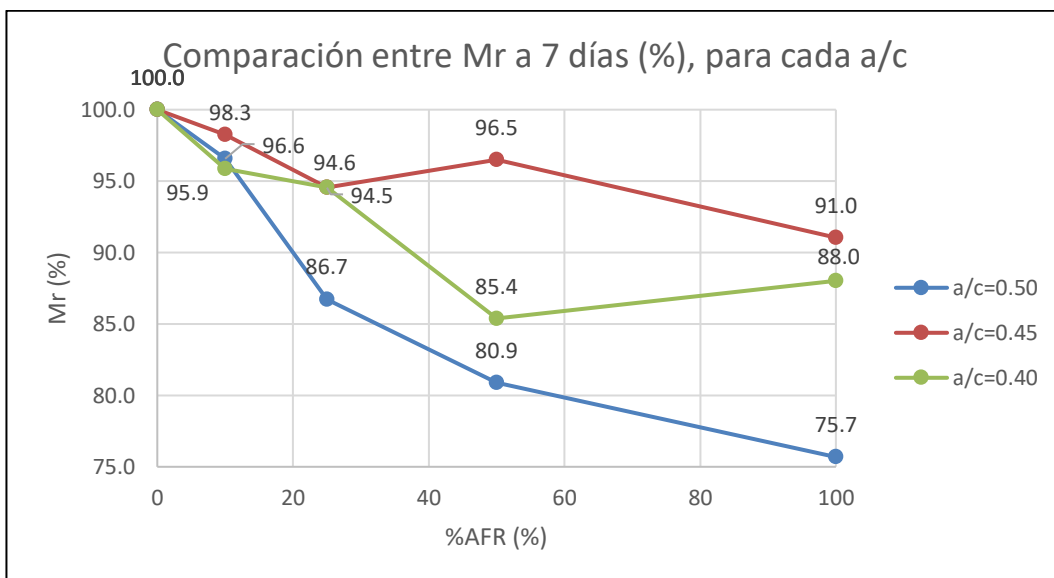
**Tabla 55**

Comparación entre Mr a 7 días (%), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	100.0	96.6	86.7	80.9	75.7
a/c=0.45	100.0	98.3	94.5	96.5	91.0
a/c=0.40	100.0	95.9	94.6	85.4	88.0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 75 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 55.

**Figura 75** Comparación entre Mr a 7 días (%), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

#### ▪ Resistencia a flexión a 28 días

En la Tabla 56 se presenta las resistencias a flexión obtenidas en concretos con edad de 28 días, separadas según su relación agua cemento y según el %AFR presente en la mezcla.

**Tabla 56**Comparación entre Mr a 28 días (kgf/cm<sup>2</sup>), para cada a/c.

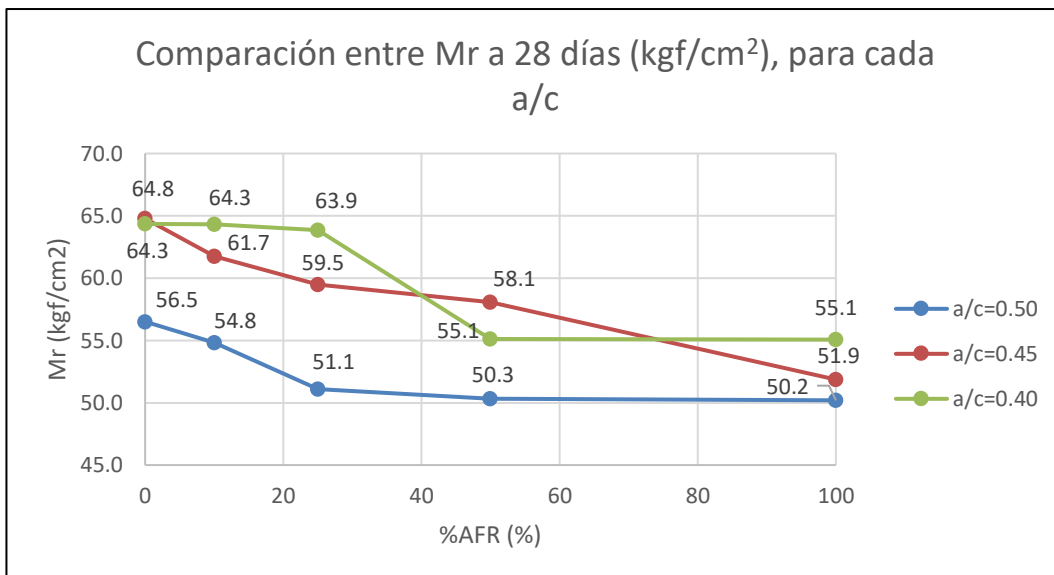
%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	56.5	54.8	51.1	50.3	50.2
a/c=0.45	64.8	61.7	59.5	58.1	51.9
a/c=0.40	64.3	64.3	63.9	55.1	55.1

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 76 se presenta los valores de la Tabla 56 de forma gráfica.

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"





**Figura 76** Comparación entre Mr a 28 días (kgf/cm<sup>2</sup>), para cada a/c.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que, en general, los valores de resistencia a flexión a 28 días obtenidos para la relación a/c de 0.50 fueron, en general, menores a los obtenidos para las relaciones a/c de 0.40 y 0.45. Sin embargo, los valores de resistencia a flexión a 28 días obtenidos para las relaciones a/c de 0.40 y 0.45 fueron muy cercanos entre sí.

La tendencia para las 3 relaciones a/c fue que a mayor %AFR, menor resistencia a flexión a 28 días.

En la Tabla 57 se presenta los valores de la Tabla 56 de forma porcentual, donde las resistencias patrón de cada relación a/c comienzan con un valor de 100% y van variando según el %AFR de cada mezcla.

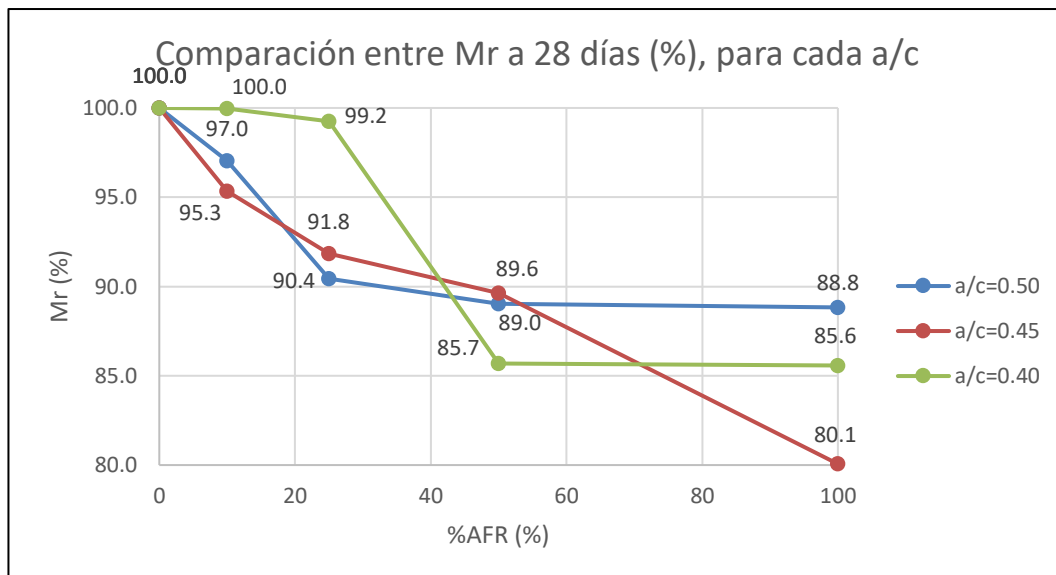
**Tabla 57**

Comparación entre Mr a 28 días (%), para cada a/c.

%AFR	0	10	25	50	100
a/c=0.50	100.0	97.0	90.4	89.0	88.8
a/c=0.45	100.0	95.3	91.8	89.6	80.1
a/c=0.40	100.0	100.0	99.2	85.7	85.6

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 77 se muestran de forma gráfica los valores de la Tabla 57.



**Figura 77** Comparación entre Mr a 28 días (%), para cada a/c.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 4.4.1 HIPÓTESIS ESTADÍSTICA

El presente trabajo tuvo como finalidad conocer la influencia del agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia. Conforme a eso, se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): “La variación del porcentaje de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia no tendrá influencia en las resistencias a compresión, flexión y tracción”.

Hipótesis alterna ( $H_a$ ): “La variación del porcentaje de agregado fino reciclado en concretos de mediana a alta resistencia tendrá influencia en las resistencias a compresión, flexión y tracción”.

Previo a la prueba de hipótesis, se realizaron los análisis de normalidad y homogeneidad, los cuales se detallan a continuación. Además, en el Anexo N°18 se presentan los estadísticos descriptivos de los grupos de resultados.

### 4.4.2 ANÁLISIS DE NORMALIDAD

Se realizó con ayuda del software SPSS, agrupando los datos de forma conveniente para su análisis. Al tener grupos con tamaño muestral menor a 50, se usó la prueba de Shapiro-Wilk para el análisis de la normalidad de los datos.

En la primera columna de las tablas del análisis de normalidad (Tabla 58 a Tabla 60) se muestra el Código Generado (para poder identificar la variante de diseño de mezcla) y las demás columnas muestran los valores obtenidos mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El valor obtenido de significancia indicaba si el grupo presenta Normalidad o no, según lo siguiente:

Significancia  $\geq 0.05$ : “Se cumple la Normalidad. Los datos siguen una distribución normal”.

Significancia  $< 0.05$ : “No se cumple la Normalidad. Los datos no siguen una distribución normal”.

#### ▪ Resultados de ensayos de resistencia a compresión

La Tabla 58 se muestra los valores obtenidos de los Análisis de Normalidad aplicados a los resultados de cada muestra de los ensayos de compresión.

**Tabla 58**

Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a compresión.

Código Generado (C.G.)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
C07.50.0	0.886	6	0.298
C07.50.1	0.917	6	0.487
C07.50.2	0.838	6	0.125
C07.50.3	0.832	6	0.111
C07.50.4	0.883	6	0.285
C28.50.0	0.890	6	0.316
C28.50.1	0.921	6	0.512
C28.50.2	0.953	6	0.765
C28.50.3	0.915	6	0.469
C28.50.4	0.898	6	0.365
C07.45.0	0.959	6	0.812
C07.45.1	0.933	6	0.603
C07.45.2	0.830	6	0.107
C07.45.3	0.891	6	0.325
C07.45.4	0.916	6	0.474
C28.45.0	0.919	6	0.499
C28.45.1	0.931	6	0.590

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA”**

C28.45.2	0.941	6	0.670
C28.45.3	0.927	6	0.559
C28.45.4	0.950	6	0.744
C07.40.0	0.955	6	0.783
C07.40.1	0.943	6	0.686
C07.40.2	0.843	6	0.138
C07.40.3	0.878	6	0.262
C07.40.4	0.870	6	0.225
C28.40.0	0.826	6	0.099
C28.40.1	0.949	6	0.734
C28.40.2	0.835	6	0.118
C28.40.3	0.910	6	0.433
C28.40.4	0.936	6	0.624
A.295.3	0.985	6	0.974
A303.3	0.942	6	0.679
A305.3	0.865	6	0.208
A.301.4	0.962	6	0.833
A.304.4	0.850	6	0.158
A.341.4	0.936	6	0.626

Nota 1. Los Grados de libertad son la cantidad de resultados por cada muestra.

Nota 2. Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de significancia obtenidos, se tiene que los resultados de cada muestra de los ensayos a compresión presentaron Normalidad.

#### ▪ Resultados de ensayos de resistencia a tracción

La Tabla 59 se muestra los valores obtenidos de los Análisis de Normalidad aplicados a los resultados de cada muestra de los ensayos de tracción.

#### Tabla 59

Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a tracción.

Código Generado (C.G.)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
T07.50.0	0.964	3	0.637
T07.50.1	0.987	3	0.780
T07.50.2	0.818	3	0.157
T07.50.3	0.923	3	0.463

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

---

T07.50.4	0.893	3	0.363
T28.50.0	0.895	4	0.406
T28.50.1	0.993	4	0.972
T28.50.2	0.818	4	0.139
T28.50.3	0.993	4	0.972
T28.50.4	0.895	4	0.406
T07.45.0	0.987	3	0.780
T07.45.1	0.964	3	0.637
T07.45.2	0.893	3	0.363
T07.45.3	0.923	3	0.463
T07.45.4	0.964	3	0.637
T28.45.0	0.808	4	0.117
T28.45.1	0.946	4	0.689
T28.45.2	0.863	4	0.272
T28.45.3	0.895	4	0.406
T28.45.4	0.993	4	0.972
T07.40.0	0.964	3	0.637
T07.40.1	0.923	3	0.463
T07.40.2	0.964	3	0.637
T07.40.3	0.964	3	0.637
T07.40.4	0.893	3	0.363
T28.40.0	0.840	4	0.195
T28.40.1	0.863	4	0.272
T28.40.2	0.895	4	0.406
T28.40.3	0.971	4	0.850
T28.40.4	0.993	4	0.972

---

*Nota 1.* Los Grados de libertad son la cantidad de resultados por cada muestra.

*Nota 2.* Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de significancia obtenidos, se tiene que los resultados de cada muestra de los ensayos a tracción presentaron Normalidad.

#### ▪ **Resultados de ensayos de resistencia a flexión**

La Tabla 60 se muestra los valores obtenidos de los Análisis de Normalidad aplicados a los resultados de cada muestra de los ensayos de flexión.

**Tabla 60**

Análisis de Normalidad de los resultados de resistencia a flexión.

Código Generado (C.G.)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
F07.50.0	0.964	3	0.637
F07.50.1	0.964	3	0.637
F07.50.2	0.923	3	0.463
F07.50.3	0.987	3	0.780
F07.50.4	0.964	3	0.637
F28.50.0	0.849	4	0.224
F28.50.1	0.848	4	0.220
F28.50.2	0.927	4	0.577
F28.50.3	0.993	4	0.972
F28.50.4	0.827	4	0.161
F07.45.0	0.964	3	0.637
F07.45.1	0.964	3	0.637
F07.45.2	0.964	3	0.637
F07.45.3	0.964	3	0.637
F07.45.4	0.964	3	0.637
F28.45.0	0.911	4	0.488
F28.45.1	0.945	4	0.683
F28.45.2	0.863	4	0.272
F28.45.3	0.863	4	0.272
F28.45.4	0.953	4	0.734
F07.40.0	0.964	3	0.637
F07.40.1	0.923	3	0.463
F07.40.2	0.964	3	0.637
F07.40.3	0.964	3	0.637
F07.40.4	0.964	3	0.637
F28.40.0	0.993	4	0.972
F28.40.1	0.895	4	0.406
F28.40.2	0.863	4	0.272
F28.40.3	0.971	4	0.850
F28.40.4	0.905	4	0.457

*Nota 1.* Los Grados de libertad son la cantidad de resultados por cada muestra.

Nota 2. Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de significancia obtenidos, se tiene que los resultados de cada muestra de los ensayos a flexión presentaron Normalidad.

#### 4.4.3 ANÁLISIS DE HOMOGENEIDAD

Se realizó con ayuda del software SPSS, agrupando los datos de forma conveniente para su análisis. Existen varias pruebas de homogeneidad, como la de Bartlett, Levene, Hartley, Fligner-Killeen, Cochran, entre otros; respecto a la elección de la prueba a usar, se consideraron Bartlett y Levene como opciones principales por ser de amplio uso. La prueba de Bartlett se recomienda en poblaciones cuya distribución sea, o se aproxime a, una distribución normal. La prueba de Levene es más robusta, puesto que se puede usar sin importar si la distribución de la población es normal o no (Correa et. al, 2006).

La prueba escogida fue la de Levene (que analiza la homogeneidad de varianzas), donde el valor obtenido de significancia indicaba si el grupo presenta Homogeneidad o no, según lo siguiente:

Significancia  $\geq 0.05$ : “Se cumple la Homogeneidad de varianzas”.

Significancia  $< 0.05$ : “No se cumple la Homogeneidad de varianzas”.

La Tabla 61 muestra el análisis de homogeneidad para los resultados de los ensayos de compresión, tracción y flexión de relación a/c de 0.50.

**Tabla 61**

Prueba de Homogeneidad de Levene a/c = 0.50.

Resultados del ensayo de:		Estadístico de Levene	G.L. 1	G.L. 2	Significancia
Compresión	7 días	0.286	4	25	0.885
	28 días	1.301	4	25	0.297
Tracción	7 días	3.653	4	10	0.044
	28 días	2.375	4	15	0.099
Flexión	7 días	0.643	4	10	0.644
	28 días	0.490	4	15	0.743

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 62 muestra el análisis de homogeneidad para los resultados de los ensayos de compresión, tracción y flexión de relación a/c de 0.45.

**Tabla 62**Prueba de Homogeneidad de Levene  $a/c = 0.45$ .

Resultados del ensayo de:		Estadístico de Levene	G.L. 1	G.L. 2	Significancia
Compresión	7 días	1.753	4	25	0.170
	28 días	6.473	4	25	0.001
Tracción	7 días	0.557	4	10	0.699
	28 días	1.770	4	15	0.187
Flexión	7 días	0.000	4	10	1.000
	28 días	2.017	4	15	0.144

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 63 muestra el análisis de homogeneidad para los resultados de los ensayos de compresión, tracción y flexión de relación  $a/c$  de 0.40.

**Tabla 63**Prueba de Homogeneidad de Levene  $a/c = 0.40$ .

Resultados del ensayo de:		Estadístico de Levene	G.L. 1	G.L. 2	Significancia
Compresión	7 días	0.155	4	25	0.959
	28 días	0.980	4	25	0.436
Tracción	7 días	0.753	4	10	0.578
	28 días	0.356	4	15	0.836
Flexión	7 días	0.225	4	10	0.918
	28 días	19.494	4	15	0.000

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Según los valores de significancia obtenidos (Tabla 61 a Tabla 63), se puede notar casi todos los grupos de resultados presentaron Homogeneidad. Para estos casos el análisis de contrastación de hipótesis fue realizado por medio de una prueba paramétrica.

Solo se encontraron 3 grupos de resultados que no cumplieron la homogeneidad. Estos grupos pertenecen a los resultados de los ensayos de Tracción a 7 días para  $a/c$  de 0.50, de Compresión a 28 días para  $a/c$  de 0.45 y de Flexión a 28 días para  $a/c$  de 0.40. Al no cumplir homogeneidad, para estos 3 grupos, el análisis de contrastación de hipótesis fue realizado por medio de pruebas no paramétricas.



Respecto al porque estos 3 grupos de muestras resultaron ser no homogéneos, se presume que la razón podría estar relacionada con la naturaleza del agregado reciclado. Al obtener agregado reciclado a partir de residuos de construcción y demolición, aun siguiendo procesos de selección del concreto a reciclar, la calidad del agregado obtenido puede variar y por tanto los resultados de las resistencias de algunas muestras de concreto también. Es por esta razón que algunos investigadores señalaron que en concretos con agregados reciclados se puede tener un valor elevado de coeficiente de variación, por lo que se debe diseñar el concreto para una resistencia mayor a la resistencia objetivo (ACHE, 2006).

Entonces, es posible que cada cierta cantidad (o volumen) de agregados, la calidad de estos haya variado. Además, esto no sería algo inherente a los agregados reciclados, en agregados naturales hay normas que indican cada cuanta cantidad de material se deben realizar ensayos a los agregados para verificar la calidad de estos, un ejemplo sería la Tabla 503-11 del Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG-2013), donde se muestran los ensayos y las frecuencias con las que se deben realizar en agregados usados para construcción.

#### 4.4.4 ANÁLISIS DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Se realizó con ayuda del software SPSS, agrupando los datos de forma conveniente para su análisis. Dependiendo de los resultados del análisis de homogeneidad, el tratamiento de los datos para el análisis de contrastación de hipótesis seguirá pruebas distintas.

Para los casos de grupos de resultados que cumplieron la homogeneidad se usó una prueba paramétrica, específicamente la de Tukey. Se escogió esta prueba porque permite ver la comparación entre subgrupos.

Para los 3 casos que no cumplieron la homogeneidad, se usaron pruebas no paramétricas. En estos casos se usaron las pruebas de Kruskal-Wallis y de Games-Howell, la primera prueba da un resultado general (sin mostrar la relación entre cada subgrupo) y la segunda prueba permite ver la comparación entre cada subgrupo.

El valor obtenido de significancia indicaba si la hipótesis se cumple o no, según lo siguiente:

---

**“INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO REICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA”**

Significancia  $\geq 0.05$ : “No hay diferencia significativa. Aceptar hipótesis nula”.

Significancia  $< 0.05$ : “Hay diferencia significativa. Aceptar hipótesis alterna”.

La Tabla 64 muestra el análisis de contrastación de hipótesis para los grupos que cumplieron homogeneidad, en los cuales se aplicó la prueba (paramétrica) de Tukey, de la relación a/c de 0.50.

**Tabla 64**

Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey a/c = 0.50.

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error		Significancia
		C.07.50.1	4.66667	6.91825	0.960
Compresión 7 días	C.07.50 .0	C.07.50.2	2,450,000	6.91825	0.013
		C.07.50.3	3,316,667	6.91825	0.001
		C.07.50.4	4,250,000	6.91825	0.000
Compresión 28 días	C.28.50 .0	C.28.50.1	27.00000	9.84412	0.075
		C.28.50.2	4,683,333	9.84412	0.001
		C.28.50.3	5,333,333	9.84412	0.000
		C.28.50.4	4,866,667	9.84412	0.000
Tracción 28 días	T.28.50 .0	T.28.50.1	0.75000	1.48605	0.986
		T.28.50.2	3.50000	1.48605	0.182
		T.28.50.3	2.75000	1.48605	0.383
		T.28.50.4	500,000	1.48605	0.030
Flexión 7 días	F07.50. 0	F07.50.1	2.00000	1.81353	0.802
		F07.50.2	700,000	1.81353	0.021
		F07.50.3	966,667	1.81353	0.002
		F07.50.4	1,266,667	1.81353	0.000
Flexión 28 días	F28.50. 0	F28.50.1	1.50000	1.27148	0.762
		F28.50.2	525,000	1.27148	0.007
		F28.50.3	575,000	1.27148	0.003
		F28.50.4	625,000	1.27148	0.001

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 65 muestra el análisis de contrastación de hipótesis para los grupos que cumplieron homogeneidad, en los cuales se aplicó la prueba (paramétrica) de Tukey, de la relación a/c de 0.45.

**Tabla 65**

Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey a/c = 0.45.

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error		Significancia
		C07.45.1	11.16667	9.82536	0.786
Compresión 7 días	C07.45. 0	C07.45.2	3,200,000	9.82536	0.024
		C07.45.3	3,883,333	9.82536	0.005
		C07.45.4	3,450,000	9.82536	0.014
		T07.45.1	2.33333	1.72562	0.668
Tracción 7 días	T07.45. 0	T07.45.2	4.66667	1.72562	0.123
		T07.45.3	600,000	1.72562	0.037
		T07.45.4	633,333	1.72562	0.028
		T28.45.1	0.25000	1.48605	1.000
Tracción 28 días	T28.45. 0	T28.45.2	1.50000	1.48605	0.847
		T28.45.3	3.50000	1.48605	0.182
		T28.45.4	625,000	1.48605	0.006
		F07.45.1	1.00000	1.24722	0.924
Flexión 7 días	F07.45. 0	F07.45.2	3.00000	1.24722	0.191
		F07.45.3	2.00000	1.24722	0.527
		F07.45.4	500,000	1.24722	0.016
		F28.45.1	2.50000	1.39940	0.416
Flexión 28 días	F28.45. 0	F28.45.2	500,000	1.39940	0.020
		F28.45.3	625,000	1.39940	0.004
		F28.45.4	1,250,000	1.39940	0.000

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 66 muestra el análisis de contrastación de hipótesis para los grupos que cumplieron homogeneidad, en los cuales se aplicó la prueba (paramétrica) de Tukey, de la relación a/c de 0.40.

**Tabla 66**Prueba de contrastación de hipótesis de Tukey  $\alpha/c = 0.40$ .

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error		Significancia
		C07.40.1	14.66667	6.47354	0.189
Compresión 7 días	C07.40. 0	C07.40.2	2,900,000	6.47354	0.001
		C07.40.3	3,416,667	6.47354	0.000
		C07.40.4	5,450,000	6.47354	0.000
		C28.40.1	4.00000	5.42730	0.946
Compresión 28 días	C28.40. 0	C28.40.2	4.50000	5.42730	0.919
		C28.40.3	2,916,667	5.42730	0.000
		C28.40.4	4,433,333	5.42730	0.000
		T07.40.1	0.00000	1.56347	1.000
Tracción 7 días	T07.40. 0	T07.40.2	1.33333	1.56347	0.908
		T07.40.3	2.33333	1.56347	0.589
		T07.40.4	2.66667	1.56347	0.472
		T28.40.1	1.75000	1.00416	0.439
Tracción 28 días	T28.40. 0	T28.40.2	525,000	1.00416	0.001
		T28.40.3	625,000	1.00416	0.000
		T28.40.4	700,000	1.00416	0.000
		F07.40.1	2.66667	1.34990	0.342
Flexión 7 días	F07.40. 0	F07.40.2	3.00000	1.34990	0.247
		F07.40.3	800,000	1.34990	0.001
		F07.40.4	666,667	1.34990	0.004

Nota. Fuente: Elaboración propia.

De los resultados del análisis de contrastación de hipótesis con la prueba de Tukey, se puede ver que para valores bajos de porcentaje de reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural (10% o 25%) se obtuvo que, generalmente, no hay diferencia significativa (se acepta la hipótesis nula).

Esto tiene sentido, porque para porcentajes bajos de reemplazo los valores de resistencia obtenidos variaron poco respecto a los valores de resistencia obtenidos de sus diseños patrón.

La Tabla 67 muestra el análisis de contrastación de hipótesis para los grupos que no cumplieron homogeneidad, en los cuales se aplicó la prueba (no paramétrica) de Kruskal-Wallis.

**Tabla 67**

Prueba de contrastación de hipótesis de Kruskal-Wallis.

Identificación de grupos			H de Kruskal-Wallis	G.L.	Significancia asintótica
a/c = 0.50	Tracción	7 días	5.115	4	0.276
a/c = 0.45	Compresión	28 días	14.067	4	0.007
a/c = 0.40	Flexión	28 días	14.250	4	0.007

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Según el valor de significancia obtenido para la resistencia a tracción a 7 días para la relación a/c de 0.50, este grupo no presentaba diferencia significativa. Esto se puede explicar porque se obtuvieron valores similares de resistencia entre los subgrupos. Los otros dos valores de significancia obtenidos según la prueba de Kruskal-Wallis, si indicaron una diferencia significativa.

En la Tabla 68, Tabla 69 y Tabla 70 se muestran los análisis de contrastación de hipótesis de cada uno de los 3 grupos de la Tabla 67 respectivamente, pero aplicando la prueba no paramétrica de Games-Howell. Esta prueba permite ver la relación entre los subgrupos.

La Tabla 68 muestra el análisis de contrastación de hipótesis según la prueba de Games-Howell para el grupo con relación a/c de 0.50.

**Tabla 68**

Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell a/c = 0.50.

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Significancia
Tracción 7 días	T07.50.1	-1.33333	1.69967	0.921
	T07.50.2	2.33333	3.62093	0.954
	T07.50.3	2.66667	1.49071	0.488
	T07.50.4	4.33333	1.76383	0.293

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 69 muestra el análisis de contrastación de hipótesis según la prueba de Games-Howell para el grupo con relación a/c de 0.45.

**Tabla 69**Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell  $\alpha/c = 0.45$ .

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Significancia
Compre. 28 días	C28.45. 1	3,133,333	8.13292	0.021
	C28.45. 2	3,900,000	7.42743	0.003
	C28.45. 3	38.16667	16.51750	0.255
	C28.45. 4	4,900,000	5.79943	0.001

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 70 muestra el análisis de contrastación de hipótesis según la prueba de Games-Howell para el grupo con relación  $\alpha/c$  de 0.40.

**Tabla 70**Prueba de contrastación de hipótesis de Games-Howell  $\alpha/c = 0.40$ .

Identificación de grupos		Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Significancia
Flexión 28 días	F28.40.1	0.25000	0.90139	0.998
	F28.40.2	0.75000	0.80364	0.874
	F28.40.3	925,000	1.07044	0.001
	F28.40.4	9.50000	3.64005	0.260

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Aquí termina el análisis de contrastación de hipótesis. Como se pudo ver en las tablas anteriores, para porcentajes bajos (10% o 25%) de reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural se obtuvo que, generalmente, se acepta la hipótesis nula. Es decir, no hubo variación significativa de las resistencias. Esto se podría explicar debido a la poca diferencia entre la mezcla variante de análisis, respecto a la mezcla patrón con la cual se la compara.

Para los demás porcentajes de reemplazo (mayores a 25%) de agregado fino reciclado por agregado fino natural se obtuvo que, generalmente, si hubo variación significativa de las resistencias. Lo cual se puede explicar debido a una mayor diferencia entre la mezcla variante de análisis, respecto a la mezcla patrón con la cual se la compara.

## 4.5 ANÁLISIS DEL COSTO

En esta sección se hizo una comparación entre el costo y las resistencias a compresión a 28 días obtenidas de las mezclas patrón y sus variantes con agregado fino reciclado. Analizando sus variaciones respecto al porcentaje de reemplazo de agregado fino reciclado por agregado fino natural.

Cabe mencionar que solo se realizó el análisis del costo mediante comparación con las resistencias a compresión a 28 días; es decir, no se compararon los costos con las resistencias a compresión a 7 días, ni con las resistencias obtenidas a tracción o flexión.

### 4.5.1 COSTO DE LOS MATERIALES

En la Tabla 71 se presentan los costos a los cuales se compraron los materiales necesarios para las mezclas de concreto; es decir, el cemento, el agua, el aditivo superplastificante y los agregados (natural y reciclado). Cabe mencionar que estos costos incluyen IGV.

**Tabla 71**

Costo de materiales necesarios para mezcla de concreto.

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo (S/.)</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	bolsa (42.5kg)	26.50	-
Agua	metro cúbico	8.21	1000
Agregado fino natural (arena)	metro cúbico	70.00	2690
Agregado grueso (piedra)	metro cúbico	40.00	2770
Agregado fino reciclado	metro cúbico	12.00	2480
Aditivo superplastificante	Balde (20.63kg)	244.26	-

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En los anexos (Anexo N°19 al Anexo N°22) están las fotos de las facturas o recibos en los que se puede corroborar los costos del agregado fino natural, agregado grueso, cemento, agregado fino reciclado y aditivo superplastificante. Para el costo del agua se usó el monto publicado por SEDAPAL en el documento de Estructura Tarifaria de fecha del 07 de mayo del 2022, ese documento es de acceso público (Anexo N°23).

Así mismo, en la tabla se puso los valores de peso específico de algunos de los materiales, esto porque en esos casos este valor nos ayudará a sacar los costos por kilogramo. En la Tabla 72 se muestran los costos por kilogramo de los materiales del concreto, estos valores de costos incluyen IG.V.

**Tabla 72**

Costo por kilogramo de los materiales necesarios para mezcla de concreto.

<b>Materiales</b>	<b>Costo por kg (S/.)</b>
Cemento	0.6235
Agua	0.0082
Agregado fino natural (arena)	0.0260
Agregado grueso (piedra)	0.0144
Agregado fino reciclado	0.0048
Aditivo superplastificante	11.8400

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2 COSTO DE MATERIALES PARA 1m<sup>3</sup> DE MEZCLA

En la Tabla 18 se presentó la composición de las mezclas patrón y sus variantes con agregado fino reciclado, donde se puede ver la cantidad (en kilogramos) de cada material necesario. Con los precios por kilogramo de los materiales (presentados en la Tabla 72), se puede conocer el precio de las mezclas patrón y sus variantes.

La Tabla 73 muestra el costo de 1m<sup>3</sup> de mezcla y el valor de resistencia a compresión a 28 días para cada variante de mezcla; y sus variaciones porcentuales respecto a los costos y resistencias de las mezclas patrón.

**Tabla 73**

Costo de los materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla.

Relación a/c	%AFR	Costo (S/.)	ΔCosto (%)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Δf'c (%)
	0	346.2	0.0	400.4	0.0
	10	344.5	-0.5	373.6	-6.7
0.50	25	341.8	-1.3	353.6	-11.7
	50	337.4	-2.5	347.3	-13.3
	100	328.6	-5.1	351.9	-12.1
0.45	0	408.4	0.0	420.4	0.0
	10	406.8	-0.4	389.4	-7.4

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



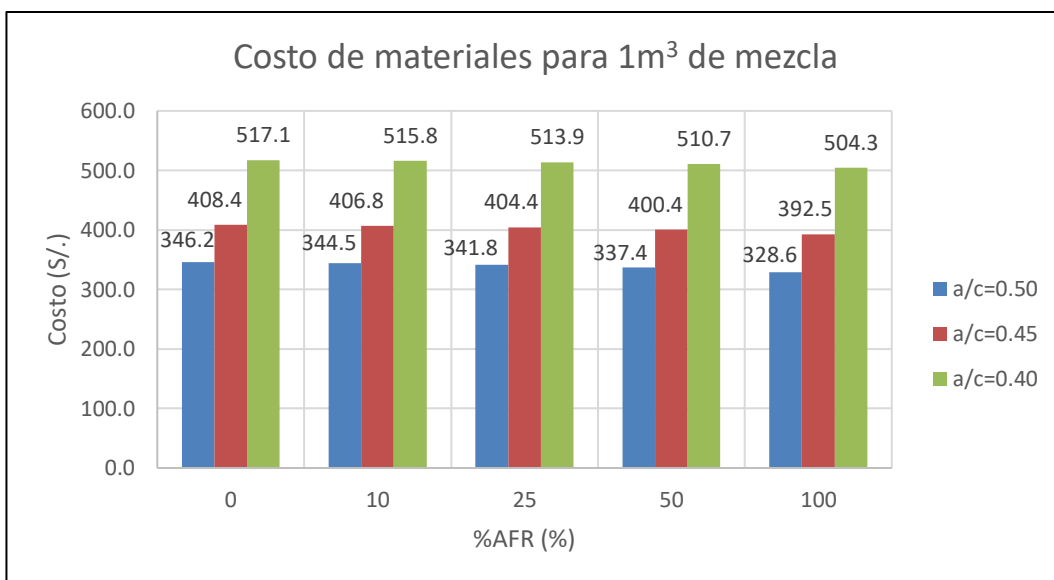
	25	404.4	-1.0	381.3	-9.3
	50	400.4	-1.9	382.1	-9.1
	100	392.5	-3.9	371.7	-11.6
	0	517.1	0.0	427.5	0.0
	10	515.8	-0.2	423.5	-0.9
0.40	25	513.9	-0.6	422.9	-1.1
	50	510.7	-1.2	398.3	-6.8
	100	504.3	-2.5	383.1	-10.4

*Nota 1.* Costo (S/.) está referido al costo de los materiales necesarios para producir 1 metro cúbico de mezcla.

*Nota 2.* "f<sub>c</sub>" es la resistencia a compresión, para la edad de 28 días, promedio de cada variante de mezcla.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

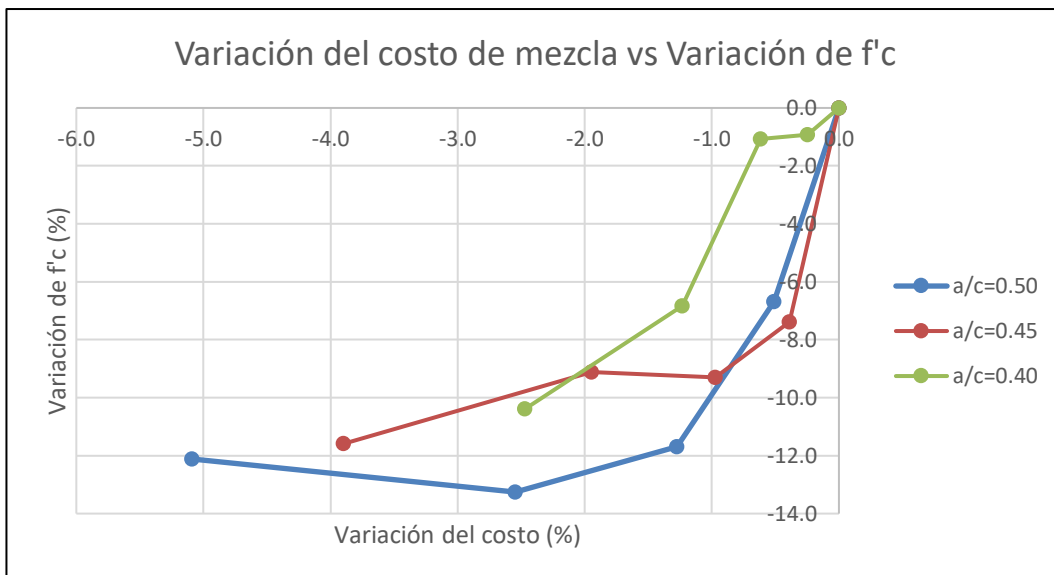
En la Figura 78 se muestran los valores del costo de materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla. Estos valores pertenecen a la columna "Costo (S/.)" de la Tabla 73. En la figura se puede ver que a menor relación a/c la mezcla se encareció, esto porque el contenido de cemento (material más caro) se hacía mayor.



**Figura 78** Costo de materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 79 se muestran las variaciones porcentuales de los costos de materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla vs las variaciones porcentuales de las resistencias para cada relación a/c.



**Figura 79** Variación porcentual: Costos vs f'c (materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En la figura se puede ver que la variación del costo vs la variación de la resistencia a compresión a 28 días, ambas de forma porcentual, no seguía una tendencia lineal. Solo para la relación a/c de 0.40 la forma de la curva se podría aproximar a una recta.

La tendencia de las curvas indicó que con una disminución en el costo de la mezcla de aproximadamente 2%, la resistencia a compresión a 28 días disminuía en un valor cercano a 9% (relaciones a/c de 0.40 y 0.45).

Según los valores presentados en la Tabla 73 se puede decir que la variación del costo para 1 m<sup>3</sup> de mezcla fue pequeña (máxima variación de costo es de 5.1%). Esto debido a que el material más costoso es el cemento y la reducción de costos por el uso de agregado fino reciclado en lugar de agregado fino natural no fue tan significativa.

Sin embargo, todos estos costos presentados no incluyeron una partida fundamental presente en todos los proyectos, el Transporte de Materiales. El costo de transporte de un agregado reciclado es menor al de un agregado natural, debido a que normalmente las canteras quedan más alejadas de los centros urbanos que las plantas de producción de agregados reciclados, porque estas últimas usan como materia prima demoliciones de construcciones ubicadas en las ciudades.

### 4.5.3 COSTO DE AGREGADOS PARA 1m<sup>3</sup> DE MEZCLA

También es posible analizar el costo que tienen los agregados necesarios para 1m<sup>3</sup> de mezcla (ya no de todos los materiales), donde si fue más notoria la variación en los costos.

La Tabla 74 muestra el costo de los agregados para 1m<sup>3</sup> de mezcla y el valor de resistencia a compresión a 28 días de cada variante de mezcla; y sus variaciones porcentuales respecto a los costos y resistencias de las mezclas patrón.

**Tabla 74**

Costo de los agregados para 1m<sup>3</sup> de mezcla.

Relación a/c	%AFR	Costo (S/.)	ΔCosto (%)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Δf'c (%)
0.50	0	32.4	0.0	400.4	0.0
	10	30.6	-5.4	373.6	-6.7
	25	28.0	-13.6	353.6	-11.7
	50	23.6	-27.2	347.3	-13.3
	100	14.7	-54.5	351.9	-12.1
0.45	0	29.2	0.0	420.4	0.0
	10	27.6	-5.4	389.4	-7.4
	25	25.2	-13.6	381.3	-9.3
	50	21.3	-27.2	382.1	-9.1
	100	13.3	-54.5	371.7	-11.6
0.40	0	23.4	0.0	427.5	0.0
	10	22.2	-5.4	423.5	-0.9
	25	20.2	-13.6	422.9	-1.1
	50	17.1	-27.2	398.3	-6.8
	100	10.7	-54.5	383.1	-10.4

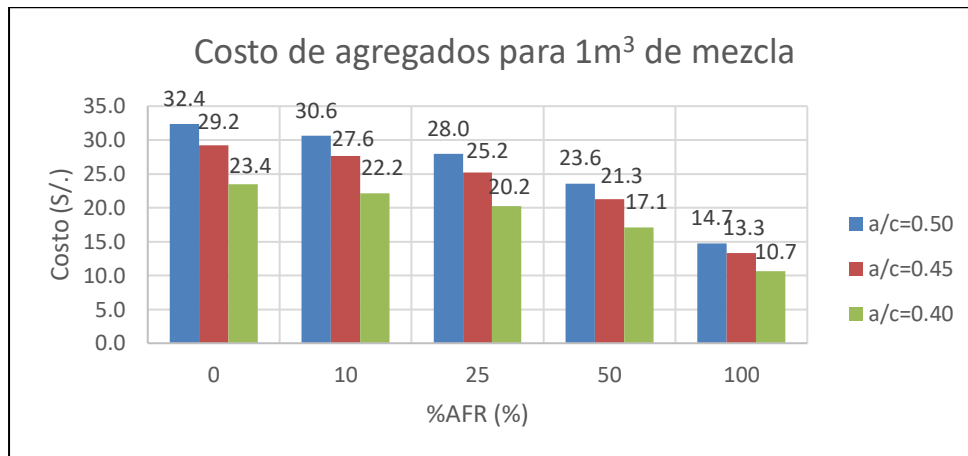
*Nota 1.* Costo (S/.) está referido al costo de los materiales necesarios para producir 1 metro cúbico de mezcla.

*Nota 2.* "f'c" es la resistencia a compresión, para la edad de 28 días, promedio de cada variante de mezcla.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 80 se muestran los valores del costo de agregados para 1m<sup>3</sup> de mezcla. Estos valores pertenecen a la columna "Costo (S/.)" de la Tabla 74. En la figura se puede ver que a menor relación a/c el costo de agregados fue menor,

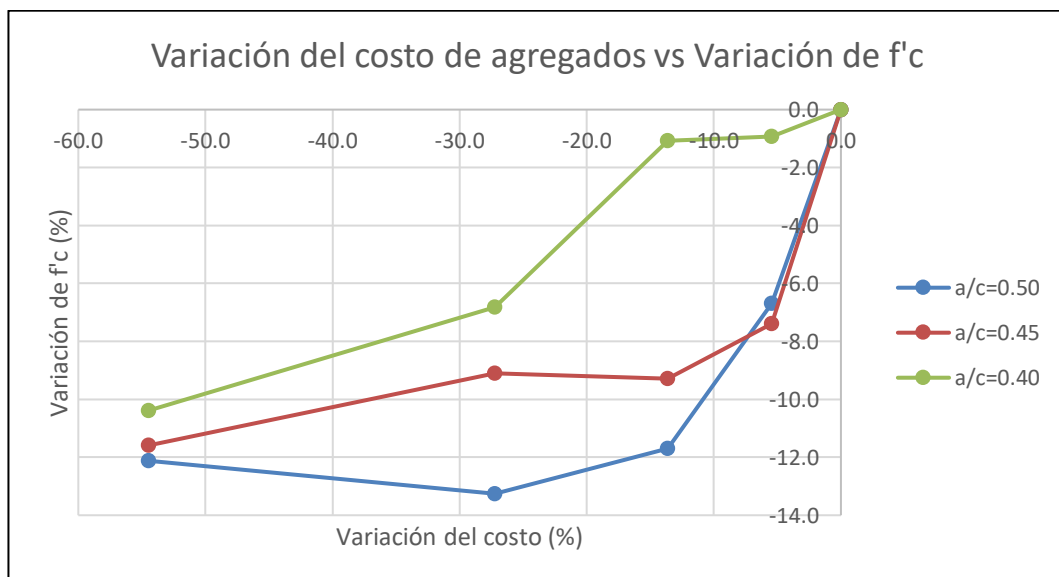
esto porque el material que aumenta conforme disminuye la relación a/c es el cemento.



**Figura 80** Costo de agregados para 1m<sup>3</sup> de mezcla.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 81 se muestran las variaciones porcentuales de los costos de materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla vs las variaciones porcentuales de las resistencias para cada relación a/c. En la figura se puede ver que la variación del costo vs la variación de la resistencia a compresión a 28 días, ambas de forma porcentual, generó curvas con una tendencia similar en las 3 relaciones a/c.



**Figura 81** Variación porcentual: Costos vs f'c (agregados para 1m<sup>3</sup> de mezcla).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de las curvas indicó que con una disminución en el costo de los agregados de aproximadamente 7%, la resistencia a compresión a 28 días disminuía en un valor cercano a 7% (relaciones a/c de 0.45 y 0.50).

Según los valores presentados en la Tabla 74 se puede decir que la variación del costo de los agregados para 1 m<sup>3</sup> de mezcla al usar agregados reciclados fue viable, con respecto a mantener la resistencia a compresión, para porcentajes de reemplazo de hasta aproximadamente 14% porque la resistencia a compresión a 28 días disminuyó solo hasta en 10% aproximadamente.

#### 4.5.4 COSTO DE MEZCLAS CON ADITIVO

En la Tabla 19 se presentó la composición de las mezclas con aditivo superplastificante. Cabe recordar que estas mezclas con aditivo solo se realizaron con porcentajes de AFR de 50% y 100%. En este análisis también se incluyó las mezclas sin aditivo que contuvieron %AFR de 50 y 100, es decir con relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40.

A las mezclas con 50% y 100% de AFR, y con relaciones a/c de 0.500, 0.450 y 0.400 (relación a/c inicial); se les añadió aditivo superplastificante (dosis de 1% de peso del cemento) manteniendo la cantidad de cemento constante, obteniendo así mezclas con 50% y 100% de AFR, y con relaciones a/c distintas a las iniciales (relación a/c final).

La Tabla 75 muestra el costo y la resistencia a compresión a 28 días de las mezclas con 50% y 100% de AFR para 1m<sup>3</sup> de mezcla; de la mezcla sin aditivo (Relación a/c inicial) y de la mezcla con aditivo (Relación a/c final).

**Tabla 75**

Costo para 1m<sup>3</sup> de mezclas con 50% y 100% de AFR.

<b>Mezclas con %AFR = 50: Efecto del aditivo en Costos y f'c</b>							
Relación a/c inicial	Costo (S/.)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c final	Costo (S/.)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	ΔCosto (%)	Δf'c (%)
0.500	337.40	347.32	0.305	395.8	530.3	17.30	52.68
0.450	400.41	382.11	0.303	471.2	529.9	17.68	38.68
0.400	510.69	398.30	0.295	603.2	558.5	18.12	40.22
<b>Mezclas con %AFR = 100: Efecto del aditivo en Costos y f'c</b>							

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

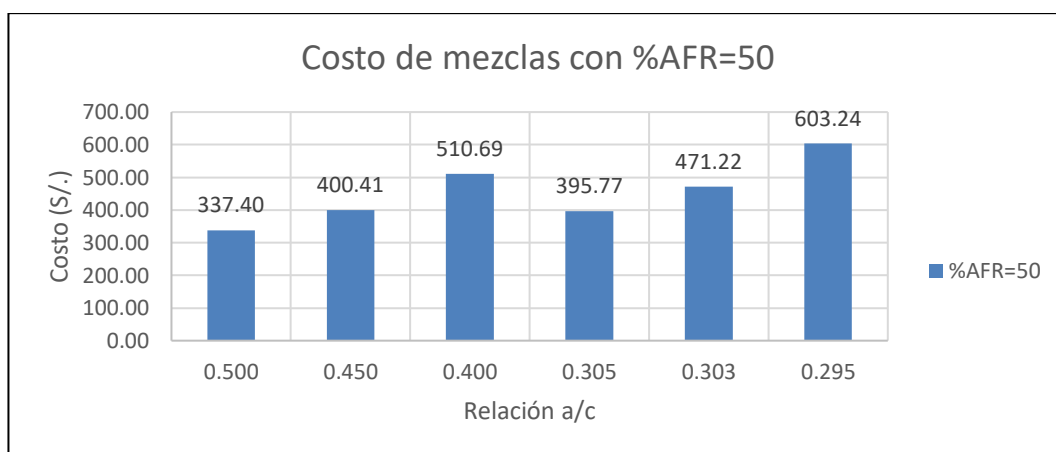
Relación a/c inicial	Costo (S/.)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Relación a/c final	Costo (S/.)	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	ΔCosto (%)	Δf'c (%)
0.500	328.59	351.91	0.341	387.1	446.5	17.81	26.88
0.450	392.45	371.69	0.304	463.3	466.4	18.04	25.48
0.400	504.31	383.09	0.301	596.9	548.8	18.36	43.26

*Nota 1.* La Variación del costo ( $\Delta$ Costo) y de la resistencia ( $\Delta$ f'c) son respecto al Costo y al f'c obtenidos con la Relación a/c inicial.

*Nota 2.* "f'c" es la resistencia a compresión, para la edad de 28 días, promedio de cada variante de mezcla.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

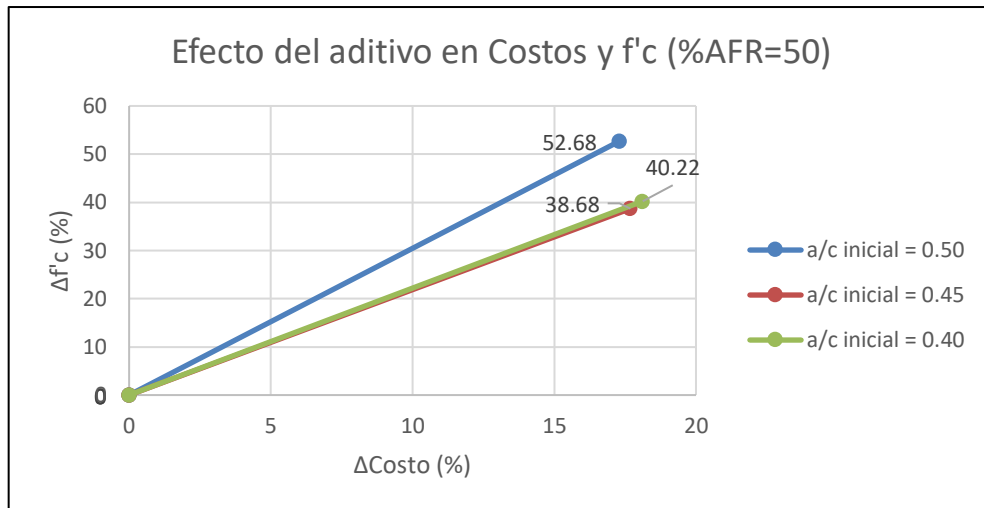
La Figura 82 muestra los costos de 1m<sup>3</sup> de mezcla de las variantes de mezcla con 50% de AFR. Tres de estos valores pertenecen a mezcla sin aditivo (relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40) y los otros tres a mezclas con aditivo (relaciones a/c de 0.305, 0.303 y 0.295). Cabe recordar que estas mezclas con aditivo, resultaron de añadir el aditivo (y mantener fija la cantidad de cemento) en las mezclas sin aditivo.



**Figura 82** Costo de mezclas con 50% de AFR.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

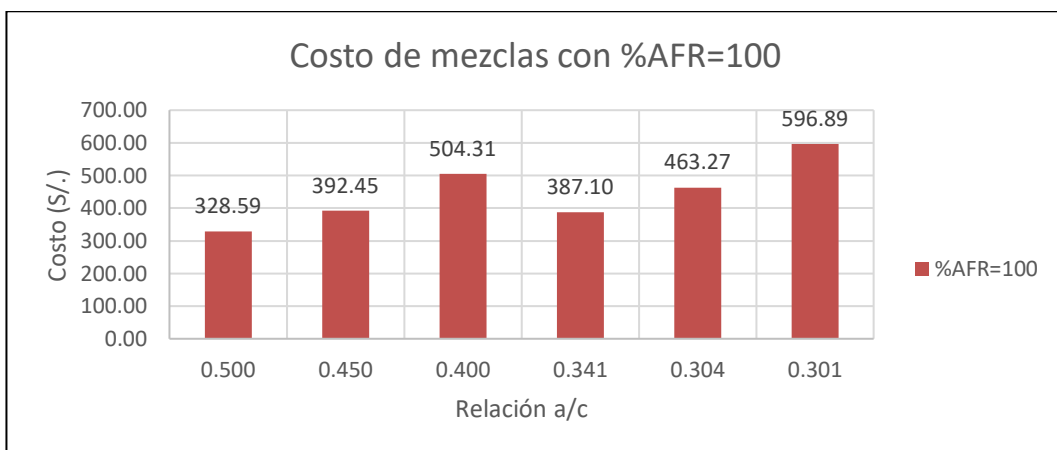
La Figura 83 muestra la variación porcentual de los costos de 1 m<sup>3</sup> de mezcla y de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con 50% de AFR, al añadirles aditivo (en dosis de 1% del peso del cemento) manteniendo el cemento constante, respecto de las mezclas iniciales sin aditivo.



**Figura 83** Efecto del aditivo en Costos y  $f'c$  (mezclas con %AFR = 50).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

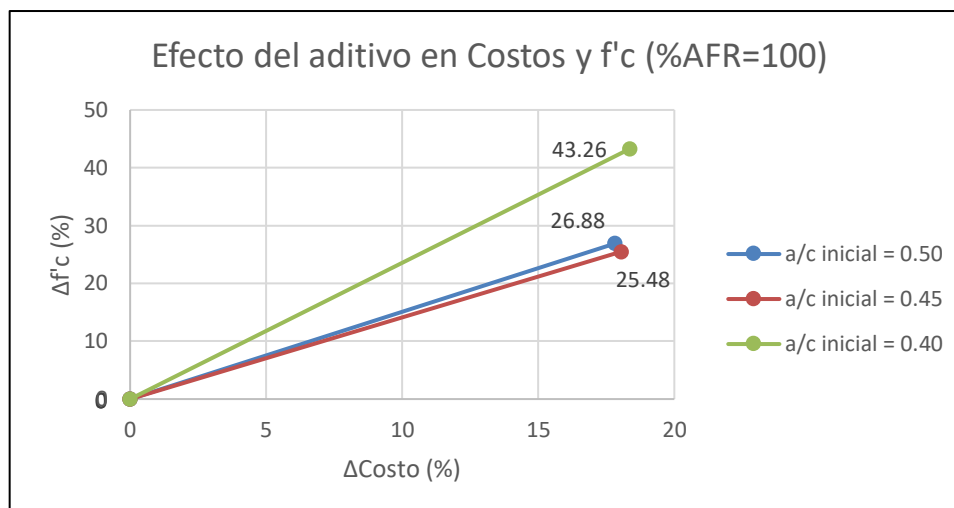
La Figura 84 muestra los costos de  $1\text{m}^3$  de mezcla de las variantes de mezcla con 100% de AFR. Tres de estos valores pertenecen a mezcla sin aditivo (relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40) y los otros tres a mezclas con aditivo (relaciones a/c de 0.341, 0.304 y 0.301). Cabe recordar que estas mezclas con aditivo, resultaron de añadir el aditivo (y mantener fija la cantidad de cemento) en las mezclas sin aditivo.



**Figura 84** Costo de mezclas con 100% de AFR.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

La Figura 85 muestra la variación porcentual de los costos de  $1\text{m}^3$  de mezcla y de las resistencias a compresión a 28 días de las mezclas con 100% de AFR, al añadirles aditivo (en dosis de 1% del peso del cemento) manteniendo el cemento constante, respecto de las mezclas iniciales sin aditivo.



**Figura 85** Efecto del aditivo en Costos y  $f'c$  (mezclas con %AFR = 100).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

Entonces, se puede notar que el uso de aditivo para ambas mezclas (con 50% y 100% de AFR) fue rentable. Esto porque las curvas de la Figura 83 y la Figura 85 muestran que aumentando el costo de la mezcla (al añadir aditivo) en un porcentaje entre 17.30% y 18.36% del costo inicial (sin uso de aditivo), la resistencia a compresión aumentó en un porcentaje entre 25.48% y 52.68%.

Según los valores de la Figura 82 (mezclas con 50% de AFR) se puede ver que el costo de una mezcla con relación a/c de 0.45 (sin aditivo) costó, prácticamente, lo mismo que una mezcla con relación a/c de 0.305 (con aditivo). Y las resistencias obtenidas fueron de 382.1 kgf/cm<sup>2</sup> y 530.3 kgf/cm<sup>2</sup> para las relaciones a/c de 0.45 y 0.305 respectivamente.

Según los valores de la Figura 84 (mezclas con 100% de AFR) se puede ver que el costo de una mezcla con relación a/c de 0.45 (sin aditivo) costó, prácticamente, lo mismo que una mezcla con relación a/c de 0.341 (con aditivo). Y las resistencias obtenidas fueron de 371.7 kgf/cm<sup>2</sup> y 446.5 kgf/cm<sup>2</sup> para las relaciones a/c de 0.45 y 0.341 respectivamente.

#### 4.5.5 COMPARACIÓN CON COSTOS DE MERCADO

En esta sección se comparará el costo obtenido de las distintas variantes de mezclas, sin aditivo, en la presente investigación con los costos de mercado.

En la Tabla 73 se mostró el costo de por metro cúbico de las distintas variantes de mezcla; estos costos fueron comparados con los costos de mercado, que se obtuvieron del Boletín Técnico de CAPECO (Cámara Peruana de

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



Construcción), donde se indican los precios de materiales de construcción vigentes a la fecha del 30 de abril del 2022. Los precios de esta revista son comúnmente usados para formular presupuestos de obras.

En la Tabla 76 se compara los costos de las mezclas obtenidos en la presente tesis (columna "Tesis") y los precios de la revista (columna "CAPECO"). Cabe mencionar que al no haber costos referidos a las resistencias a compresión a 28 días obtenidas; se interpoló entre dos precios indicados por la revista. Los precios interpolados corresponden a Concreto premezclado con cemento tipo I con  $f'c$  de 350 kgf/cm<sup>2</sup> y de 420 kgf/cm<sup>2</sup>; cuyos precios por metro cúbico están indicados como S/. 327.08 y S/. 356.61 sin IGV; y sus precios con IGV (18%) serían de S/. 386.0 y S/. 420.8 (ambos precios consideran mezclas con asentamientos de 4", similar a los obtenidos en el presente estudio).

**Tabla 76**

Comparación con costos de mercado.

Relación a/c	%AFR	$f'c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Costo (S/.)	
			Tesis	CAPECO
0.50	0	400.4	346.2	411.0
	10	373.6	344.5	397.7
	25	353.6	341.8	387.7
	50	347.3	337.4	384.6
	100	351.9	328.6	386.9
0.45	0	420.4	408.4	421.0
	10	389.4	406.8	405.5
	25	381.3	404.4	401.5
	50	382.1	400.4	401.9
	100	371.7	392.5	396.7
0.40	0	427.5	517.1	424.5
	10	423.5	515.8	422.6
	25	422.9	513.9	422.2
	50	398.3	510.7	410.0
	100	383.1	504.3	402.4

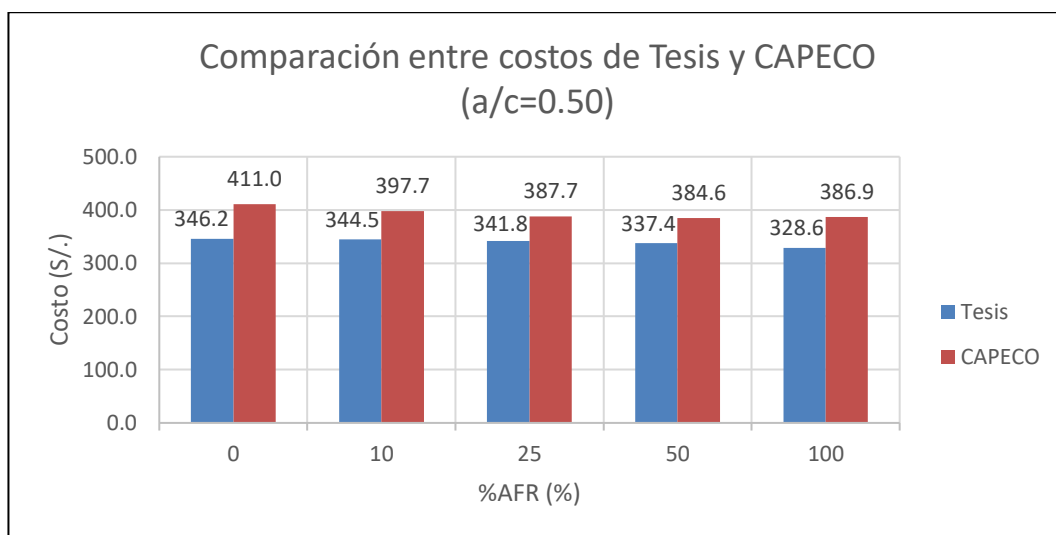
Nota 1. Costo (S/.) está referido al costo de 1 metro cúbico de mezcla.

Nota 2. " $f'c$ " es la resistencia a compresión, para la edad de 28 días, promedio de cada variante de mezcla.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

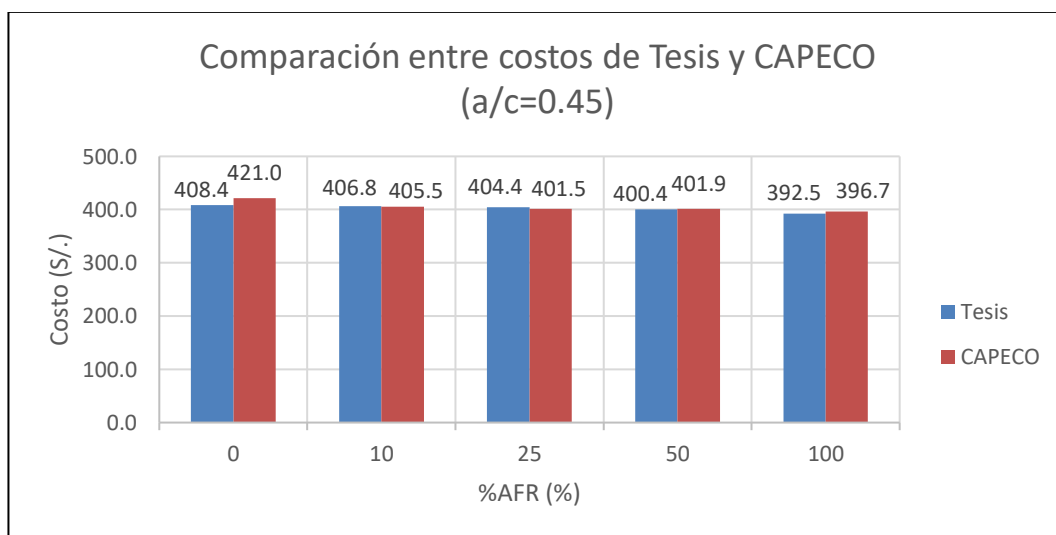
"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

En la Figura 86, Figura 87 y Figura 88 se muestra la comparación entre los costos de las mezclas con relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente.



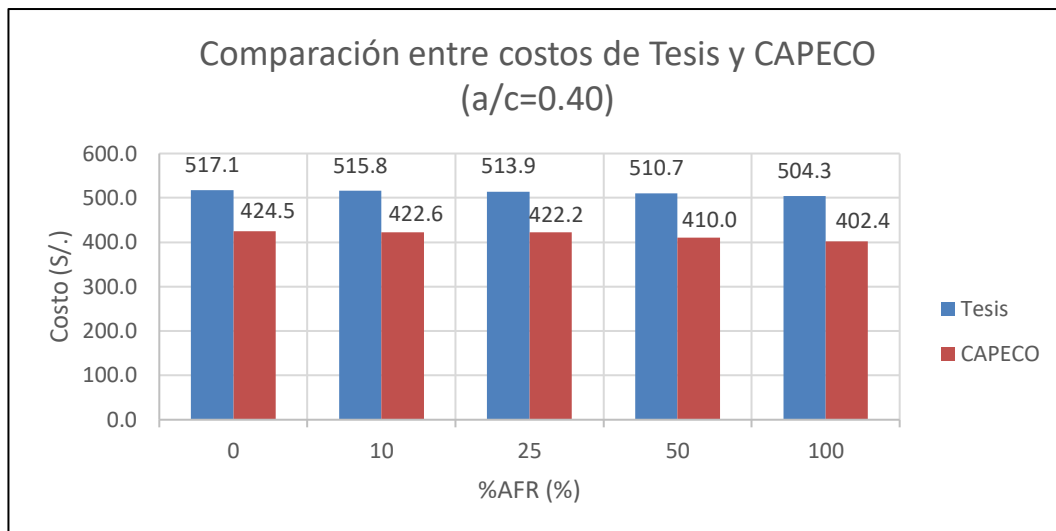
**Figura 86** Comparación entre costos de Tesis y CAPECO (a/c = 0.50).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



**Figura 87** Comparación entre costos de Tesis y CAPECO (a/c = 0.45).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.



**Figura 88** Comparación entre costos de Tesis y CAPECO (a/c = 0.40).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 86 a la Figura 88 se puede ver que para la relación a/c de 0.50, los costos obtenidos en la presente tesis fueron menores a los del mercado; para la relación a/c de 0.45, los costos obtenidos en la presente tesis fueron similares a los del mercado; y para la relación a/c de 0.40, los costos obtenidos en la presente tesis fueron mayores a los del mercado.

---

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES GENERALES:

- El agregado fino reciclado tenía más partículas finas que el agregado fino natural, aunque los valores de TM y TMN obtenidos para ambos agregados finos fueron iguales. Además, los valores de absorción y contenido de humedad obtenidos para el agregado fino reciclado fueron casi cuatro veces los obtenidos para el agregado fino natural.
- A mayor %AFR, se obtuvieron mayores valores de asentamiento y contenido de aire; mientras que el peso unitario y los tiempos de fraguado (inicial y final) disminuyeron.
- A mayor %AFR, disminuyeron las resistencias (a compresión, tracción y flexión). Sin embargo, estas disminuciones no fueron significativas para mezclas con hasta 25% de agregado fino reciclado.
- Las mezclas con gran cantidad de agregado fino reciclado (porcentajes de reemplazo de 50% y 100%), sea que contengan aditivo superplastificante o no, cumplieron con la Ley de Abrams. Puesto que las resistencias a compresión a 28 días variaron de forma inversamente proporcional a la relación a/c.
- Los costos disminuyeron hasta un 5% (con 100% de AFR). El efecto de añadir aditivo superplastificante en mezclas con 50% y 100% de AFR, produjo un aumento de la resistencia de hasta 52.68% al aumentar el costo hasta un 18.36%.

### CONCLUSIONES DE ENSAYOS EN AGREGADOS:

- El agregado fino reciclado tenía más partículas finas que el agregado fino natural. El porcentaje de partículas que atravesó la malla N°100 del agregado fino reciclado (12.36%) fue mayor al establecido por la NTP 400.037:2021 (de 0% a 10%). Sin embargo, el material fino que pasó la malla N°200 del agregado fino reciclado (2.70%) si cumplió con el límite establecido por la norma (5% o 7%, según sea el caso).
- Ambos agregados finos (reciclado y natural) tuvieron valores de módulo de fineza, de 2.81 y 3.01 respectivamente, que están dentro del rango establecido por la NTP. El TM y TMN obtenidos para el agregado fino reciclado y el agregado fino natural fueron los mismos; 4.75mm (malla N°4) y 2.38mm (malla N°8) respectivamente.

- La absorción del agregado fino reciclado (7.88%) fue casi 4 veces la del agregado fino natural (2.09%). Lo mismo pasa con el contenido de humedad obtenido, puesto que para el agregado fino reciclado se obtuvo 7.97% y para el agregado fino natural 1.99%.
- Los valores de PUS y PUC obtenidos para el agregado fino reciclado (1402.17 y 1513.62 kg/m<sup>3</sup>) representaron aproximadamente el 80% de los obtenidos para el agregado fino natural (1681.39 y 1800.83 kg/m<sup>3</sup>).

#### DE ENSAYOS EN CONCRETO FRESCO:

- Los diseños patrón cumplieron con la consistencia deseada (plástica), puesto que los valores de asentamiento están entre 3" y 4". Se obtuvo asentamientos de 4.0", 3.3" y 3.4" para las relaciones a/c de 0.50, 0.45 y 0.40 respectivamente.
- El asentamiento disminuyó (respecto al patrón) en 4.23%, 12%, 24.9% y 33.1% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
- El peso unitario disminuyó (respecto al patrón) en 0.77%, 1.17%, 2.17% y 2.80% para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
- El contenido de aire aumentó conforme mayor es el %AFR. Los valores obtenidos fueron de 1.40%, 1.50%, 1.70%, 1.80% y 1.95% para los %AFR de 0%, 10%, 25%, 50% y 100% respectivamente (para a/c de 0.50). La variación máxima (respecto al patrón) fue de 39.3% y se obtuvo en la mezcla con 100% de AFR.
- Los tiempos de fraguado inicial y final obtenidos para las mezclas con %AFR de 0, 10, 25, 50 y 100; fueron de 227 min y 305 min, 173 min y 237 min, 183 min y 267 min, 175 min y 255 min, y 157 min y 233 min respectivamente (para a/c de 0.50). La variación máxima de estos tiempos se registró en la mezcla con 100% de AFR, fueron de 30.8% y 23.6% respectivamente.

#### DE ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO:

- Se obtuvo un concreto que cumplió con la característica de ser de mediana a alta resistencia, puesto que se superó la resistencia a compresión de 408 kgf/cm<sup>2</sup> (para las relaciones a/c de 0.45 y 0.40).
- En general, la resistencia a compresión disminuía conforme el porcentaje de agregado fino reciclado en la mezcla se hacía mayor.

- 
- La resistencia a compresión a 7 días disminuyó (respecto al patrón) en 2.83%, 8.03%, 10.1% y 12.5% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
  - La resistencia a compresión a 28 días disminuyó (respecto al patrón) en 5.00%, 7.37%, 9.73% y 11.37% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
  - La variación de la resistencia a compresión a 28 días de las mezclas con grandes porcentajes de reemplazo (%AFR de 50 y 100), cumplieron la Ley de Abrams.
  - En general, las resistencias a tracción y flexión disminuían conforme el porcentaje de agregado fino reciclado en la mezcla se hacía mayor.
  - La resistencia a tracción a 7 días disminuyó (respecto al patrón) en 0.76%, 8.80%, 11.57% y 14.10% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
  - La resistencia a tracción a 28 días disminuyó (respecto al patrón) en 2.87%, 10.00%, 12.43% y 18.03% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
  - La resistencia a flexión a 7 días disminuyó (respecto al patrón) en 3.07%, 8.07%, 12.40% y 15.10% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.
  - La resistencia a flexión a 28 días disminuyó (respecto al patrón) en 2.57%, 6.20%, 11.90% y 15.17% en promedio para los %AFR de 10, 25, 50 y 100 respectivamente.

#### DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

- El análisis de contrastación de hipótesis mostró que las resistencias (a compresión, flexión y tracción, a edades de 7 y 28 días) de las mezclas con 10% de AFR no tenían diferencia significativa con las resistencias patrón, es decir cumplieron la hipótesis nula (significancia  $\geq 0.05$ ); de forma similar, para mezclas con 25% de AFR también se encontraron casos donde no había diferencia significativa respecto al patrón.
- El análisis de contrastación de hipótesis mostró que las resistencias (a compresión, flexión y tracción, a edades de 7 y 28 días) de algunas de las mezclas con 25% de AFR y contenidos mayores (50% y 100% de AFR) si

tuvieron diferencia significativa con las resistencias patrón, es decir que cumplieron la hipótesis alterna (significancia  $< 0.05$ ).

## DEL ANÁLISIS DE COSTOS

- Para las mezclas con a/c de 0.40 y 0.45, al disminuir el costo total de la mezcla (usando agregado fino reciclado) en 2%, la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en promedio un 9% (respecto a las resistencias del concreto patrón, con agregados naturales).
- En el análisis de costos no estuvo incluido el costo de transporte de material, que es importante en todas las obras de construcción. Por eso, los costos totales de mezcla no representaron de forma óptima el costo real que tendría en una obra. Además, generalmente una cantera (de agregados naturales) está más alejada que una planta de producción de agregados reciclados (cercana a ciudades porque se abastece de demoliciones).
- Para las mezclas con a/c de 0.50, 0.45 y 0.40, al disminuir el costo de los agregados en 5.4%, 13.6%, 27.2% y 54.5% (usando 10%, 25%, 50% y 100% de AFR); la resistencia a compresión a 28 días disminuyó en promedio un 5.0%, 7.4%, 9.7% y 11.4% (respecto a las resistencias del concreto patrón, con agregados naturales).
- El uso de aditivo superplastificante para contrarrestar la pérdida de resistencia fue viable. Para mezclas con 50% de AFR, casi no hubo variación entre el costo de una mezcla de a/c de 0.45 (sin aditivo) y otra de a/c de 0.305 (con aditivo); registrando un aumento de la resistencia a compresión a 28 días de 382.1 kgf/cm<sup>2</sup> a 530.3 kgf/cm<sup>2</sup>. Además, se obtuvo que para mezclas con 100% de AFR, casi no hubo variación entre el costo de una mezcla de a/c de 0.45 (sin aditivo) y otra de a/c de 0.341 (con aditivo); registrando un aumento de la resistencia a compresión a 28 días de 371.7 kgf/cm<sup>2</sup> a 446.5 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente.
- Los costos obtenidos de las mezclas para la relación a/c de 0.50 fueron menores a los del mercado, para la relación a/c de 0.45 fueron similares y para la relación a/c de 0.40 fueron mayores a los del mercado.

---

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de agregado fino reciclado en mezclas de concreto en porcentajes de reemplazo entre 10% y 25% del agregado fino total. Puesto que para esas mezclas se tuvo variaciones no significativas de las resistencias a compresión, flexión y tracción (respecto a las resistencias patrón, de concretos con agregados naturales).
- Se recomienda el uso de aditivo superplastificante, para reducir la relación agua cemento de la mezcla y así contrarrestar la pérdida de resistencia por el uso de agregado fino reciclado. Puesto que la variación en el costo, buscando mayores resistencias, puede ser ínfimo.
- En caso se vaya a usar agregado fino reciclado, se recomienda tapar con un plástico para evitar que absorba humedad del ambiente o usarlo sin dejarlo mucho tiempo almacenado a la intemperie. Esto, debido a los valores de absorción y contenido de humedad obtenidos para el agregado fino reciclado.
- Se recomienda extender la investigación para mezclas con agregado fino reciclado en porcentajes que varíen desde 10% hasta un valor aproximado de 35%. Esto para definir con más exactitud un porcentaje de reemplazo óptimo, buscando una variación de resistencias no significativa respecto a las resistencias de un concreto con agregados naturales.
- Con respecto a la recomendación anterior, también se puede realizar investigaciones con aditivo superplastificante en las mezclas con agregado reciclado. Con el fin de encontrar un diseño óptimo, cuyo costo disminuya (o se mantenga) al usar agregado reciclado y aditivo superplastificante, y la resistencia aumente (respecto a un concreto con agregados naturales).



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2017). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- ACHE (2006). *Monografía M-11: Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural*. ATC – ACHE.
- ACI (1991). *ACI 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. 91st edition.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- Cachay, R. (2013). *Diseño de mezclas de concreto* [Diapositivas de PowerPoint]. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Cachay, R. (2022a). *Materiales para producir concreto. Tema I. Cemento* [Diapositivas de PowerPoint]. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Cachay, R. (2022b). *Materiales para producir concreto. Tema II. Agua* [Diapositivas de PowerPoint]. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Caycho, T. y Espinoza, D. (2019). *Mezcla de concreto con agregado grueso reciclado usando cemento portland tipo HS para cimentaciones, distrito La Molina, año-2019* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- CAPECO. (2022). Boletín Técnico, Edición abril 2022, 51.
- Chumán, K. y Rivas, Y. (2020). *Aditivos plastificantes a base de policarboxilatos para mejorar las propiedades físico – mecánicas del concreto fluido* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Chumpitaz, G. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de un concreto elaborado con agregado grueso proveniente del concreto reciclado fluido* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil]. Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Consejo Mundial Empresarial Para El Desarrollo Sostenible. Iniciativa Para La Sostenibilidad Del Cemento (CSI). (2009). *Reciclando Concreto*.

[http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO\\_1.pdf](http://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf)

- Correa, J., Iral, R. y Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 59.
- Decreto Supremo N° 014-2021-VIVIENDA. (26 de julio de 2021). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.
- Domingo, A., Pelufo, M., Serna, P., Ulloa, V. y Vergara, N. (2007). *Uso de los residuos de construcción y demolición en la fabricación de hormigón, para uso estructural. Evaluación de las propiedades mecánicas*. Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Eguchi, K., Teranishi, K., Nakagome, A., Kishimoto, H., Shinozaki, K. y Narikawa, M. (2007). Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction. *Construction and Building Materials*, 21, 1542-1551.
- Elizondo, G. (2013). *Resistencia vs. Relación A/C del concreto a tres edades y con dos tipos de cemento (UG y MP-AR)* [tesis de pregrado]. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.
- Fay, R., Treloar, G. y Iyer-Raniga, U. (2000). Life-Cycle Energy Analysis of Buildings: a Case Study. *Building Research and Information*, 28(1), 31-41.
- GCCA (Asociación Global de Cemento y Concreto). (s.f.). *Consumo y Producción Responsables*. <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/the-un-sustainable-development-goals/sdg-12-responsible-consumption-and-production/>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*, sexta edición, Editorial: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V., México.
- INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones*. 5ª Edición, NTP 400.037.
- INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo*. 4ª Edición (NTP 400.012).

- INDECOPI. (2020). *AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. 4ª Edición* (NTP 400.021).
- INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Edición* (NTP 400.022).
- INDECOPI. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición* (NTP 339.185).
- INDECOPI. (2020). *AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4ª Edición* (NTP 400.018).
- INDECOPI. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 4ª Edición* (NTP 400.017).
- INDECOPI. (2021). *CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones. 4ª Edición* (NTP 334.088).
- INDECOPI. (2020). *CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos. 7ª Edición* (NTP 334.009).
- INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Especificaciones. 4ª Edición* (NTP 339.088).
- INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados. 4ª Edición* (NTP 339.047).
- INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5ª Edición* (NTP 339.034).
- INDECOPI. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de Ensayo. 5ª Edición* (NTP 339.035).
- INDECOPI. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. 3ª Edición* (NTP 339.084).
- INDECOPI. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3ª Edición* (NTP 339.046).

- INDECOPI. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. 3ª Edición* (NTP 339.078).
- INDECOPI. (2009). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar el residuo sólido y el contenido de materia orgánica (sólidos volátiles) de las aguas usadas para elaborar morteros y concretos de cemento Portland. 2ª Edición* (NTP 339.071).
- INDECOPI. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Edición* (NTP 339.082).
- INDECOPI. (2021). *CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 3ª Edición* (NTP 339.183).
- INDECOPI. (2017). *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco. 4ª Edición* (NTP 339.036).
- INDECOPI. (1999). *MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN. Reciclaje* (NTP 400.053).
- INDECOPI. (2022). *Método de ensayo normalizado para la determinación de cloruro soluble en agua en mortero y concreto* (NTP 334.148).
- INDECOPI. (2014). *Método de ensayo para determinar el sulfato extraíble en el agua del mortero endurecido de cemento Portland* (NTP 334.078).
- Kou, S., Poon, C. y Wan, H. (2012). Properties of concrete prepared with low-grade recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 36, 881-889.
- Ley N°31313, Ley del Desarrollo Urbano Sostenible. (25 de julio de 2021). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.
- Medina, A. (2022). *Influencia de la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado, en las propiedades mecánicas a compresión y flexión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  – Abancay 2021* [Tesis de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil]. Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Edición setiembre de 2015* (EG-2013).
- Ponce, C. (2014). *Estudio del concreto reciclado de mediana a baja resistencia, utilizando cemento portland tipo I* [Tesis de grado para optar

por el Título de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal. (2020). *Proyecto de Norma Ambiental para la Ciudad de México* (PROY-NADF-007-RNAT-2019).
- Torre, A. (2022). *Diseño de mezclas de concreto* [Diapositivas de PowerPoint]. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

## ANEXOS

### ANEXO N°01: TOLVA USADA EN EL LABORATORIO N°1 DE ENSAYO DE MATERIALES (N°4).



**Figura 89** Tolva usada en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales (N°4).

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°02: CONSTANCIA DEL LABORATORIO N°1 DE ENSAYO DE MATERIALES (FIC – UNI).

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil</b> <b>LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"</b>	<small>Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por</small>  <small>Engineering Technology Accreditation Commission</small>
<h3><u>CONSTANCIA</u></h3>		
<p>EL JEFE (e) DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:</p>		
<p>El Sr. <b>WILLIAM JOSEPH RODRÍGUEZ VIAMONTE</b>, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos, en agregados y concreto el marco de la Tesis <b>"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"</b></p>		
<p>Se le brindó las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos desde el 03 de diciembre del 2021 hasta el 03 de marzo del 2022.</p>		
<p>Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.</p>		
<p>Lima, 30 de noviembre del 2022</p>		
 		
<p>Ing. OSCAR MIRANDA HOSPINAL Jefe (e) de Laboratorio</p>		
 <small>La Calidad es nuestro compromiso Laboratorio Certificado ISO 9001</small>	 Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25 apartado 1301 - Perú  (511) 381 - 3343  (511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046	 <a href="http://www.lem.uni.edu.pe">www.lem.uni.edu.pe</a>  <a href="mailto:lem@uni.edu.pe">lem@uni.edu.pe</a>  Laboratorio de Ensayo de Materiales - UNI
		

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

**ANEXO N°03: FICHA TÉCNICA DEL AGREGADO FINO RECICLADO.**

	
	
<b>PRODUCTO</b>	Agregado G / Arena gruesa
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	Agregado Ecológico Grueso. Obtenido por la trituración artificial de material reciclado (gravas, concreto). Muy importante para la elaboración del concreto. Ideal para la construcción
<b>PESO</b>	Saco de 33 Kg / A pedido por metro cúbico (m <sup>3</sup> )
<b>COLOR</b>	Marrón
<b>USO Y APLICACIONES</b>	Ideal como agregado para solados, falsas zapatas, sobrecimientos, falso piso, entrepisos, veredas, muros de contención, mejoramiento de sub base, mejoramiento de base y pavimentos, entre otros
<b>TIPO</b>	Áridos a granel



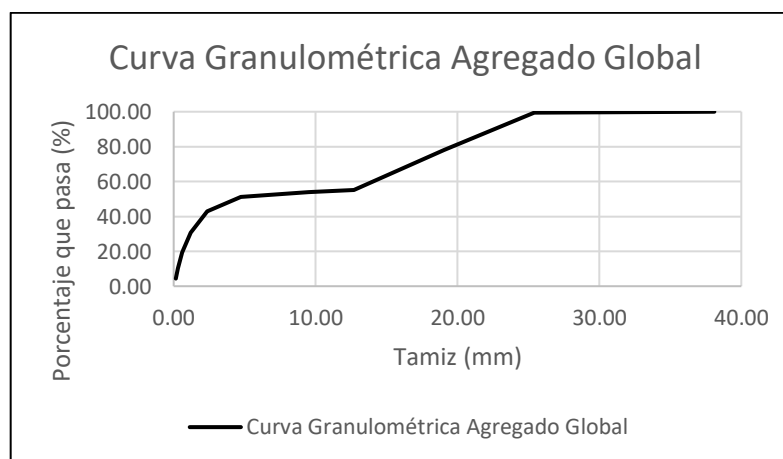
## ANEXO N°04: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GLOBAL.

**Tabla 77**

Ensayo granulométrico del agregado global (máxima compacidad).

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GLOBAL				
TAMIZ		% Retenido	% Ret. Acumulado	% Que Pasa
mm	(pulg)			
38.10	1 1/2"	0.00	0.00	100.00
25.40	1"	0.55	0.55	99.45
19.05	3/4"	21.46	22.01	77.99
12.70	1/2"	22.97	44.97	55.03
9.50	3/8"	1.08	46.06	53.94
4.75	N°4	2.79	48.85	51.15
2.38	N°8	8.27	57.11	42.89
1.19	N°16	12.20	69.32	30.68
0.60	N°30	11.46	80.77	19.23
0.30	N°50	9.09	89.86	10.14
0.15	N°100	5.78	95.64	4.36
FONDO		4.36	100.00	0.00

Nota. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 90** Granulometría del agregado global (máxima compacidad).

Nota. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°05: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO SOL TIPO I.

CEMENTO SOL



**Ficha Técnica**

---

## CEMENTO SOL

---

**Descripción:**

- Es un Cemento Pórtland Tipo I, obtenido de la molienda conjunta de Clinker y yeso.

---

**Beneficios:**

- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en Shotcrete.
- Excelente desarrollo en resistencias a la compresión.
- Buena trabajabilidad.

---

**Usos:**

- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Fabricación de concretos de mediana y alta resistencia a la compresión.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.
- Shotcrete y grout.

---

**Características Técnicas:**

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

---

**Formato de Distribución:**

- Bolsas de 42.5 Kg: 04 pliegos (03 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y Big Bags.

---



**Recomendaciones**

**Dosificación:**

- Se debe dosificar según la resistencia deseada.
- Respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.


**Manipulación:**

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Se recomienda utilizar equipos de protección personal.
- Se debe evitar el contacto del cemento con la piel, los ojos y su inhalación.

**Almacenamiento:**

- Almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes y pisos. Protegerlas de las corrientes de aire húmedo.
- No apilar más de 10 bolsas para evitar su compactación.
- En caso de un almacenamiento prolongado, se recomienda cubrir los sacos con un cobertor de polietileno.

**ANEXO N°06: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.**

	<b>EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO</b>	Lima: Av. Los Héroes N° 675 Urb. La Campaña - Chorrillos. Tel.: (01) 2023050 Cel.: 996 120 514/ 996 330 130
	Hoja Técnica - Edición 20 - Versión 03.20	
<p>Plastificantes / Superplastificantes / Reductores de agua</p> <h2>Z Fluidizante SR-1000</h2> <p><b>Descripción:</b> Aditivo súperplastificante a base de policarboxilatos de última generación especialmente diseñado para la producción de concreto que requiere de un rápido desarrollo de resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad. Cumple con las normas ASTM C 494, Tipo A, F. No contiene cloruro, no es tóxico y no es inflamable.</p>		
<p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extremadamente alta reducción de agua, generando una alta resistencia, densidad e impermeabilidad del concreto</li> <li>- Incremento del desarrollo de resistencia inicial</li> <li>- No necesita aumentar el contenido de agua y cemento por m<sup>3</sup>.</li> <li>- Disminuye la formación de cangrejeras.</li> <li>- Permite que el concreto obtenga la consistencia necesaria para que sea bombeable.</li> <li>- Permite que el concreto se acomode mejor a la armadura de acero.</li> <li>- Disminuye la energía de compactación para la eliminación de vacíos (menor vibrado para compactación).</li> <li>- Dependiendo de la dosificación y diseño de mezclas se puede obtener mezclas fluidas (slump entre 6" a 9").</li> <li>- Optimiza la cohesividad durante el mezclado del concreto.</li> </ul>		
<p><b>Rentabilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al utilizarlo con la finalidad de reducir agua en el diseño de mezcla se puede ahorrar costos de cemento sin alterar la resistencia de diseño.</li> <li>- Las propiedades plastificantes que aporta a la mezcla permiten disminución de costos en manipuleo, colocación.</li> <li>- Evita cangrejeras y con ello gastos adicionales en reparación de concreto luego de desencofrado.</li> <li>- Permite una menor compactación permitiendo ahorro en costos de vibrado.</li> </ul> <p>La rentabilidad dependerá del buen uso del producto realizando los respectivos reajustes según su diseño y requerimientos del producto final.</p>		
<p><b>Usos</b></p> <p>Aditivo súperplastificante y reductor de agua en toda mezcla de concreto. De fácil colocación donde se desee reducir un 10% a 30% de agua (opcional), trae a su vez el aumento de resistencia y durabilidad.</p>		

## ANEXO N°07: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.50.

**Tabla 78**

Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C.G.</b>	<b>C07.50.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>04 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>11 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.95	9.96	20.88	20.68	25195	2.09	324
2	10.03	9.97	20.72	20.90	24199	2.08	308
3	9.94	9.91	20.69	20.76	25945	2.09	335
4	9.92	9.93	20.86	20.91	23944	2.10	309
5	10.06	9.95	20.97	20.91	25421	2.09	323
6	9.91	9.98	20.72	20.77	25143	2.09	324
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>320.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.50.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.93	9.97	20.84	20.68	25862	2.09	333
2	9.95	9.99	20.67	20.66	24620	2.07	315
3	9.93	9.97	20.72	20.74	24801	2.08	319
4	9.94	10.00	20.66	20.68	23797	2.07	305
5	9.98	9.97	20.74	20.80	24587	2.08	315
6	9.94	9.96	20.73	20.69	23986	2.08	308
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>315.8</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.50.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.99	10.00	20.69	20.64	22266	2.07	284
2	9.98	9.96	20.72	20.74	21530	2.08	276
3	9.99	9.96	20.72	20.71	23699	2.08	303
4	9.92	10.01	20.70	20.66	23374	2.08	300
5	9.99	9.97	20.69	20.65	23930	2.07	306
6	10.02	9.97	20.64	20.72	24069	2.07	307
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>295.9</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

<b>C.G.</b>	<b>C07.50.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
:							
1	9.99	9.95	20.70	20.67	21387	2.07	274
2	9.97	9.96	20.79	20.77	21440	2.09	275
3	9.93	9.93	20.77	20.73	24289	2.09	314
4	9.93	9.88	20.74	20.68	22042	2.09	286
5	9.93	9.91	20.65	20.61	22246	2.08	288
6	9.95	9.90	20.64	20.59	22179	2.08	287
					<b>f'c prom.</b>		<b>287.2</b>
					<b>(kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		
<b>C.G.</b>	<b>C07.50.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
:							
1	9.93	9.92	20.53	20.72	21165	2.08	274
2	9.92	9.92	20.55	20.65	22853	2.08	296
3	9.95	9.90	20.63	20.56	22344	2.08	289
4	9.93	9.99	20.69	20.59	21364	2.07	274
5	9.95	9.93	20.54	20.58	20856	2.07	269
6	9.98	9.89	20.70	20.62	20606	2.08	266
					<b>f'c prom.</b>		<b>277.8</b>
					<b>(kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 79**

Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C.G.</b>	<b>C28.50.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.98	9.95	20.55	20.60	30086	2.06	386
2	9.90	9.95	20.70	20.60	30135	2.08	390
3	9.90	9.90	20.60	20.70	32496	2.09	422
4	9.90	9.90	20.60	20.80	31307	2.09	407
5	9.95	9.95	20.70	20.70	30276	2.08	389
6	9.90	10.00	20.70	20.80	31798	2.09	409
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>400.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.50.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.02	9.98	20.68	20.70	30583	2.07	389
2	9.99	9.97	20.83	20.74	28583	2.08	365
3	9.97	10.00	20.76	20.80	29179	2.08	373
4	9.99	9.97	20.84	20.81	27607	2.09	353
5	9.99	9.97	20.67	20.70	30460	2.07	389
6	9.89	9.99	20.76	20.79	28875	2.09	372
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>373.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.50.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>02 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.00	9.95	20.71	20.70	28955	2.08	371
2	10.00	9.98	20.61	20.61	27077	2.06	345
3	10.00	9.98	20.89	20.76	28105	2.08	359
4	9.96	9.97	20.68	20.67	25742	2.07	330
5	9.98	9.99	20.72	20.68	29674	2.07	379
6	10.09	9.99	20.54	20.44	26745	2.04	338
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>353.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.50.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>03 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.00	9.96	20.76	20.82	25285	2.08	323
2	9.89	9.94	20.68	20.78	27805	2.09	360
3	10.06	9.99	20.75	20.71	25249	2.07	320
4	10.01	10.02	20.80	20.89	27043	2.08	343
5	10.05	10.00	20.66	20.72	28600	2.06	362
6	9.93	9.96	20.65	20.72	29137	2.08	375
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>347.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.50.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kg)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.01	9.96	20.71	20.74	25922	2.08	331
2	9.90	9.90	20.79	20.72	27795	2.10	361
3	9.96	9.93	20.89	20.93	28347	2.10	365
4	9.91	9.94	20.78	20.73	28039	2.09	362
5	9.84	9.89	20.72	20.77	26050	2.10	341
6	9.92	9.90	20.66	20.71	27086	2.09	351
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>351.9</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO N°08: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.45.

**Tabla 80**

Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C.G.</b>	<b>C07.45.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>19 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.93	20.65	20.62	26060	2.08	336
2	9.93	9.92	20.60	20.60	26945	2.08	348
3	9.96	9.97	20.66	20.60	26759	2.07	343
4	9.95	10.00	20.30	20.35	28591	2.04	366
5	9.92	9.92	20.65	20.60	27827	2.08	360
6	9.95	9.96	20.50	20.55	27869	2.06	358
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>351.9</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.45.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.96	9.94	20.75	20.76	27122	2.09	349
2	9.89	9.93	20.86	20.81	24392	2.10	316
3	9.97	9.95	20.80	20.77	25776	2.09	331
4	9.98	9.99	20.78	20.82	29291	2.08	374
5	9.93	9.99	20.83	20.75	27775	2.09	356
6	9.93	9.97	20.76	20.75	24726	2.09	318
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>340.7</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.45.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.97	9.98	20.72	20.68	25324	2.08	324
2	9.98	9.97	20.87	20.80	25083	2.09	321
3	9.95	10.02	20.71	20.72	24317	2.07	311
4	9.98	10.00	20.64	20.69	25593	2.07	327
5	9.97	9.99	20.63	20.67	24361	2.07	311
6	9.97	9.99	20.57	20.58	25455	2.06	325
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>319.8</b>

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"



<b>C.G.</b>	<b>C07.45.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.96	9.99	20.72	20.75	21749	2.08	278
2	10.01	9.98	20.70	20.65	23787	2.07	303
3	9.97	9.99	20.63	20.61	24781	2.07	317
4	9.97	9.97	20.67	20.73	24862	2.08	318
5	9.92	10.00	20.72	20.77	25904	2.08	332
6	10.00	9.98	20.65	20.68	25867	2.07	330
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>313.2</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.45.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.93	20.66	20.67	26589	2.08	343
2	9.96	9.98	20.68	20.72	22365	2.08	286
3	9.93	9.95	20.68	20.67	24655	2.08	318
4	9.92	9.93	20.80	20.82	24988	2.10	323
5	9.96	9.95	20.78	20.74	24411	2.09	314
6	9.97	9.94	20.81	20.79	24930	2.09	320
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>317.3</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 81**

Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C.G.</b>	<b>C28.45.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.93	9.94	20.72	20.76	31139	2.09	402
2	9.95	9.96	20.68	20.66	33055	2.08	425
3	9.93	9.91	20.68	20.72	32689	2.09	423
4	9.92	9.91	20.65	20.62	33745	2.08	437
5	9.88	9.83	20.61	20.61	31003	2.09	406
6	9.91	9.93	20.71	20.62	33205	2.08	430
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>420.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.45.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.98	20.88	20.83	32110	2.09	412
2	9.92	9.91	20.88	20.83	29928	2.10	388
3	9.99	9.97	20.70	20.74	30683	2.08	392
4	9.99	9.95	20.79	20.82	30563	2.09	391
5	9.91	9.93	20.64	20.70	28392	2.08	367
6	9.87	9.90	20.94	20.90	29570	2.12	385
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>389.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.45.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.81	9.88	20.89	20.88	30261	2.12	398
2	10.05	10.06	20.62	20.72	29302	2.06	369
3	9.95	9.97	20.65	20.68	30391	2.07	390
4	10.07	9.99	20.81	20.76	30258	2.07	383
5	9.99	10.08	20.70	20.72	29019	2.06	367
6	9.94	9.97	20.78	20.68	29695	2.08	382
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>381.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.45.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.88	9.93	20.41	20.42	30727	2.06	399
2	9.89	9.96	20.70	20.73	25002	2.09	323
3	9.96	9.97	20.33	20.36	28976	2.04	372
4	9.93	9.95	20.76	20.72	27907	2.09	360
5	9.85	9.92	20.72	20.67	32286	2.09	421
6	9.84	9.85	20.63	20.67	31885	2.10	419
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>382.1</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.45.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.11	10.05	20.30	20.36	29794	2.02	373
2	10.11	10.08	20.75	20.79	29358	2.06	367
3	10.02	10.06	20.61	20.51	29153	2.05	368
4	10.08	10.04	20.73	20.71	29683	2.06	373
5	10.00	9.98	20.69	20.61	29556	2.07	377
6	10.00	9.98	20.78	20.85	29098	2.08	371
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>371.7</b>

Nota 1. "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

Nota 2. "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°09: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.40.

**Tabla 82**

Resistencia a compresión a 7 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C.G.</b>	<b>C07.40.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>19 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.97	10.00	20.72	20.71	31331	2.07	400
2	9.93	9.91	20.74	20.81	30704	2.09	397
3	9.97	9.98	20.62	20.62	30111	2.07	385
4	10.01	10.06	20.58	20.62	30231	2.05	382
5	9.99	10.00	20.68	20.69	28621	2.07	365
6	10.01	10.00	20.71	20.65	29315	2.07	373
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>383.8</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.40.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.98	9.95	20.70	20.65	28033	2.07	359
2	9.99	9.95	20.53	20.31	29372	2.05	376
3	9.96	10.03	20.65	20.59	28107	2.06	358
4	9.99	9.97	20.32	20.35	28638	2.04	366
5	9.96	9.92	20.71	20.69	29908	2.08	385
6	10.04	9.98	20.79	20.74	29153	2.07	370
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>369.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.40.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.97	9.97	20.20	20.24	26820	2.03	344
2	9.97	9.93	20.61	20.64	27077	2.07	348
3	9.99	9.96	20.35	20.30	27582	2.04	353
4	9.97	9.93	20.58	20.62	28511	2.07	367
5	9.95	9.99	20.26	20.31	28663	2.03	367
6	9.98	9.94	20.65	20.70	27221	2.08	349
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>354.7</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

<b>C.G.</b>	<b>C07.40.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>17 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>24 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.95	9.98	20.75	20.77	26996	2.08	346
2	9.97	9.94	20.75	20.73	26215	2.08	337
3	9.91	9.96	20.69	20.74	27264	2.09	352
4	9.93	9.98	20.75	20.78	26633	2.09	342
5	9.94	9.97	20.77	20.74	28990	2.08	372
6	9.92	9.98	20.80	20.84	27059	2.09	348
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>349.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>C07.40.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.93	9.99	20.79	20.81	24975	2.09	321
2	9.94	9.98	20.72	20.76	24769	2.08	318
3	10.00	9.99	20.75	20.79	26674	2.08	340
4	9.96	10.01	20.66	20.69	26255	2.07	335
5	9.97	10.01	20.66	20.68	26481	2.07	338
6	9.96	10.00	20.89	20.91	25237	2.09	323
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>329.0</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 83**

Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C.G.</b>	<b>C28.40.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.95	10.00	20.58	20.60	33098	2.06	424
2	9.90	9.95	20.75	20.73	32545	2.09	421
3	9.95	9.95	20.59	20.61	33358	2.07	429
4	9.95	9.95	20.60	20.65	34906	2.07	449
5	9.95	10.00	20.75	20.70	33251	2.08	425
6	9.90	10.00	20.90	20.70	32446	2.09	417
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>427.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.40.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.96	10.00	20.73	20.78	32458	2.08	415
2	9.96	10.02	20.61	20.65	33948	2.07	433
3	9.98	10.01	20.60	20.58	34219	2.06	436
4	9.95	9.97	20.63	20.67	33433	2.07	429
5	9.99	10.02	20.71	20.75	33109	2.07	421
6	9.97	9.95	20.72	20.72	31695	2.08	407
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>423.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.40.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.98	20.72	20.75	32386	2.08	416
2	9.99	9.98	20.51	20.49	32598	2.05	416
3	9.94	9.99	20.62	20.68	33222	2.07	426
4	10.00	9.97	20.70	20.68	33596	2.07	429
5	9.93	10.00	20.69	20.72	32419	2.08	416
6	9.96	9.94	20.70	20.66	33807	2.08	435
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>422.9</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.40.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.97	9.97	20.68	20.72	31149	2.08	399
2	9.97	10.00	20.66	20.69	31292	2.07	400
3	10.01	10.00	20.88	20.91	30865	2.09	393
4	9.99	10.02	20.69	20.72	30835	2.07	392
5	9.98	10.00	20.72	20.75	31536	2.08	402
6	9.97	9.98	20.74	20.78	31574	2.08	404
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>398.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>C28.40.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra:	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.03	9.99	20.76	20.77	30030	2.07	382
2	10.00	9.96	20.60	20.64	30636	2.07	392
3	9.93	9.97	20.73	20.79	30928	2.09	398
4	10.01	10.11	20.53	20.47	29894	2.04	376
5	9.96	10.02	20.71	20.76	29179	2.08	372
6	9.98	10.04	20.72	20.77	29842	2.07	379
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>383.1</b>

Nota 1. "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

Nota 2. "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

Nota 3. Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°10: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON ADITIVO Y %AFR = 50.**

**Tabla 84**

Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 50.

<b>C.G.</b>	<b>A.295. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>14 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>11 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.98	9.99	20.41	20.40	43043	2.04	550
2	9.95	9.97	20.38	20.38	44310	2.05	569
3	9.99	9.97	20.43	20.40	43540	2.05	557
4	9.99	9.96	20.49	20.51	43690	2.06	559
5	9.94	9.94	20.37	20.38	43632	2.05	562
6	9.94	9.93	20.42	20.44	42980	2.06	554
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>558.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>A.303. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>11 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.97	9.97	20.48	20.48	41305	2.05	529
2	9.94	9.93	20.52	20.53	41128	2.07	531
3	10.04	9.99	20.60	20.58	39867	2.06	506
4	10.01	10.04	20.20	20.24	43209	2.02	547
5	10.04	10.00	20.58	20.54	40306	2.05	511
6	10.00	10.00	20.44	20.53	43610	2.05	555
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>529.9</b>
<b>C.G.</b>	<b>A.305. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>14 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>11 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.91	9.93	20.92	20.95	40433	2.11	523
2	9.92	9.91	20.74	20.77	40131	2.09	520
3	9.80	9.85	20.97	20.94	41332	2.13	545
4	9.92	9.95	20.83	20.86	41977	2.10	541
5	9.87	9.91	20.85	20.84	40831	2.11	532

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



---

6	9.94	9.90	20.93	20.91	40227	2.11	520
					<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>530.3</b>

---

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "H" son Diámetro y Altura respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "K" la relación de esbeltez, "f'c" indica la resistencia a compresión y "f'c prom." indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO N°11: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN PARA MEZCLAS CON ADITIVO Y %AFR = 100.

**Tabla 85**

Resistencia a compresión a 28 días para mezclas con aditivo y %AFR = 100.

<b>C.G.</b>	<b>A.301.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>14 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>11 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.89	9.91	20.23	20.21	41007	2.04	533
2	9.94	9.90	20.26	20.27	41636	2.04	539
3	9.90	9.86	20.36	20.34	42821	2.06	559
4	9.82	9.80	20.30	20.30	41906	2.07	554
5	9.86	9.90	20.30	20.31	43295	2.06	565
6	9.90	9.88	20.30	20.28	41778	2.05	544
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>548.8</b>
<b>C.G.</b>	<b>A.304.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>11 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.99	20.63	20.62	36399	2.07	467
2	9.97	9.96	20.74	20.68	37058	2.08	475
3	9.96	10.02	20.57	20.52	37053	2.06	473
4	9.95	9.98	20.55	20.61	35638	2.07	457
5	9.99	9.98	20.56	20.50	37058	2.06	473
6	9.97	9.94	20.59	20.58	35315	2.07	454
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>466.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>A.341.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 04</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	K ( )	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.95	20.70	20.72	34322	2.08	442
2	9.92	9.95	20.65	20.61	33693	2.08	435
3	10.00	9.97	20.70	20.67	35207	2.07	450
4	10.00	9.98	20.53	20.57	34198	2.06	436
5	9.96	9.99	20.66	20.70	35456	2.07	454
6	9.92	9.95	20.74	20.75	35872	2.09	463
<b>f'c prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>446.5</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

*Nota 1.* “C.G.” es el Código Generado para denominar a esa tanda, “F.V.” indica la Fecha de Vaciado y “F.E.” indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* “D” y “H” son Diámetro y Altura respectivamente. “F” es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, “K” la relación de esbeltez, “f<sub>c</sub>” indica la resistencia a compresión y “f<sub>c</sub> prom.” indica la resistencia a compresión promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°12: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.50.

**Tabla 86**

Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C.G.</b>	<b>T07.50.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>18 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>25 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.98	9.95	10.00	20.70	20.75	9253	28
2	9.75	9.91	10.09	20.66	20.66	9817	31
3	9.76	9.93	10.07	20.61	20.66	9335	29
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>29.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.50.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.80	9.95	10.04	20.61	20.65	10086	31
2	9.80	10.03	10.10	20.70	20.84	9272	28
3	9.76	9.93	10.05	20.73	20.79	10703	33
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>31.0</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.50.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.89	9.97	10.01	20.61	20.67	7359	23
2	9.75	9.90	10.00	20.81	20.85	11131	34
3	9.76	9.92	9.98	20.77	20.74	7605	24
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>26.9</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.50.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.75	9.93	10.01	20.63	20.63	8174	25
2	9.81	9.95	10.05	20.64	20.69	8351	26
3	9.69	9.95	10.05	20.75	20.78	9207	29
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>26.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.50.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.78	10.12	10.22	20.70	20.73	9089	28
2	9.77	9.97	10.08	20.72	20.70	7431	23
3	9.77	9.96	10.15	20.68	20.63	7706	24
<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>24.9</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 87**

Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C.G.</b>	<b>T28.50. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.75	9.75	10.50	20.85	20.70	10359	32
2	9.75	9.95	10.10	20.75	20.80	10203	31
3	9.75	9.95	10.10	20.90	20.85	10575	32
4	9.70	9.90	10.10	20.70	20.70	10833	34
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>32.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.50. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.92	9.94	10.60	20.75	20.80	10417	31
2	9.88	9.91	10.03	20.81	20.84	10638	33
3	9.92	9.99	10.07	20.72	20.74	10270	32
4	9.94	9.96	10.04	20.63	20.66	9870	30
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>31.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.50. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>03 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.90	10.0 1	10.06	20.77	20.79	7349	23
2	9.75	9.98	10.09	20.79	20.69	9720	30
3	9.79	9.97	10.16	20.77	20.70	10345	32
4	9.75	9.95	10.09	20.86	20.79	9722	30
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>28.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.50. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>03 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.80	9.97	10.07	20.76	20.67	9449	29
2	9.85	9.95	10.13	20.64	20.68	9166	28

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

3	9.89	9.96	10.13	20.75	20.72	9665	30
4	9.81	10.1 8	10.10	20.56	20.54	9919	31
						<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>29.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.50. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.88	9.94	10.06	20.67	20.70	9262	29
2	9.84	9.93	10.02	20.76	20.71	8596	27
3	9.80	10.0 2	10.11	20.52	20.45	8495	26
4	9.93	10.0 2	10.13	20.72	20.70	8765	27
						<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>27.1</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°13: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.45.**

**Tabla 88**

Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C.G.</b>	<b>T07.45.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>19 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.76	9.98	10.13	20.68	20.65	10971	34
2	9.78	9.99	10.15	20.66	20.65	11591	36
3	9.75	9.99	10.16	20.72	20.68	9979	31
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>33.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.45.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.75	9.91	10.02	20.62	20.62	10418	33
2	9.76	9.99	10.06	20.68	20.64	9826	30
3	9.75	9.90	10.07	20.74	20.75	9878	31
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>31.2</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.45.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.79	9.99	10.10	20.65	20.62	9055	28
2	9.78	10.00	10.10	20.39	20.45	10111	32
3	9.79	9.99	10.12	20.70	20.68	8704	27
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>28.7</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.45.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.92	10.01	9.96	20.74	20.76	9588	30
2	9.92	9.93	9.95	20.75	20.71	8571	26
3	9.91	9.92	9.93	20.65	20.67	8631	27
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>27.6</b>

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



<b>C.G.</b>	<b>T07.45.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
:							
1	9.79	9.95	10.07	20.57	20.61	8834	27
2	9.76	9.88	10.04	20.74	20.77	9195	29
3	9.81	9.90	10.02	20.64	20.69	8508	26
					<b>f't prom.</b>		
					<b>(kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>27.5</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 89**

Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C.G.</b>	<b>T28.45.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.16	10.0 9	10.03	20.65	20.61	12217	37
2	10.09	10.0 1	9.97	20.69	20.71	9643	30
3	9.99	9.96	9.90	20.71	20.76	11983	37
4	10.15	10.0 5	9.97	20.74	20.70	11583	35
<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>34.8</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.45.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.93	10.0 1	10.08	20.70	20.75	11582	36
2	9.93	10.0 0	10.09	20.66	20.71	10155	31
3	9.93	9.97	10.07	20.73	20.78	11182	34
4	9.91	9.94	9.99	20.76	20.74	11845	37
<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>34.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.45.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.93	9.98	10.05	20.76	20.82	11137	34
2	9.98	10.0 3	10.11	20.71	20.66	10865	33
3	9.95	9.99	10.05	20.69	20.71	10536	32
4	9.94	10.0 0	10.03	20.71	20.76	11165	34
<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>							<b>33.5</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.45.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

1	9.91	10.06	10.09	20.76	20.79	10225	31
2	9.95	9.96	10.07	20.68	20.75	10576	33
3	9.87	9.94	9.99	20.66	20.70	9837	30
4	9.88	9.95	10.00	20.76	20.79	9997	31
						<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>31.3</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.45.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
:							
1	9.80	9.84	9.91	20.68	20.72	8779	27
2	9.85	9.90	10.04	20.68	20.74	9530	30
3	9.90	9.96	10.02	20.69	20.75	9135	28
4	9.73	9.80	9.84	20.70	20.76	9216	29
						<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>28.5</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°14: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A TRACCIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.40.**

**Tabla 90**

Resistencia a tracción a 7 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C.G.</b>	<b>T07.40.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>19 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.83	9.88	10.03	20.69	20.71	9181	28
2	9.83	9.91	9.96	20.77	20.82	9889	31
3	9.82	9.87	9.96	20.81	20.76	9654	30
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>29.7</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.40.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.08	10.00	9.95	20.44	20.39	10190	32
2	10.08	9.99	9.87	20.66	20.60	9266	29
3	10.11	10.03	9.96	20.66	20.65	9010	28
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>29.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.40.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.00	9.96	9.91	20.83	20.85	9198	28
2	9.86	9.90	9.95	20.71	20.76	8831	27
3	10.05	10.00	9.93	20.77	20.79	9631	30
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>28.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>T07.40.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>17 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>24 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.89	9.95	10.04	20.73	20.69	9239	29
2	10.06	9.98	9.91	20.70	20.66	8592	26
3	10.03	9.96	9.90	20.68	20.73	8726	27

					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		
						<b>27.3</b>	
<b>C.G.</b>	<b>T07.40.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.94	9.93	9.93	20.69	20.73	8556	26
2	9.92	9.93	9.92	20.80	20.82	9573	30
3	9.94	9.97	9.96	20.84	20.82	8120	25
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		
						<b>27.0</b>	

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 91**

Resistencia a tracción a 28 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C.G.</b>	<b>T28.40.0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	10.02	9.97	9.91	20.71	20.76	11285	35
2	10.08	9.99	9.84	20.70	20.74	12259	38
3	10.09	10.0 1	9.95	20.77	20.68	11359	35
4	10.14	10.0 3	10.03	20.70	20.66	11198	34
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>35.4</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.40.1</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.86	9.94	10.05	20.61	20.55	10690	33
2	9.91	10.0 0	10.09	20.40	20.43	10757	34
3	9.89	9.97	10.06	20.70	20.75	11202	35
4	9.86	9.95	10.12	20.63	20.61	10764	33
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>33.6</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.40.2</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.78	9.87	9.92	20.69	20.72	9867	31
2	9.92	9.99	10.06	20.86	20.89	9701	30
3	9.78	9.85	9.96	20.84	20.89	9799	30
4	9.82	9.90	9.99	20.77	20.82	9720	30
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>30.2</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.40.3</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.85	9.94	10.10	20.53	20.52	8520	27
2	9.87	9.95	10.11	20.83	20.76	9655	30
3	9.84	9.95	10.12	20.74	20.74	9461	29

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

4	9.83	9.94	10.06	20.71	20.65	9879	31
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>29.0</b>
<b>C.G.</b>	<b>T28.40.4</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>
Muestra :	D (cm)	D (cm)	D (cm)	L (cm)	L (cm)	F (kgf)	f't (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	9.85	10.0 1	10.11	20.66	20.67	9197	28
2	9.85	9.92	10.06	20.64	20.69	9262	29
3	9.82	9.96	10.14	20.56	20.62	9214	29
4	9.86	9.97	10.13	20.59	20.65	9059	28
					<b>f't prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>28.4</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "D" y "L" son Diámetro y Longitud respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "f't" indica la resistencia a tracción y "f't prom." indica la resistencia a tracción promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°15: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.50.**

**Tabla 92**

Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C. G.</b>	<b>F07.50. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>12 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>19 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.17	15.20	15.36	15.59	15.60	15.61	4090	50
2	15.31	15.36	15.39	15.66	15.51	15.44	4270	53
3	15.23	15.29	15.32	15.58	15.60	15.65	4180	51
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>51.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.50. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.48	15.39	15.33	15.66	15.69	15.90	4020	48
2	15.35	15.44	15.49	15.71	15.65	15.50	4230	51
3	15.37	15.40	15.47	15.57	15.62	15.78	4100	49
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>49.6</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.50. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>09 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.94	14.88	14.83	15.74	15.78	15.72	3380	42
2	15.29	15.37	15.40	15.66	15.60	15.53	3800	46
3	15.38	15.34	15.29	15.73	15.65	15.63	3750	45
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>44.5</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.50. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.25	15.42	15.32	16.03	16.16	16.09	3620	42
2	15.14	15.17	15.09	16.05	16.10	16.08	3340	39
3	15.64	15.58	15.49	16.13	16.06	15.81	3850	44

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>41.5</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.50. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>14 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>		
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	15.34	15.41	15.48	16.01	16.97	16.83	3390	36	
2	15.86	15.84	15.83	15.41	15.61	15.67	3520	42	
3	15.51	15.53	15.56	16.22	16.43	16.39	3490	38	
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>38.9</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 93**

Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.50.

<b>C. G.</b>	<b>F28.50. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>25 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.71	15.62	15.47	15.75	15.68	15.52	4590	55
2	15.35	15.27	15.20	15.51	15.56	15.66	4670	57
3	15.55	15.60	15.68	15.76	15.67	15.46	4880	58
4	15.60	15.67	15.76	15.45	15.61	15.60	4610	55
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>56.5</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.50. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.37	15.32	15.28	15.67	15.63	15.54	4510	55
2	15.20	15.29	15.36	16.05	16.03	16.07	4550	53
3	15.34	15.29	15.21	15.67	15.80	15.83	4850	58
4	15.25	15.33	15.38	16.55	16.48	16.62	4910	53
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>54.8</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.50. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>02 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>02 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.32	15.25	15.31	16.10	15.99	15.94	4350	51
2	15.33	15.42	15.48	15.77	15.80	15.87	4560	54
3	15.30	15.42	15.53	15.87	15.75	15.77	4170	49
4	14.93	14.86	14.79	15.65	15.73	15.66	4040	50
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>51.1</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.50. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>03 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>03 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.18	15.26	15.31	15.81	16.01	16.05	4270	50
2	15.23	15.28	15.30	15.57	15.59	15.55	4200	52
3	15.01	15.05	15.07	15.63	15.64	15.64	4080	51

"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"

4	15.44	15.48	15.42	15.60	15.63	15.57	4020	49
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>50.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.50. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>07 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>07 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.52	15.54	15.62	15.58	15.60	15.61	4010	48
2	15.25	15.30	15.36	15.64	15.57	15.67	4200	51
3	15.37	15.31	15.24	15.59	15.58	15.49	4040	50
4	15.33	15.38	15.46	15.65	15.67	15.55	4240	51
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>50.2</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°16: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.45.**

**Tabla 94**

Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C. G.</b>	<b>F07.45. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>13 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>20 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.16	15.27	15.31	15.69	15.72	15.80	4620	56
2	14.90	14.85	14.84	15.68	15.81	15.65	4230	53
3	15.24	15.36	15.40	15.81	15.89	15.82	4570	54
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>54.2</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.45. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.33	15.44	15.53	15.50	15.67	15.63	4270	52
2	15.19	15.29	15.34	15.61	15.65	15.72	4380	53
3	15.26	15.15	15.16	15.66	15.66	15.63	4450	55
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>53.2</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.45. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.56	15.49	15.61	15.64	15.60	15.67	4430	53
2	15.48	15.59	15.52	15.68	15.70	15.78	4290	51
3	15.42	15.44	15.30	15.75	15.74	15.77	4150	50
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>51.2</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.45. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>15 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.30	15.33	15.22	15.43	15.52	15.64	4400	54
2	15.86	15.77	15.59	15.63	15.65	15.44	4320	52
3	15.39	15.36	15.33	15.53	15.64	15.62	4160	51

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>52.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.45. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>17 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>		
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	15.30	15.39	15.50	15.66	15.57	15.61	4030	49	
2	15.20	15.20	15.23	15.53	15.57	15.59	4090	51	
3	15.35	15.29	15.38	15.62	15.65	15.70	3990	48	
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>49.3</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 95**

Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.45.

<b>C. G.</b>	<b>F28.45. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>25 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.49	15.56	15.67	15.67	15.60	15.63	5550	66
2	15.29	15.37	15.39	15.58	15.64	15.63	5500	67
3	15.36	15.41	15.44	15.66	15.71	15.77	5290	63
4	15.32	15.36	15.31	15.83	15.74	15.74	5200	62
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>64.8</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.45. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.20	15.29	15.34	15.81	15.90	15.82	5190	62
2	15.53	15.47	15.40	15.62	15.66	15.59	5210	63
3	14.94	14.86	14.79	15.77	15.81	15.82	5010	62
4	15.28	15.23	15.25	15.59	15.65	15.67	4970	61
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>61.7</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.45. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.29	15.25	15.33	15.95	16.05	15.12	5000	60
2	15.27	15.30	15.35	15.66	15.73	15.73	4770	58
3	15.18	15.28	15.34	16.04	15.96	15.89	4970	58
4	15.39	15.44	15.48	15.88	15.85	15.89	5260	62
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>59.5</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.45. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>08 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>08 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.25	15.37	15.32	15.57	15.53	15.43	4590	57
2	15.34	15.31	15.27	15.59	15.53	15.49	4800	59
3	15.28	15.32	15.39	15.19	15.26	15.28	4500	58

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

4	15.31	15.27	15.22	15.82	15.76	15.71	4870	59
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>58.1</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.45. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>10 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>10 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.33	15.44	15.49	15.84	15.86	15.74	4050	48
2	15.22	15.29	15.42	15.81	15.72	15.75	4560	55
3	15.20	15.27	15.33	15.60	15.63	15.74	4350	53
4	15.26	15.19	15.22	15.73	15.66	15.61	4250	52
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>
								<b>51.9</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°17: RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN PARA MEZCLAS CON a/c DE 0.40.**

**Tabla 96**

Resistencia a flexión a 7 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C. G.</b>	<b>F07.40. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>20 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>27 01</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	14.92	14.87	14.84	15.71	15.80	15.69	4720	58
2	15.20	15.19	15.15	15.78	15.74	15.71	4530	55
3	15.50	15.48	15.52	15.75	15.83	15.87	4720	56
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>56.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.40. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.10	15.10	15.08	15.70	15.75	15.68	4280	52
2	15.57	15.50	15.45	15.58	15.64	15.56	4420	53
3	15.41	15.46	15.53	15.72	15.67	15.63	4670	56
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>54.0</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.40. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>15 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.55	15.61	15.52	15.62	15.58	15.58	4530	55
2	15.56	15.62	15.69	15.57	15.53	15.47	4350	53
3	15.32	15.29	15.25	15.44	15.49	15.57	4220	52
							<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>53.2</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.40. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>17 03</b>	<b>F.E.</b>	<b>24 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.20	15.25	15.31	15.59	15.55	15.66	3870	48
2	15.10	15.15	15.20	15.43	15.48	15.40	3920	50
3	15.17	15.13	15.09	15.40	15.49	15.57	3750	47

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**



								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>48.1</b>
<b>C. G.</b>	<b>F07.40. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>02 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>		
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )	
1	15.35	15.28	15.25	15.27	15.33	15.40	3920	50	
2	15.23	15.29	15.33	15.53	15.55	15.54	4090	51	
3	15.25	15.27	15.33	15.47	15.58	15.58	3920	48	
								<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>	<b>49.6</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 97**

Resistencia a flexión a 28 días para mezclas con a/c de 0.40.

<b>C. G.</b>	<b>F28.40. 0</b>	<b>F.V.</b>	<b>26 01</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 02</b>	<b>%AFR =</b>	<b>0</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.25	15.12	15.09	15.77	15.69	15.75	5160	63
2	15.50	15.55	15.66	15.63	15.67	15.73	5400	64
3	15.48	15.57	15.61	15.63	15.70	15.79	5450	65
4	15.67	15.56	15.49	15.73	15.88	15.83	5600	66
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>64.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.40. 1</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>10</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.35	15.46	15.52	15.58	15.51	15.46	5200	64
2	15.34	15.44	15.52	15.48	15.46	15.55	5380	66
3	15.64	15.56	15.49	15.73	15.64	15.59	5300	63
4	15.41	15.38	15.41	15.47	15.40	15.46	5150	64
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>64.3</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.40. 2</b>	<b>F.V.</b>	<b>23 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>25</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.38	15.49	15.57	15.43	15.52	15.50	5160	63
2	15.56	15.52	15.46	15.67	15.59	15.53	5290	64
3	15.55	15.47	15.39	15.54	15.61	15.63	5350	65
4	15.28	15.20	15.11	16.20	16.35	16.26	5580	63
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>63.9</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.40. 3</b>	<b>F.V.</b>	<b>22 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>22 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>50</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.39	15.34	15.28	15.57	15.51	15.44	4500	56
2	15.31	15.28	15.25	15.73	15.65	15.70	4580	55
3	15.60	15.55	15.48	15.62	15.59	15.55	4680	57

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

4	15.47	15.45	15.50	15.66	15.66	15.77	4420	53
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>55.1</b>
<b>C. G.</b>	<b>F28.40. 4</b>	<b>F.V.</b>	<b>22 02</b>	<b>F.E.</b>	<b>23 03</b>	<b>%AFR =</b>	<b>100</b>	
M.:	A (cm)	A (cm)	A (cm)	H (cm)	H (cm)	H (cm)	F (kgf)	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	15.60	15.53	15.50	15.88	15.94	16.00	4380	51
2	15.21	15.14	15.20	15.76	15.77	15.75	5000	60
3	15.48	15.40	15.35	15.69	15.75	15.78	5220	62
4	15.47	15.56	15.70	15.70	15.81	15.78	3980	47
						<b>Mr prom. (kgf/cm<sup>2</sup>):</b>		<b>55.1</b>

*Nota 1.* "C.G." es el Código Generado para denominar a esa tanda, "F.V." indica la Fecha de Vaciado y "F.E." indica la Fecha de Ensayo.

*Nota 2.* "A" y "H" son Ancho y Altura de la sección donde se produjo la rotura de la viga respectivamente. "F" es la Fuerza registrada en el aparato de ensayo, "Mr" indica el módulo de rotura y "Mr prom." indica el módulo de rotura promedio de la tanda.

*Nota 3.* Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°18: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS.****Tabla 98**

Estadísticos Descriptivos de los grupos de resultados.

Código Generado	Número de muestras	Media (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación Estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Variación (%)
C07.50.0	6	320.5000	10.29077	3.21
C07.50.1	6	315.8333	9.84717	3.12
C07.50.2	6	296.0000	12.88410	4.35
C07.50.3	6	287.3333	14.44530	5.03
C07.50.4	6	278.0000	11.84905	4.26
C28.50.0	6	400.5000	14.34922	3.58
C28.50.1	6	373.5000	13.96782	3.74
C28.50.2	6	353.6667	19.24231	5.44
C28.50.3	6	347.1667	22.35546	6.44
C28.50.4	6	351.8333	13.51172	3.84
C07.45.0	6	351.8333	11.39152	3.24
C07.45.1	6	340.6667	22.94050	6.73
C07.45.2	6	319.8333	7.11102	2.22
C07.45.3	6	313.0000	20.07984	6.42
C07.45.4	6	317.3333	18.39203	5.80
C28.45.0	6	420.5000	13.72224	3.26
C28.45.1	6	389.1667	14.44184	3.71
C28.45.2	6	381.5000	11.94571	3.13
C28.45.3	6	382.3333	38.06135	9.96
C28.45.4	6	371.5000	3.67423	0.99
C07.40.0	6	383.6667	13.50062	3.52
C07.40.1	6	369.0000	10.35374	2.81
C07.40.2	6	354.6667	9.97330	2.81
C07.40.3	6	349.5000	12.16141	3.48
C07.40.4	6	329.1667	9.57949	2.91
C28.40.0	6	427.5000	11.27386	2.64
C28.40.1	6	423.5000	11.20268	2.65
C28.40.2	6	423.0000	8.19756	1.94
C28.40.3	6	398.3333	4.84424	1.22

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

---

C28.40.4	6	383.1667	9.92807	2.59
T07.50.0	3	29.3333	1.52753	5.21
T07.50.1	3	30.6667	2.51661	8.21
T07.50.2	3	27.0000	6.08276	22.53
T07.50.3	3	26.6667	2.08167	7.81
T07.50.4	3	25.0000	2.64575	10.58
T28.50.0	4	32.2500	1.25831	3.90
T28.50.1	4	31.5000	1.29099	4.10
T28.50.2	4	28.7500	3.94757	13.73
T28.50.3	4	29.5000	1.29099	4.38
T28.50.4	4	27.2500	1.25831	4.62
T07.45.0	3	33.6667	2.51661	7.48
T07.45.1	3	31.3333	1.52753	4.88
T07.45.2	3	29.0000	2.64575	9.12
T07.45.3	3	27.6667	2.08167	7.52
T07.45.4	3	27.3333	1.52753	5.59
T28.45.0	4	34.7500	3.30404	9.51
T28.45.1	4	34.5000	2.64575	7.67
T28.45.2	4	33.2500	0.95743	2.88
T28.45.3	4	31.2500	1.25831	4.03
T28.45.4	4	28.5000	1.29099	4.53
T07.40.0	3	29.6667	1.52753	5.15
T07.40.1	3	29.6667	2.08167	7.02
T07.40.2	3	28.3333	1.52753	5.39
T07.40.3	3	27.3333	1.52753	5.59
T07.40.4	3	27.0000	2.64575	9.80
T28.40.0	4	35.5000	1.73205	4.88
T28.40.1	4	33.7500	0.95743	2.84
T28.40.2	4	30.2500	1.25831	4.16
T28.40.3	4	29.2500	1.70783	5.84
T28.40.4	4	28.5000	1.29099	4.53
F07.50.0	3	51.3333	1.52753	2.98
F07.50.1	3	49.3333	1.52753	3.10
F07.50.2	3	44.3333	2.08167	4.70
F07.50.3	3	41.6667	2.51661	6.04

---

**"INFLUENCIA DEL AGREGADO FINO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO DE MEDIANA A ALTA RESISTENCIA"**

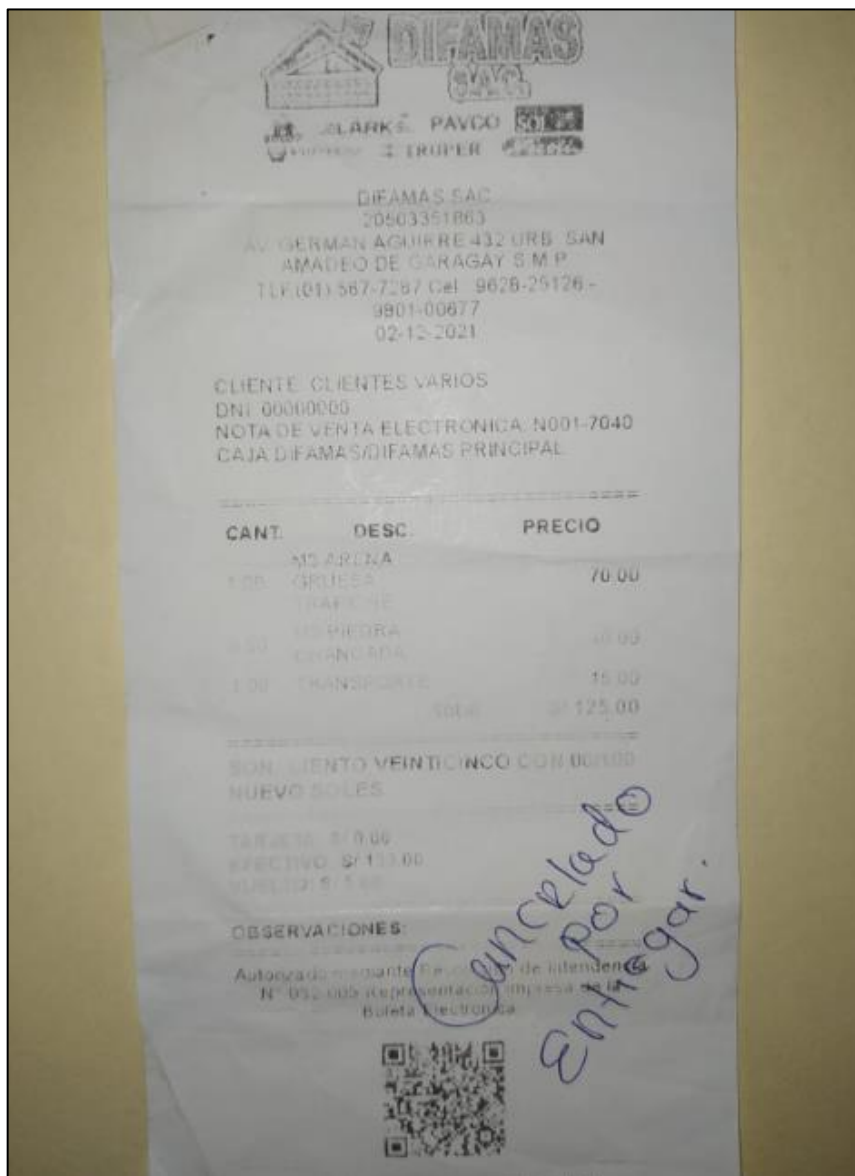
---

F07.50.4	3	38.6667	3.05505	7.90
F28.50.0	4	56.2500	1.50000	2.67
F28.50.1	4	54.7500	2.36291	4.32
F28.50.2	4	51.0000	2.16025	4.24
F28.50.3	4	50.5000	1.29099	2.56
F28.50.4	4	50.0000	1.41421	2.83
F07.45.0	3	54.3333	1.52753	2.81
F07.45.1	3	53.3333	1.52753	2.86
F07.45.2	3	51.3333	1.52753	2.98
F07.45.3	3	52.3333	1.52753	2.92
F07.45.4	3	49.3333	1.52753	3.10
F28.45.0	4	64.5000	2.38048	3.69
F28.45.1	4	62.0000	0.81650	1.32
F28.45.2	4	59.5000	1.91485	3.22
F28.45.3	4	58.2500	0.95743	1.64
F28.45.4	4	52.0000	2.94392	5.66
F07.40.0	3	56.3333	1.52753	2.71
F07.40.1	3	53.6667	2.08167	3.88
F07.40.2	3	53.3333	1.52753	2.86
F07.40.3	3	48.3333	1.52753	3.16
F07.40.4	3	49.6667	1.52753	3.08
F28.40.0	4	64.5000	1.29099	2.00
F28.40.1	4	64.2500	1.25831	1.96
F28.40.2	4	63.7500	0.95743	1.50
F28.40.3	4	55.2500	1.70783	3.09
F28.40.4	4	55.0000	7.16473	13.03
A.295.3	6	558.5000	6.59545	1.18
A303.3	6	529.8333	19.25011	3.63
A305.3	6	530.1667	10.94380	2.06
A.301.4	6	549.0000	12.34504	2.25
A.304.4	6	466.5000	8.98332	1.93
A.341.4	6	446.6667	10.98484	2.46

---

Nota. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°19: COMPROBANTE DE PAGO DE AGREGADOS NATURALES.



**Figura 91** Comprobante de pago de agregados naturales.

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO N°20: COMPROBANTE DE PAGO DEL CEMENTO.

**INVERSIONES ELOSA EIRL**

De: **ERIKA LOPEZ SALAZAR**

**VENTA DE MATERIALES  
DE CONSTRUCCIÓN Y FERRETERÍA EN GENERAL**

Cal. Manuel Villar N° 240  
Urb. Ingeniería  
Lima - Lima - San Martín de Porres  
Cel.: 976661805 / 977599122

**RUC: 20605079971**

**NOTA DE VENTA**  
**0002374**

DÍA	MES	AÑO
15	02	22

Señor(es): \_\_\_\_\_ **938968989**

Dirección: \_\_\_\_\_ D. Ident.: \_\_\_\_\_

CANT.	DESCRIPCIÓN	P.UNIT.	TOTAL
10	Cemento 50 kg	26.5	265.00
	Servicio	10	10
			<b>275.00</b>

PRECIOS SUJETOS A VARIACIÓN

*Gracias por su preferencia*

TOTAL S/ **275.00**

Figura 92 Comprobante de pago del cemento.

Nota. Fuente: Elaboración propia.



## ANEXO N°21: COMPROBANTE DE PAGO DEL AGREGADO FINO RECICLADO.

		<b>FOMENTO OBRAS Y CONTRATAS S.A.C.</b> CAL. 5 MZA. D1 LOTE 2 URB. LAS VERTIENTES DE LA TABL. VILLA EL SALVADOR - LIMA - LIMA. Telf.: 721-3931 Cel: 934 812 841 ventas@focsac.com www.construccioneseologicas.com		<b>R.U.C. 20549627545</b>	
		<b>GUÍA DE REMISIÓN - REMITENTE</b>			
		<b>002- N° 000092</b>			
FECHA DE EMISIÓN: <u>17/0/22</u>					
Punto de Partida: <u>Calle 5 Mz D1 Lt2. VES.</u>		Punto de Llegada:			
Fecha de Traslado:		Nombre de denominación o razón social del DESTINATARIO: <u>William Rodríguez</u>			
		Número de RUC:			
<b>UNIDAD DE TRANSPORTE Y CONDUCTOR</b>			<b>EMPRESA DE TRANSPORTES</b>		
Marca y número de placa:			Nombre o denominación o razón social:		
N° de Constancia de Inscripción:			Número de RUC:		
N° (s) de Licencia(s) de Conducir:					
CODIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	PESO TOTAL	
	<u>Arena gruesa.</u>	<u>1.5.</u>	<u>m<sup>3</sup></u>		
Tipo y Número de Comprobante de Pago: <u>18.00</u>					
Motivo de Tránsito:					
Venta <input checked="" type="checkbox"/> Venta sujeta a confirmar <input type="checkbox"/> Compra <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>		Consignación <input type="checkbox"/> Devolución <input type="checkbox"/> Entre establecimientos de una misma empresa <input type="checkbox"/>		Transformación <input type="checkbox"/> Cambio de bienes transformados <input type="checkbox"/> Emisor Itinerante <input type="checkbox"/>	
ZONA PRIMARIA <input type="checkbox"/> Importación <input type="checkbox"/> Exportación <input type="checkbox"/>					
SILVA CAMPOS GERALDINE LISBETH RUC: 1074898052 SERIE: 002 DEL 0001 AL 1000 AUT. N° 14512481023 F.I. 18/02/2021				Sr(a) <u>William Rodríguez</u> DESTINATARIO	

**Figura 93** Comprobante de pago del agregado fino reciclado.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°22: COMPROBANTE DE PAGO DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.**



 <b>Z ADITIVOS S.A.</b> Fabricantes de aditivos para concreto, suelo y asfalto. Dirección: Higuera de los Rios, Surcos N° 1005, Urb. Residencial Los Rios, La Campiña, Chorrillos, Lima San Borja de San Juan, Callao 081 505 775 2104 / 081 505 780 876 Lima, Av. Universidad 188, Miraflores 011 885 75 2225 / 011 885 28 993 Planta 1, Av. España 101, Miraflores 011 875 328 400 / 011 881 940 731 Planta 2, Av. España 101, Miraflores 011 875 328 400 / 011 881 940 731 Chilape, Av. Los Andes 405, San Juan, San Juan, 044 4206 221 788 / 041 994 228 778 Tegayán, Av. América Sur 916, 121, Miraflores 011 884 621 108 / 011 888 671 927 Paraguay, E. Carlos Herrera, 266, San Borja 011 791 111 700 / 011 888 28 491 Ica, Av. Toribio Tito Condoraga 103, Miraflores 011 208 22 771 / 011 794 888 792 Arequipa, Calle Piscochaca 2706, Cercado 084 428 621 388 / 084 428 621 384 Email: ventas@zaditivos.com.pe / facturas@zaditivos.com.pe      www.zaditivos.com.pe		<b>Datos del documento</b> Tipo de documento: FACTURA ELECTRONICA Serie y correlativo: F001-00316395 Fecha: 15-01-2022 Hora: 08:31:15														
<b>Datos del emisor</b> RUC: 20101020739 Nombre: Z ADITIVOS S.A. Dirección: AV. LOS FAISANES N° 675 LA CAMPIÑA, CHORRILLOS, LIMA, DEPARTAMENTO LIMA Sucursal: SUCURSAL CHORRILLOS		<b>Adquirente / Usuario</b> Identificación: RUC - REGISTRO UNICO DE CONTRIBUYENTES Número de identificación: 10732434467 Nombre: RODRIGUEZ VIAMONTE WILLIAM JOSEPH Dirección: JR. LOS HELENOS 4094, LOS OLIVOS, LOS OLIVOS, LIMA, LIMA, PERU														
<table border="1"><thead><tr><th>Cantidad</th><th>Unidad</th><th>Código</th><th>Código SUNAT</th><th>Descripción</th><th>Valor unitario</th><th>Importe</th></tr></thead><tbody><tr><td>1.000</td><td>BJ</td><td>ADIPLS0402</td><td>0</td><td>Z FLUIDIZANTE SR 1000 X 5 GAL</td><td>S/ 207.00</td><td>S/ 207.00</td></tr></tbody></table>	Cantidad	Unidad	Código	Código SUNAT	Descripción	Valor unitario	Importe	1.000	BJ	ADIPLS0402	0	Z FLUIDIZANTE SR 1000 X 5 GAL	S/ 207.00	S/ 207.00	<b>Información adicional</b> 1: FORMA DE PAGO: Contado 2: CODIGO VENDEDOR: VT 3: ORDEN DE COMPRA: - 4: SOLICITANTE: - 5: OBRA: - 6: NUMERO DE OPORTUNIDAD: - 7: OPERACIÓN SUJETA A DETRACCIÓN (Solo para servicios), N° CTA. Bco. de la Nación 00-014-006176. 8: Esta factura está afecta al pago de intereses moratorios según las tasas fijas por el B.C.R. a la fecha de facturación, más los gastos administrativos a que hubiese lugar en caso de no ser cancelada a su vencimiento. 9: Producto vendido, bajo la modalidad puesto en Planta, por lo que su posterior transporte, almacenamiento, utilización y/o transformación, es de total responsabilidad del cliente, no teniendo derecho a reclamo alguno. 10: No se aceptan devoluciones de mercadería después de las 48 horas.	<b>Total impuestos</b> Total IGV 18%: S/ 37.26
Cantidad	Unidad	Código	Código SUNAT	Descripción	Valor unitario	Importe										
1.000	BJ	ADIPLS0402	0	Z FLUIDIZANTE SR 1000 X 5 GAL	S/ 207.00	S/ 207.00										
<b>Guía(s) de remisión asociada(s)</b> G001-189357		<b>Totales del documento</b> Total Gravadas: S/ 207.00 Importe total de la venta: S/ 244.26														
Monto en letra: DOSCIENTOS CUARENTA Y CUATRO Y 26/100 SOLES		<b>CANCELADO</b> Z ADITIVOS S.A.														

Figura 94 Comprobante de pago del aditivo superplastificante.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

**ANEXO N°23: ESTRUCTURA TARIFARIA (SEDAPAL).**



<b>ESTRUCTURA TARIFARIA</b>			
Por los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado			
<b>1. CARGO FIJO (S/ / Mes)</b>		6,011	
<b>2. CARGO POR VOLUMEN</b>			
CLASE CATEGORÍA	RANGOS DE CONSUMOS	TARIFA (S/ / m <sup>3</sup> )	
	m <sup>3</sup> /mes	Agua Potable	Alcantarillado <sup>(1)</sup>
<b>RESIDENCIAL</b>			
Social	0 a más	1,518	0,711
Doméstico No Beneficiario	0 a 20	1,786	1,115
	20 a 50	2,537	1,560
	50 a más	6,483	3,090
Doméstico Beneficiario	0 a 10	1,518	0,711
	10 a 20	1,694	0,826
	20 a 50	1,786	1,115
	50 a más	6,483	3,090
<b>NO RESIDENCIAL</b>			
Comercial y Otros	0 a 1000	6,483	3,090
	1000 a más	6,955	3,313
Industrial	0 a más	6,955	3,313
Estatál	0 a más	4,262	1,967

(1) Incluye los servicios de recolección y tratamiento de aguas residuales.

**Notas:**


**A.-** No incluye I.G.V.

**B.-** En aplicación a lo dispuesto en:

- Artículo 73° del Texto Único Ordenado de la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 005-2020-VIVIENDA.
- Anexo N° 04 de la Resolución de Consejo Directivo N° 079-2021-SUNASS-CD.
- Capítulo I del Título III del Reglamento General de Tarifas de los Servicios de Saneamiento brindados por Empresas Prestadoras, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 028-2021-SUNASS-CD.

**C.-** La presente Estructura Tarifaria se aplicará a partir del primer ciclo de facturación inmediatamente posterior a su publicación.

005-2064782-1

Gerencia de Desarrollo e Investigación 

Publicada en el diario El Peruano 07.05.2022