

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Estudio de la influencia del tipo de cemento y  
granulometrías de agregado fino y grueso en las  
propiedades físicas y mecánicas de pavimento de  
concreto hidráulico poroso en la ciudad de Arequipa**

Suellen Sofía Loza Delgado  
Reyna Soledad Machacca Ccalloquispe

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTOS**

Siempre en primer lugar a nuestro Señor, Dios Padre, por la vida, por su gran amor, por todas sus bendiciones, por su protección día a día y por darnos la fortaleza para lograr nuestras metas, ahora y en adelante.

Agradecer a nuestros padres, hermanos; esposo e hija, por su apoyo absoluto en todo momento y a lo largo de toda nuestra carrera profesional.

A la Universidad Continental, por la gran oportunidad de obtener nuestro título profesional en tan honorable casa de estudios y por brindarnos todo lo necesario para lograr esta meta.

A Concretos Supermix, por el apoyo al desarrollo de esta investigación. Al personal técnico y los profesionales de esta gran empresa arequipeña, que compartieron su conocimiento y se involucraron en el proceso de nuestra investigación.

A nuestras amistades, quienes colaboraron y guiaron en el desarrollo de esta tesis hasta su culminación, brindándonos su apoyo infinito.

## **DEDICATORIA**

A ella, que me dio los mejores recuerdos, conversaciones e historias de su vida; que me dio su mejor sonrisa, su mejor comida, su mejor oración, su mejor aliento, su confianza a ciegas, sin esperar nada a cambio. A ella, que me regaló sus mejores días, sus mejores horas, sus mejores años. A ella, que me regaló millones de abrazos, millones de besos y su último adiós. A ella que ya no está conmigo, pero yo siempre estaré con ella en pensamiento y en corazón.

A ella, a mi mamá Sofía.

**Suellen Sofía Loza Delgado**

## **DEDICATORIA**

A mi amado esposo, Juan Alfredo Atencio Atencio, por su apoyo y ayuda incondicional en todo momento; y sobre todo para lograr culminar con éxito mi carrera profesional, brindándome consuelo en momentos difíciles y empujándome a lograr mis sueños y metas. A mi querida hija, Angie Abigail Atencio Machacca, por ser un gran motivo de seguir adelante en todo aspecto y darme la felicidad y el aliento que necesito día a día.

A mis padres: Apolinar Machacca y María Ccalloquispe, quienes me inculcaron buenos valores, el deseo de superación, y brindaron su apoyo cuando lo necesite. A mis hermanos César, Wilberth, Ronald, Daniel y Rosa, que me tienden una mano siempre que la necesito. Gracias por todo su apoyo.

A mi amigo Fernando Cruz, quien con su ayuda, colaboración y guía, se pudo culminar esta investigación.

A todas las amistades que fueron partícipes en esta etapa de desarrollo profesional en la carrera de Ingeniería Civil, que se dieron un tiempo para ayudarme.

**Reyna Soledad Machacca Ccalloquispe**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo principal .....	3
1.2.2 Objetivos secundarios.....	3
1.3 Justificación e importancia .....	4
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	5
1.4.1 Hipótesis.....	5
1.4.1.1 Hipótesis general .....	5
1.4.1.2 Hipótesis específicas.....	5
1.4.2 Descripción de variables .....	6
1.4.2.1 Variable independiente.....	6
1.4.2.2 Variable dependiente .....	6
MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Antecedentes del problema.....	7
2.2 Bases teóricas .....	12
2.2.1 Generalidades del concreto poroso.....	12

2.2.2 Materiales del concreto poroso .....	13
2.2.2.1 Cemento.....	13
2.2.2.2 Agregados .....	14
2.2.2.3 Agua .....	15
2.2.2.4 Aditivos.....	16
2.2.3 Propiedades en estado fresco del concreto poroso.....	17
2.2.3.1 Mezclado.....	17
2.2.3.2 Trabajabilidad.....	17
2.2.3.3 Asentamiento .....	18
2.2.3.4 Densidad o peso unitario.....	18
2.2.3.5 Contenido de aire .....	19
2.2.3.6 Compactación .....	19
2.2.4 Propiedades en estado endurecido del concreto poroso.....	20
2.2.4.1 Propiedades físicas.....	20
a) Permeabilidad .....	20
b) Tasa de infiltración .....	23
2.2.4.2 Propiedades mecánicas .....	24
a) Resistencia a la compresión.....	24
b) Módulo de rotura o resistencia a la flexión.....	25
2.2.5 Usos y aplicaciones para el concreto poroso.....	26
2.2.6 Ventajas y desventajas del concreto poroso.....	28
2.2.6.1 Ventajas .....	28
2.2.6.2 Desventajas.....	29
2.3 Conceptos.....	30
 METODOLOGÍA .....	 36
3.1 Método y alcance de la investigación .....	36
3.2 Diseño de la investigación.....	37
3.3 Población y muestra .....	40
3.3.1 Población .....	40
3.3.2 Muestra.....	41

3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1	Técnicas de recolección de datos.....	43
3.4.2	Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.3	Descripción de las técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	51
3.4.3.1	Ensayos a los agregados (NTP 400.010).....	53
	a) Ensayo de granulometrías (NTP 400.012).....	55
	b) Ensayo de malla 200 (NTP 400.018) .....	56
	c) Ensayo contenido de humedad (NTP 339.185).....	58
	d) Ensayo de absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022).....	59
	e) Ensayo de peso específico (densidad relativa) (NTP 400.021 y NTP 400.022).....	60
	f) Ensayo de peso unitario suelto (NTP 400.017).....	63
	g) Ensayo de peso unitario compactado (NTP 400.017).....	64
3.4.3.2	Diseño de mezclas de concreto poroso método ACI 522R-10 .....	65
	a) Masa del agregado.....	67
	b) Volúmenes de los agregados .....	68
	c) Volumen de la pasta .....	68
	d) Cantidad de cemento.....	68
	e) Cantidad de agua .....	69
	f) Verificar los volúmenes.....	69
	g) Verificar el contenido de vacíos: .....	69
3.4.3.3	Ensayos en estado fresco del concreto poroso.....	70
	a) Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco NTP 339.036 (ASTM C172).....	70
	b) Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco NTP 339.230 (ASTM C1688) .....	71
	c) Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto NTP 339.184 (ASTM C1064) .....	73
	d) Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio NTP 339.183.....	74
3.4.3.4	Ensayos en estado endurecido del concreto poroso.....	79
	a) Resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas NTP 339.034 (ASTM C39).....	79

b) Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo NTP 339.078 (ASTM C78).....	82
c) Ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10).....	84
d) Método de prueba estándar para la tasa de infiltración para concreto poroso (ASTM C1701).....	85
3.4.3.5 Análisis estadístico.....	87
a) Media aritmética.....	87
b) Desviación estándar.....	87
c) Varianza.....	87
d) Coeficiente de variación.....	88
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	 89
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	89
4.1.1 Caracterización de los materiales.....	89
4.1.1.1 Características del agregado fino.....	89
4.1.1.2 Características de la piedra huso 67.....	90
4.1.1.3 Características de la piedra huso 7.....	91
4.1.1.4 Características de la piedra huso 89.....	92
4.1.1.5 Diseño de mezclas patrón.....	93
4.1.2 Resultados.....	101
4.1.2.1 Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco.....	101
4.1.2.2 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión ( $f'c$ ).....	102
4.1.2.3 Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión (modulo de rotura - MR)..	103
4.1.2.4 Resultados de los ensayos de permeabilidad.....	105
4.1.2.5 Resultados de los ensayos para determinar la tasa de infiltración.....	106
4.1.3 Análisis.....	107
4.1.3.1 Efecto del tipo de cemento.....	107
4.1.3.2 Efecto de la granulometría del agregado grueso.....	120
4.1.3.3 Efecto de la cantidad de agregado fino.....	129
4.1.3.4 Resultados de permeabilidad.....	141
4.1.3.5 Resultados de la tasa de infiltración.....	143
4.1.3.6 Coeficiente de correlación entre permeabilidad y tasa de infiltración.....	145

4.1.3.7	Resumen de los resultados de las características del concreto poroso.....	146
4.1.3.8	Análisis de costos unitarios del concreto poroso.....	148
4.2	Discusión de resultados.....	150
CONCLUSIONES .....		154
RECOMENDACIONES .....		157
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		158
ANEXOS.....		162
Anexo 1. Operacionalización de variables.....		162
Anexo 2. Matriz de consistencia.....		163
Anexo 3. Flujograma del desarrollo del diseño de mezcla patrón.....		164
Anexo 4. Resultados de ensayos en concreto fresco .....		165
Anexo 5. Certificado de cemento IP y HE .....		167
Anexo 6. Certificado de aditivos plastificante y retardante .....		169
Anexo 7. Reportes de ensayos de agregados.....		171
Anexo 8. Certificado de verificación de prensa hidráulica .....		175
Anexo 9. Maestro de control metrológico – equipos laboratorio concretos Supermix S.A. ....		178
Anexo 10. Informe de calidad ensayo compresión (3, 7 y 14 días).....		179
Anexo 11. Certificados de calidad ensayos de compresión (28 días).....		188
Anexo 12. Certificados de ensayos a flexión.....		191
Anexo 13. Informe de calidad ensayos de permeabilidad .....		194
Anexo 14. Informe de calidad ensayo tasa de infiltración.....		195
Anexo 15. Panel fotográfico .....		196

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de los aditivos .....	17
<b>Tabla 2</b>	Precipitaciones máximas de los últimos 5 años estación La Pampilla Arequipa....	24
<b>Tabla 3</b>	Matriz de mezclas .....	40
<b>Tabla 4</b>	Número de muestras.....	43
<b>Tabla 5</b>	Extracción y preparación de las muestras.....	54
<b>Tabla 6</b>	Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos .....	55
<b>Tabla 7</b>	Cantidad de muestra .....	56
<b>Tabla 8</b>	Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. ....	58
<b>Tabla 9</b>	Cantidad de masa mínima .....	61
<b>Tabla 10</b>	Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados .....	63
<b>Tabla 11</b>	Valores efectivos $b/b_0$ .....	67
<b>Tabla 12</b>	Edad de rotura de los testigos.....	79
<b>Tabla 13</b>	Edad de rotura de los testigos.....	80
<b>Tabla 14</b>	Caracterización del agregado fino.....	89
<b>Tabla 15</b>	Caracterización del agregado grueso H67 .....	90
<b>Tabla 16</b>	Caracterización del agregado grueso H7 .....	91
<b>Tabla 17</b>	Caracterización del agregado grueso H89 .....	92
<b>Tabla 18</b>	Resumen de las características de todos los agregados.....	94
<b>Tabla 19</b>	Características del cemento y agua .....	94
<b>Tabla 20</b>	Valores de $b/b_0$ .....	95
<b>Tabla 21</b>	Contenido de agregado.....	96
<b>Tabla 22</b>	Características del aditivo .....	97
<b>Tabla 23</b>	Verificación del volumen .....	98
<b>Tabla 24</b>	Mezclas finales para concreto poroso .....	100
<b>Tabla 25</b>	Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco .....	101
<b>Tabla 26</b>	Resultados de ensayos de resistencia a la compresión .....	102
<b>Tabla 27</b>	Resultado de ensayos de resistencia a la flexión (MR) .....	104
<b>Tabla 28</b>	Resultados del ensayo de permeabilidad.....	105
<b>Tabla 29</b>	Resultados del ensayo para determinar la tasa de infiltración.....	106
<b>Tabla 30</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, Resultados a compresión del diseño 21 MPa 67 5% .....	108

<b>Tabla 31</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, Resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 67 5% .....	109
<b>Tabla 32</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 67 15% .....	110
<b>Tabla 33</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 67 15% .....	111
<b>Tabla 34</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el Diseño 21 MPa 7 5%.....	113
<b>Tabla 35</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 7 5% .....	114
<b>Tabla 36</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 7 15% .....	115
<b>Tabla 37</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 7 15% .....	116
<b>Tabla 38</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 89 5% .....	117
<b>Tabla 39</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 89 5% .....	118
<b>Tabla 40</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 89 15% .....	119
<b>Tabla 41</b>	Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 89 15% .....	120
<b>Tabla 42</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 5%.....	121
<b>Tabla 43</b>	Análisis Estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 5%.....	122
<b>Tabla 44</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 5% .....	124
<b>Tabla 45</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 5% .....	125
<b>Tabla 46</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 15%.....	126
<b>Tabla 47</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 15%.....	127

<b>Tabla 48</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 15% .....	128
<b>Tabla 49</b>	Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 15% .....	129
<b>Tabla 50</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 67 .....	130
<b>Tabla 51</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 67 .....	131
<b>Tabla 52</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 67 .....	132
<b>Tabla 53</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 67 .....	133
<b>Tabla 54</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 7 .....	134
<b>Tabla 55</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 7 .....	135
<b>Tabla 56</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 7 .....	136
<b>Tabla 57</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 7 .....	137
<b>Tabla 58</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 89 .....	138
<b>Tabla 59</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 89 .....	139
<b>Tabla 60</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 89 .....	140
<b>Tabla 61</b>	Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 89 .....	141
<b>Tabla 62</b>	Resultados y análisis estadístico del ensayo de permeabilidad .....	142
<b>Tabla 63</b>	Resultados y análisis estadístico del ensayo de tasa de infiltración .....	144
<b>Tabla 64</b>	Resumen de resultados promedios finales .....	146
<b>Tabla 65</b>	Análisis de costos unitarios de pavimento de concreto poroso diseño patrón 21 MPa IP 67 5% .....	148
<b>Tabla 66</b>	Análisis de costos unitarios de pavimento de concreto poroso diseño 21 MPa HE 67 15% .....	149

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Concreto poroso .....	13
<b>Figura 2</b>	Mesa vibratoria .....	20
<b>Figura 3</b>	Permeámetro de cabeza descendente.....	22
<b>Figura 4</b>	Uso y aplicación del concreto poroso.....	27
<b>Figura 5</b>	Hidroplaneo de un vehículo.....	29
<b>Figura 6</b>	Taponamiento de concreto poroso.....	30
<b>Figura 7</b>	Diagrama del diseño de la investigación .....	39
<b>Figura 8</b>	Formato para la evaluación de las propiedades físicas del agregado grueso y fino ..	46
<b>Figura 9</b>	Formato para la evaluación de la granulometría y características físicas de los agregados.....	47
<b>Figura 10</b>	Formato digital de laboratorio para los resultados del ensayo a compresión .....	48
<b>Figura 11</b>	Formato digital del laboratorio para los resultados del ensayo a flexión .....	48
<b>Figura 12</b>	Formato para evaluación de la permeabilidad con permeámetro de cabeza .....	49
<b>Figura 13</b>	Formato para la evaluación de la tasa de infiltración .....	50
<b>Figura 14</b>	Muestreo de agregados.....	51
<b>Figura 15</b>	Prueba de las dosificaciones iniciales .....	52
<b>Figura 16</b>	Elaboración de probetas de concreto permeable en mesa de vibrado.....	53
<b>Figura 17</b>	Cuarteo de muestra de agregado fino .....	54
<b>Figura 18</b>	Ensayo de granulometría .....	56
<b>Figura 19</b>	Lavado de muestra para ensayo de malla N° 200 .....	57
<b>Figura 20</b>	Muestras en el horno para secado .....	59
<b>Figura 21</b>	Saturación de agregados en agua.....	60
<b>Figura 22</b>	Preparación de muestra para ensayo de peso específico .....	62
<b>Figura 23</b>	Ensayo de peso unitario suelto.....	63
<b>Figura 24</b>	Ensayo de peso unitario compactado.....	64
<b>Figura 25</b>	Contenido de aire en % de acuerdo con la resistencia requerida .....	66
<b>Figura 26</b>	Relación a/c según el contenido de aire .....	67
<b>Figura 27</b>	Concreto fresco.....	71
<b>Figura 28</b>	Obtención de la densidad.....	73
<b>Figura 29</b>	Temperatura del concreto .....	74
<b>Figura 30</b>	Flujograma de la secuencia de la elaboración de los diseños de mezcla en laboratorio.....	75
<b>Figura 31</b>	Poza de curado .....	77

<b>Figura 32</b>	Flujograma de la secuencia de la elaboración de especímenes en laboratorio ..	78
<b>Figura 33</b>	Ensayo de resistencia a la compresión .....	81
<b>Figura 34</b>	Tipos de fracturas de probetas cilíndricas .....	82
<b>Figura 35</b>	Ensayo de resistencia a la flexión .....	83
<b>Figura 36</b>	Ensayo de permeabilidad .....	85
<b>Figura 37</b>	Ensayo para determinar la tasa de infiltración de agua .....	86
<b>Figura 38</b>	Curva granulométrica del agregado fino .....	90
<b>Figura 39</b>	Curva granulométrica del agregado grueso huso 67 .....	91
<b>Figura 40</b>	Curva granulométrica del agregado grueso huso 7 .....	92
<b>Figura 41</b>	Curva granulométrica del agregado grueso huso 89 .....	93
<b>Figura 42</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h67 5% agregado fino en ensayo a compresión.....	108
<b>Figura 43</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h67 5% agregado fino en ensayo a flexión.....	109
<b>Figura 44</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h67 15% agregado fino en ensayo a compresión.....	110
<b>Figura 45</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h67 15% agregado fino en ensayo a flexión.....	111
<b>Figura 46</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 5% agregado fino en ensayo a compresión.....	112
<b>Figura 47</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 5% agregado fino en ensayo a flexión.....	113
<b>Figura 48</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 15% agregado fino en ensayo a compresión.....	114
<b>Figura 49</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 15% agregado fino en ensayo a flexión.....	115
<b>Figura 50</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h89 5% agregado fino en ensayo a compresión.....	116
<b>Figura 51</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h89 5% agregado fino en ensayo a flexión.....	117
<b>Figura 52</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h89 15% agregado fino en ensayo a compresión.....	118
<b>Figura 53</b>	Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h89 15% agregado fino en ensayo a flexión.....	119

<b>Figura 54</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa ip 5% de agregado fino en ensayo a compresión.....	121
<b>Figura 55</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa ip 5% de agregado fino en ensayo a flexión.....	122
<b>Figura 56</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa he 5% de agregado fino en ensayo a compresión.....	123
<b>Figura 57</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa he 5% de agregado fino en ensayo a flexión.....	124
<b>Figura 58</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa ip 15% de agregado fino en ensayo a compresión.....	125
<b>Figura 59</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa ip 15% de agregado fino en ensayo a flexión.....	126
<b>Figura 60</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa he 15% de agregado fino en ensayo a compresión.....	127
<b>Figura 61</b> Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa he 15% de agregado fino en ensayo a flexión.....	128
<b>Figura 62</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h67 en ensayo a compresión .....	129
<b>Figura 63</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h67 en ensayo a flexión .....	130
<b>Figura 64</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h67 en ensayo a compresión.....	131
<b>Figura 65</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h67 en ensayo a flexión.....	132
<b>Figura 66</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h7 en ensayo a compresión .....	133
<b>Figura 67</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h7 en ensayo a flexión.....	134
<b>Figura 68</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h7 en ensayo a compresión.....	135
<b>Figura 69</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h7 en ensayo a flexión.....	136
<b>Figura 70</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h89 en ensayo a compresión .....	137

<b>Figura 71</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa ip h89 en ensayo a flexión .....	138
<b>Figura 72</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h89 en ensayo a compresión.....	139
<b>Figura 73</b> Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa he h89 en ensayo a flexión.....	140
<b>Figura 74</b> Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad.....	142
<b>Figura 75</b> Comparación de resultados del ensayo para determinar la tasa de infiltración.	144
<b>Figura 76</b> Gráfico de dispersión de la correlación entre permeabilidad y tasa de infiltración.....	146

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el efecto de dos tipos de cemento, tres tamaños diferentes de agregado grueso y dos porcentajes diferentes de agregado fino en concretos hidráulicos porosos, comparando características físicas y mecánicas que contribuirán a desarrollar concretos permeables adecuados para las solicitudes en futuros proyectos de la ciudad de Arequipa.

Se elaboró un diseño de mezcla patrón siguiendo las pautas establecidas por el ACI 522R-10, el cual fue la base para las mezclas restantes. En total se desarrollaron doce mezclas con tres repeticiones, utilizando cemento Portland tipo IP y HE, agregado grueso definidos en los HUSOS 67, 7, 89, y dos cantidades de agregado fino (arena) 5% y 15%, agua potable, aditivos superplastificante NEOPLAST 8500 HP y retardante EUACO WR-75.

Se moldearon muestras cilíndricas de 6"x12" que se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión a los 3, 7, 14 y 28 días, vigas para módulo de rotura a los 7 y 28 días, probetas de 4"x8" para permeabilidad y losas para ensayo de infiltración.

Se concluyó que el mejor resultado de compresión se obtuvo con el diseño 21 MPa HE 67 15% con un valor de 21.596 MPa, para módulo de rotura fue el de 21 MPa HE 7 15% con 4.989 MPa, la mejor permeabilidad fue del diseño 21 MPa HE 67 5% con 18.33 mm/s y la mayor tasa de infiltración de 9409.42 mm/h corresponde al diseño 21 MPa IP 67 5%.

**Palabras clave:** Concreto poroso, cemento IP y HE, agregado grueso, agregado fino, permeabilidad, infiltración.

## ABSTRACT

The present research aims to analyze the effect of two types of cement, three different sizes of coarse aggregate and two different percentages of fine aggregate in pervious hydraulic concrete, comparing physical and mechanical characteristics that will contribute to developing permeable concretes suitable for future applications in projects of the city of Arequipa.

A pattern mix design was developed following the guidelines established by ACI 522R-10, which was the basis for the remaining mixes. In total, twelve mixtures were developed with three repetitions, using Portland cement type IP and HE, coarse aggregate defined in HUSO 67, 7, 89 and two amounts of fine aggregate (sand) 5% and 15%, drinking water, NEOPLAST superplasticizer additives 8500 HP and EUCO WR-75 retardant.

6"x12" cylindrical samples were molded and subjected to compressive strength tests at 3, 7, 14 and 28 days, beams for modulus of rupture at 7 and 28 days, 4"x8" specimens for permeability and slabs for infiltration testing.

It was concluded that the best compression result was obtained with the 21 MPa HE 67 15% design with a value of 21.596 MPa, for the modulus of rupture it was 21 MPa HE 7 15% with 4.989 MPa, the best permeability was of the 21 design MPa HE 67 5% with 18.33 mm/s and the highest infiltration rate of 9409.42 mm/h corresponds to the design 21 MPa IP 67 5%.

**Keywords:** Pervious concrete, IP and HE cement, coarse aggregate, fine aggregate, permeability, infiltration.

## INTRODUCCIÓN

El concreto poroso presenta una estructura muy diferente al concreto convencional, ya que este tipo de concreto, al tener una estructura abierta, permite pasar el agua a través de sí misma, por lo que representa a un concreto que puede ser utilizado en zonas donde existen fuertes precipitaciones pluviales, ya sea por temporadas o todo el año. Este concreto, al tener poros en toda su configuración, posee como característica principal, su alta permeabilidad, pero al mismo tiempo la resistencia a la compresión es más baja que la de un concreto simple, esto hace que su uso se limite a lugares de bajo tránsito: calles residenciales, veredas, parques, senderos peatonales, ciclovías, etc.

En nuestro país, actualmente, el uso del concreto poroso con permeabilidad mayor o igual a las requeridas por el reporte ACI 522R-10, y las investigaciones acerca del tema, son escasos. Esa falta de información limita el uso de diferentes materiales en este tipo de estructuras; en ese sentido, la presente investigación pretende aportar conocimientos sobre las características físicas y mecánicas de concretos porosos usando dos tipos diferentes de cemento, combinados con tres husos de diferentes agregados gruesos y cantidades diferentes de agregado fino, de forma tal que se obtendrán doce combinaciones de mezclas en base a un diseño de mezclas patrón, cuyas muestras serán sometidas a ensayos de resistencia a compresión y módulo de rotura; así también se realizarán ensayos de permeabilidad e infiltración.

La hipótesis plantea que el uso de un cemento tipo HE permitirá obtener mejores valores en las características de resistencias, a comparación de un cemento tipo IP; también que el uso de agregado grueso con menor tamaño y un mayor porcentaje de agregado fino, permitirán obtener mejores características de resistencias, y, consecuentemente, menores valores de permeabilidad y tasa de infiltración, con ello esperamos obtener información que pueda contribuir a posterior a diseñar concretos porosos con características físicas óptimas y que

cumplan con los requisitos establecidos en el reporte ACI 522R-10, y características mecánicas de acuerdo con lo requerido por la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

Con el desarrollo de esta investigación se podrán llevar a cabo proyectos relacionados a sistemas de drenajes en la ciudad de Arequipa, tomando en cuenta las características de las diferentes mezclas elaboradas y ejecutadas, de acuerdo con las particularidades de servicio y las condiciones climáticas de las zonas en las que se lleve a cabo el proyecto.

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Los cambios climáticos a nivel mundial vienen siendo muy drásticos con relación a años anteriores, debido al incremento de los gases de efecto invernadero así como de la población mundial, para mejorar la calidad de vida con el desarrollo de la tecnología, se realizan construcciones poco sostenibles, sin miras a un futuro, llenando de concreto y pavimento todo el medio, lo que conlleva a que la naturaleza continúe su paso (en zonas de habituales desbordes pluviales, terrenos inconsistentes, etc.), causando daños a las infraestructuras, sin poder controlar el orden natural del medio ambiente. Con el pasar de los años nos vemos en la necesidad de buscar nuevos métodos de construcción, sostenibles y ecológicos.

Muchos países ya han implementado concreto poroso en sus pavimentos para aminorar los problemas que acarrear las lluvias, sobre todo en lugares donde las áreas son extensas como estacionamientos, carreteras, parques, plazas, etc.

El concreto poroso es una excelente alternativa, tiene como principal característica su permeabilidad, permitiendo el paso de las aguas a través de su estructura, colabora con la recarga del nivel freático de las aguas y evita inundaciones en zonas donde las lluvias son intensas.

Los cambios climáticos en nuestro país se han tornado muy severos, principalmente entre los meses de diciembre a marzo (estación de verano), donde las precipitaciones pluviales alcanzan su mayor intensidad sobre todo en las zonas altoandinas. Los efectos producidos por estos eventos meteorológicos representan una situación de emergencia en muchas de las regiones del país, debido a que no se cuenta con una adecuada infraestructura para la mitigación de los desastres, y en consecuencia se aprecian, inundaciones, huaicos, derrumbes, deslizamientos, aludes, etc. Asimismo,

en el ámbito urbano, se ha identificado daños en infraestructuras viales (pavimentos flexibles y/o rígidos), debido a la acumulación de agua y del cauce natural que se forma al borde de las mismas. En ciudades principales se ha observado que las calzadas soportan grandes volúmenes de agua además de piedras y basura, los cuales dañan su estructura por la fuerza con la que discurren y el encharcamiento del torrente pluvial.

En el caso de la ciudad de Arequipa, la estación de verano se caracteriza por la presencia de altas precipitaciones pluviales, en muchas ocasiones esta precipitación se considera torrencial debido a la intensidad y duración del fenómeno. Este tipo de precipitaciones somete a la población a problemas de diferente índole, pudiendo tener hasta pérdidas humanas por la ferocidad con que las aguas se desplazan por la superficie de los pavimentos. La pobre red pluvial instalada en las vías urbanas es superada, colmatándose a inicios de la temporada y llegando a ser inútil e ineficiente el resto de la misma, acentuando los efectos de la presencia del agua en las estructuras.

Actualmente, el cambio climático es una variable impredecible, modifica el comportamiento de los ecosistemas sin tener un patrón a seguir, lo que implica que en la ciudad de Arequipa se hayan presentado épocas de verano con sequía y otras con aguaceros. La presencia de este fenómeno afecta directamente las actividades cotidianas de la población arequipeña, incidiendo principalmente en el transporte público y privado.

La infraestructura vial en Arequipa destinada para el transporte (vehicular y peatonal), se ha visto afectada en su mayoría en consecuencia del aniego generado por la ausencia total o parcial de una red de drenaje pluvial, el cual debería estar diseñado para soportar los eventos meteorológicos antes mencionados. Además de la acumulación de aguas pluviales en vías pavimentadas, se suma el colapso de la red de desagües, de las cuales emergen aguas servidas, provocando la formación de

aludes desde las zonas altas de la ciudad hasta llegar al centro de la misma, arrastrando piedras, tierra y todo lo que encuentra a su paso. Los sistemas de drenaje pluvial existentes que se han venido ejecutando y situando en los últimos años en diferentes sectores de la ciudad de Arequipa, no parecen ser suficientes, o adecuadamente diseñados para soportar la magnitud de los eventos meteorológicos, no alivian el gran volumen de agua acumulada en las superficies de pavimentos.

Otro problema de los pavimentos tradicionales, es la ausencia de algún tipo de tratamiento para la escorrentía superficial, asociado también al cúmulo de basura y al crecimiento de vegetación en los alrededores, por causa de las malas prácticas constructivas y al poco mantenimiento de estas. (Bad Drainage and Its Effects on Road Pavement Conditions in Nigeria, 2013) (1)

### **1.1.2 Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia del tipo de cemento y granulometrías de agregado fino y grueso en las características físicas y mecánicas de pavimentos de concretos hidráulicos porosos en la ciudad de Arequipa?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo principal**

Analizar la influencia del tipo de cemento y granulometrías de diferentes agregados en las características físicas y mecánicas de pavimentos de concreto hidráulico poroso.

### **1.2.2 Objetivos secundarios**

- Comparar el efecto del tipo de cemento en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua.
- Determinar la influencia de la granulometría de agregado grueso en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua.

- Determinar la influencia de la cantidad de agregado fino en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua.

### **1.3 Justificación e importancia**

Debido al efecto generado por la presencia de eventos meteorológicos extraordinarios en la ciudad de Arequipa, es necesario considerar la instalación de alguna alternativa de sistema de drenaje, el cual permita satisfacer completamente las necesidades de la población en cuanto a transitabilidad, y que, a la vez, atenúe los efectos adversos que producen las altas precipitaciones pluviales en las vías de tránsito vehicular como peatonal.

En ese sentido, el concreto poroso forma parte del pavimento permeable como un elemento complementario a las estructuras convencionales en la infraestructura vial, tales como las rejillas o alcantarillado pluvial que conducen las aguas a las torrenteras aledañas. El concreto poroso es una excelente alternativa para reemplazar de manera complementaria al concreto convencional en zonas con bajo tránsito, como en pavimentos rígidos residenciales, veredas peatonales, parques, ciclovías, etc., ya que una de las características fundamentales de este concreto es aminorar la escorrentía superficial de aguas que pudiesen estancarse en la capa más externa de rodadura por el exceso de precipitaciones.

Adicionalmente, el concreto poroso es ecoamigable, ya que produce un bajo impacto ambiental, colaborando con el mantenimiento de los ecosistemas, y a su vez crea un equilibrio entre la escorrentía superficial y la infiltración del agua, que se evidencia en la recarga de los acuíferos naturales subterráneos, que son vitales para el mantenimiento de los grandes árboles, cuyas raíces profundas buscan agua y cuyos beneficios de sombra y reducción de contaminación, como impacto visual, los vuelve invaluable.

La investigación de las propiedades físicas y mecánicas del pavimento de concreto hidráulico poroso también nos servirá de guía para optimizar el diseño de mezclas, de acuerdo con los resultados obtenidos en donde se analizará la influencia del tipo de cemento y tipos de agregados grueso y fino para lograr obtener una buena calidad y poder darle un uso adecuado en diferentes zonas y regiones.

## **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1 Hipótesis**

#### **1.4.1.1 Hipótesis general**

El uso de cemento tipo HE, agregado grueso con menor tamaño y mayor porcentaje de agregado fino, permiten obtener los mayores valores de resistencia mecánica del concreto poroso; sin embargo, un mayor tamaño de agregado grueso y menor porcentaje de agregado fino conducirán a mayores valores de permeabilidad y tasa de infiltración en los pavimentos de concretos porosos en la ciudad de Arequipa.

#### **1.4.1.2 Hipótesis específicas**

- La influencia de un cemento tipo HE permite obtener mayores valores en las características de resistencias a comparación de un cemento tipo IP.
- El uso de agregado grueso con menor tamaño permite obtener mejores características de resistencias y, consecuentemente, menores valores de permeabilidad y tasa de infiltración.
- Un mayor porcentaje de agregado fino en la mezcla de concreto poroso conduce a mejorar las características de resistencias y al mismo tiempo reduce la permeabilidad y tasa de infiltración de este último.

## **1.4.2 Descripción de variables**

### **1.4.2.1 Variable independiente:**

- Tipo de cemento
- Granulometría del agregado grueso
- Cantidad (%) de agregado fino

### **1.4.2.2 Variable dependiente:**

- Propiedades físicas de concreto hidráulico poroso
- Propiedades mecánicas de concreto hidráulico poroso

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

#### Referencias internacionales

(León & Rosero, 2016) (2). “Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas gradaciones”, tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Central del Ecuador. Realizaron el diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones, utilizando agregados de las canteras de Pintag y San Antonio, para optimizar los materiales. Analizaron sus propiedades físicas como mecánicas. El diseño de mezcla que obtuvo mejor resultado fue con el agregado de la cantera Pintag, alcanzando resistencias considerables (24.6 MPa), específicamente con la gradación de malla N°4, con relación a/c (agua/cemento) de 0.55, con permeabilidad de 1.88 mm/s y un porcentaje de vacíos del 9.46% y con densidad de 2053.55 kg/m<sup>3</sup>. Dentro de sus conclusiones se establece que el no incluir agregado fino afecta a la manejabilidad de la mezcla, de apariencia áspera, asimismo, la inclusión de aditivos como Sikament, Aer RMC no mejoran las características físicas y mecánicas del concreto permeable.

(Meneses & Bravo, 2007) (3) “Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos según el tipo de granulometría”, tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad de Medellín. Evaluaron la resistencia mecánica del concreto poroso tomando en cuenta modificaciones en la granulometría del agregado y la relación agua/cemento, con diferentes materiales presentes en la región de Antioquía. En el diseño establecido se consideró un agregado de 10 y 12.5 mm (3/8”, 1/2”) con ausencia casi total de finos. Concluyeron que la relación óptima de a/c es de 0.7, corroborando fuentes referenciadas anteriormente en su investigación. En cuanto a la manejabilidad del material, se ha visto una tendencia a la segregación de la pasta, por

tanto, se recomienda revisar y replantear el procedimiento y curar las muestras posterior a las 24 horas conforme a lo establecido en la norma. Esta investigación ratifica que al introducir agregado fino aminora las características de permeabilidad de la mezcla y aumenta la resistencia a la compresión.

(Núñez, 2015) (4). “Fabricación de hormigón permeable para canchas de uso múltiple con la utilización de agregados de la provincia de Pichincha”. Tesis para optar el título de ingeniero civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, diseño un concreto permeable que cumpla con la suficiente resistencia para ser empleado en parques, específicamente en canchas de uso múltiple, elaboro cuatro dosificaciones modificando la cantidad de cemento, agregado grueso N° 67 (3/4”), relación agua - cemento de 0.30, volumen de pasta entre 20% a 27.2% y cantidad de agregado fino entre 0% a 10%. El valor más alto de permeabilidad fue de 0.318 cm/s, de resistencia a la compresión fue de 153.65 kg/cm<sup>2</sup> y de flexión 24.32 kg/cm<sup>2</sup>. Una conclusión importante es que se encuentra la relación lineal entre la resistencia a la compresión y la permeabilidad del hormigón, es decir, al incrementar la resistencia, la permeabilidad disminuye. Esta investigación da importantes pautas respecto al efecto del volumen de pasta y contenido de finos en las propiedades que puede presentar el concreto permeable.

(Moujir & Castañeda, 2014) (5). “Diseño y Aplicación de concreto poroso para pavimentos, tesis para optar el título de ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana de Santiago de Cali”. Diseñaron un concreto poroso para ser empleado en estructuras de pavimento rígido, comparando la incorporación y ausencia de agregado finos en la mezcla. Revisaron el correcto uso de concreto poroso para pavimentos, se realizó estudios para obtener su resistencia a compresión y a flexión, permeabilidad, con la intención de comprobar las características del concreto poroso que vayan a utilizarse en obras viales. Los resultados de resistencia a la compresión 22.81 MPa, a la flexión 3.68 MPa y una permeabilidad de 14.47 mm/s se obtuvieron con el diseño tipo I. Concluyeron mencionando que el primer diseño que incluye agregado fino se presenta

un mejor comportamiento mecánico, pero con menor permeabilidad, cotejado con el segundo diseño con ausencia de finos que es más permeable, pero no tan resistente.

### **Referencias nacionales**

(Pérez, 2017) (6). “Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo 2017”, tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte de Perú, se basó en determinar la influencia únicamente del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. Evaluó la resistencia a la compresión, a la flexión y permeabilidad. Las gradaciones de agregado utilizadas fueron 1/2”, 3/8” y N° 4, elaboró 3 diseños de mezcla tomando en cuenta similares pautas de diseño, relación agua - cemento de 0.35, 15% de vacíos, 8% de agregado fino. Concluye que el concreto permeable desarrollado con el agregado N° 4 muestra las más altas resistencias a compresión y flexión, 209.68 kg/cm<sup>2</sup> y 33.81 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. En la permeabilidad, la gradación de 3/8” logro el más alto valor con 0.222 cm/s. Además, encontraron un vínculo directo respecto de estas propiedades con el contenido de vacíos y densidad en estado fresco y endurecido del concreto.

(Villanueva, 2020) (7). “Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020”, tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte de Perú. Se basó en el efecto de diferentes porcentajes de agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable. Los más altos resultados referidos a las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y flexión se obtuvieron con el diseño que consideraba 15% de agregado fino, respecto de la permeabilidad, los más altos resultados fueron de los diseños que no incluían agregado fino. El diseño con inclusión de 15% de agregado fino presenta datos para ser considerado en vías locales, colectoras y arteriales, capaz de soportar tráfico ligero o liviano. Concluye que, si se

quisiera usar un pavimento de este tipo para otras aplicaciones, es necesario hallar una relación entre los agregados grueso y fino que equilibre las propiedades mecánicas y permeables.

(Chaina & Villanueva, 2017) (8). “Diseño de concreto permeable para pavimentos rígidos, utilizando piedra huso 67 y arena gruesa de la cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa”, tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Católica de Santa María de Perú. Diseñaron un concreto poroso para ser usado como pavimento rígido, variando la inclusión y ausencia de agregado fino en la mezcla. Elaboraron 18 diseños de mezclas con cemento portland tipo IP, agregado de la cantera la Poderosa, aditivos SIKA Viscocrete 1110 y EUCO Neoplast 8500 HP y elaboraron una losa demostrativa usando los parámetros necesarios del terreno y simulando las condiciones de tráfico que soportará. La investigación enuncia el diseño de mezcla, así como las propiedades y características del concreto permeable, como también algunas consideraciones en el uso de este tipo de pavimento para la ciudad de Arequipa. Concluyeron que, de todos los datos, los obtenidos por el diseño pp18-e fueron óptimos, con una resistencia a la compresión de 334 kg/cm<sup>2</sup>.

### **Artículos científicos**

(Chávez,2013) (9). “Estudio y análisis de dosificaciones para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales, profesor investigador de la Universidad Nacional de Itapuá, Paraguay”. Realizo este trabajo para analizar las dosificaciones de hormigón poroso utilizando materiales de construcción disponibles en la zona de Encarnación y determina si las características de resistencia y permeabilidad se encuentran dentro de los requerimientos establecidos por la ACI 522-R10. Obtuvo hormigones con resistencias bajas a moderadas (3,5 a 9,5 MPa) y con altos índices de permeabilidad (200 a 2.000 L/min/m<sup>2</sup>). Los valores más altos de resistencia a compresión se obtuvieron con las dosificaciones con menor cantidad de agregados y

mayor contenido de pasta de cemento. Concluye que para obtener resistencias superiores a los 9 MPa, se debe utilizar una relación a/c=0.32, ya que fue la dosificación que presentó los mayores valores de resistencia a compresión y tasas de infiltración superiores establecidos.

(Calderón, Charca & Yanqui, 2013) (10). “Investigación en concreto poroso, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa”, en este trabajo de investigación abordaron el estudio del concreto poroso para su aplicación en la construcción y la influencia de la forma de los agregados, granulometría de los agregados, porcentaje de vacíos y permeabilidad. Se pudo comprobar el alto coeficiente de permeabilidad del concreto poroso que varía entre  $2 \times 10^{-3}$  mm/s y  $1 \times 10^{-2}$  mm/s. Concluyeron que la forma de los agregados tiene influencia en la compactación del concreto al ser colocado, determinándose que el agregado angular de la cantera de Tinajones y Reciclado, necesita mayor cantidad de pasta para alcanzar el porcentaje de vacíos de diseño, en comparación con el agregado natural redondeado de la cantera de Machahuaya, ya que la forma redondeada facilita el acomodo de las partículas.

(Fernández & Navas, 2011) (11). “Concreto permeable, diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad, Universidad de Illinois, Universidad de Costa Rica”. Analizaron los efectos que tienen la relación agua/cemento, la relación agregado grueso/cemento y el tipo de agregado grueso utilizado en el concreto permeable. Los resultados dejaron contemplar el desempeño entre las diferentes propiedades, la resistencia y permeabilidad del material. Concluyeron que los resultados logrados en esta investigación dan a entender que el concreto permeable es un material cuya resistencia y permeabilidad dependen del efecto de algunas variables, las variables que influyen de manera positiva a la resistencia, lo hacen de manera negativa con la permeabilidad. El uso de un 8% de agregado fino en relación al agregado grueso presentó resultados apropiados. No

obstante, usar agregado fino está limitado, inciertamente podrían presentar un efecto negativo notable en la permeabilidad.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Generalidades del concreto poroso**

El concreto poroso, o también conocido como permeable, es un concreto de estructura porosa con asentamiento cero, que está compuesto de cemento, agregado grueso, agua, aditivos y, poco o nada, de agregado fino (arena), que al mezclarse se obtiene un material endurecido con poros interconectados y con alta permeabilidad. El uso de agregado fino debe de ser limitado a pequeñas cantidades, o se elimina de la composición de la mezcla para que el concreto tenga una estructura porosa que permita el paso del agua pluvial, permitiendo su infiltración en el suelo, logrando en gran manera que la acumulación superficial del agua pluvial disminuya. Cabe mencionar que al adicionar agregado fino en el diseño de mezcla del pavimento de concreto poroso, se incrementará la resistencia a la compresión y flexión, pero al mismo tiempo éste podría reducir el contenido de vacíos, afectando negativamente la permeabilidad, característica principal del concreto poroso.

Al mezclar el cemento, agregados, agua y aditivo, se crea un material duro y permeable, donde los poros tienen un tamaño que varía de 2 a 8 mm, con el cual se garantiza el paso natural de agua. El contenido de vacíos varía de 15% a un 35% con resistencias a compresión de 2,8 a 28 MPa (28 a 280 kg/cm<sup>2</sup>). La velocidad de infiltración depende mucho del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, la cual usualmente varía entre 1.4 a 12.2 mm/s. El concreto poroso posee funciones similares a la superficie de terreno natural, es excelente para la evacuación de agua de lluvia (ACI 522R-10) (12).

## Figura 1

### Concreto poroso



Fuente: ARGOS, 2021 (13)

### 2.2.2. Materiales del concreto poroso

Como describimos líneas arriba, el concreto poroso tiene como principales materiales al cemento, agregado grueso, agua, aditivos y poco o nada de agregado fino (El concreto permeable y su aplicación al drenaje vial, 2018) (14). Esta mezcla forma un conglomerado de agregado grueso rodeados por una capa fina de pasta que al secar se une en sus puntos de contacto. Esta estructura contiene vacíos que son visibles al ojo humano, entre las partículas del agregado grueso, el cual permite que el agua fluya en cantidades mayores que en un concreto convencional. Los materiales utilizados en la preparación del concreto poroso cumplen de manera individual una función específica.

#### 2.2.2.1 Cemento

El cemento es el principal material que, usado como aglutinante en la elaboración y composición de concreto poroso, una vez combinado con el agua, forma una pasta que recubre y une los materiales, pudiendo desarrollar una buena consistencia entre sus

componentes. Según la norma ASTM C150 (15), el cemento Portland se usa como el aglomerante principal y es un material generalizado en construcciones de ingeniería civil.

Los materiales complementarios del cemento, como el humo de sílice, así como la ceniza volante y la escoria, tienen que cumplir los requisitos establecidos en las normas ASTM C618 (16), ASTM C989 (17) (ACI 522R-10) (12).

Para fabricar concreto poroso se utiliza cemento Portland, por ser el material más consumido en la construcción de elementos estructurales como no estructurales, debido a que es un material muy compacto. Teniendo en cuenta que los concretos porosos contienen altos porcentajes de vacíos, estos tienden a secarse en periodos cortos, por lo que se puede deducir que su fraguado es acelerado y más sensible a los cambios climáticos de temperaturas y a la evaporación del agua contenida en la mezcla. (Meneses & Bravo, 2007) (3)

Los cementos Portland son hechos con silicatos hidráulicos de calcio, los cuales una vez mezclados con el agua reaccionan químicamente (reacción exotérmica), formando una pasta que luego se fragua y se seca hasta que endurece, esta pasta reacciona y sirve para unir a las partículas de los agregados formando el concreto. (Portland Cement Association, 2004) (16)

#### **2.2.2.2 Agregados**

Los agregados para el concreto son una agrupación de partículas, las cuales pueden tener un origen natural o pueden ser fabricados de manera artificial; también son llamados áridos (NTP 400.037) (17)

El agregado es un material de tipo granular que puede ser arena o piedra de granulometrías diferentes, que son embebidos en los aglomerantes para producir los concretos o morteros. Los agregados conforman un tipo de material necesario en la estructura del concreto, estos ocupan en promedio el 75% del volumen total del concreto y, por las peculiaridades que muestran, contribuyen en el desarrollo e

incremento de características mecánicas, como la resistencia, además aportan características a la mezcla para que esta sea más densa, pero a su vez manejable.

Los agregados se dividen en dos grandes grupos, conocidos generalmente como: agregado fino y agregado grueso.

El agregado fino es arena que proviene de la desintegración natural, artificial o probablemente de la combinación de ambos, que pasa el tamiz estandarizado de 9,5 mm (3/8") y es retenido en el tamiz estandarizado 75 µm (No. 200). El agregado fino debe cumplir ciertas características, por ejemplo, estar libre de cantidades dañinas de impurezas orgánicas. (NTP 400.037) (17)

El agregado grueso comprende a la grava, piedra chancada, concreto reciclado o ser la composición de ellos, retenido en el tamiz estandarizado 4,75 mm (No. 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca. (NTP 400.037) (17)

El concreto poroso ya ha sido implementado en estacionamientos, pavimentos de tráfico ligero y senderos, para los cuales y por razones de estética se usaron agregados de tamaños pequeños como el agregado grueso HUSO 89 (3/8" a N° 50) conforme a la norma ASTM C33 (18)

### **2.2.2.3 Agua**

El agua debe ser potable, limpia y libre de impurezas y sales; estas condiciones permiten obtener una mezcla de concreto con buenas características físicas y químicas, evitando problemas posteriores a su producción. (NTP 339.088) (21) El uso de agua contaminada podría afectar directamente el tiempo de fraguado, la resistencia, y podría provocar la aparición de patologías en la estructura a posterior. Para un buen desempeño del concreto la calidad del agua juega un rol importante en el proceso químico de hidratación del cemento, es vital tener buena trabajabilidad. En los concretos porosos se debe tener en cuenta el uso de una relación agua - cemento (a/c) aparentemente baja, entre 0.26 a 0.40, el exceso de agua daría lugar a la segregación

de la pasta y terminar con una obstaculización del sistema interconectado de poros (ACI 522R-10) (12).

El uso de aditivos plastificantes, además de aportar trabajabilidad a la mezcla, ayudarán con evitar el exceso de utilización de agua, facilitando el proceso de fabricación y optimizando las características de resistencia de los concretos.

Se puede considerar usar agua que no sea potable, pero antes de su uso debe ser analizada y tener en cuenta su desempeño en el concreto. En la norma técnica Peruana NTP 339.088 podemos encontrar las condiciones a seguir para aceptar su empleo (Portland Cement Association, 2004) (16).

#### **2.2.2.4 Aditivos**

Los aditivos forman parte del concreto, los cuales son adicionados a la mezcla en diferentes momentos del mezclado para modificar y potenciar algunas de sus propiedades, haciéndolos más adecuados, facilitando la trabajabilidad, apariencia, consistencia, fraguado y resistencia; también pueden facilitar la colocación y reducir el costo del concreto. Se debe considerar que, en muchas ocasiones, su uso puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados en la mezcla del concreto poroso. Para la fabricación de un concreto poroso, según el reporte (ACI 522R-10) (12) los aditivos necesitan cumplir con los requisitos establecidos en la norma ASTM C494. Los aditivos reductores de agua de alto rango se utilizan de acuerdo con la relación  $a/c$ ; así mismo, los aditivos retardantes buscan estabilizar y controlar la hidratación de las partículas del cemento; los aditivos aceleradores son una opción en la colocación de concretos porosos en climas fríos.

Estos productos se adicionan en pequeña proporción, dosificación establecida en su ficha técnica y que varía según la marca y gama del producto, en porcentajes entre 0.1% y 5%, calculado respecto al peso del cemento. En la norma (ASTM C494) (19) encontramos la siguiente clasificación:

**Tabla 1**

*Clasificación de los aditivos*

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>ADITIVO</b>
<b>A</b>	Reductores de agua
<b>B</b>	Retardadores de fragua
<b>C</b>	Acelerantes
<b>D</b>	Reductores de agua - retardadores de fragua
<b>E</b>	Reductores de agua - acelerantes
<b>F</b>	Súperreductores de agua
<b>G</b>	Súperreductores de agua - acelerantes
<b>S</b>	Aditivos de comportamiento específico

**Fuente:** Especificación normalizada de aditivos químicos para concreto, Norma ASTM C494 (19)

### **2.2.3. Propiedades en estado fresco del concreto poroso**

#### **2.2.3.1 Mezclado**

Para la preparación de la mezcla de concreto hidráulico poroso se deben tener en cuenta todos los cuidados necesarios para que llegue a tener una combinación homogénea en los materiales, se puede elaborar a pie de obra mediante el uso de trompos o también en una planta de concreto premezclado y a posterior ser transportada a obra. Por las características particulares que tienen los concretos porosos, se deberá tener un mayor cuidado con la relación agua - cemento (a/c), el volumen correcto de agua hará que la combinación entre el cemento y los agregados sea óptima, lo que permitirá obtener la resistencia y permeabilidad esperadas. La secuencia de carguío de los materiales hacia la mezcladora es de gran importancia, ya que influirá en la uniformidad de la mezcla.

#### **2.2.3.2 Trabajabilidad**

Es un indicador de la uniformidad entre las tandas del concreto (Pasquel, 2017) (20), en muchas ocasiones se refiere a la propiedad que facilita su maniobrabilidad durante las etapas de mezclado, colocación, compactación y acabado del concreto

en su estado fresco, manteniendo la mezcla homogénea y evitando la segregación durante el transporte.

Existen algunos factores que influyen en la trabajabilidad del concreto, como son la forma y tiempo de transporte, así como la cantidad y características propias de los materiales cementantes, también el tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos que componen la mezcla. El aire incluido, la cantidad de agua, la temperatura del concreto y los aditivos, también afectarán la trabajabilidad.

#### **2.2.3.3. Asentamiento**

De acuerdo con la NTP 339.033, referida al método de ensayo para medir el asentamiento del concreto, indica que este método se aplica a concretos plásticos y cohesivos, que tiene como objetivo proporcionar información sobre la consistencia del concreto en estado no endurecido.

En el caso particular del concreto poroso se prescinde de este ensayo como control de calidad, pudiendo considerarse únicamente como valor de referencia, debido a que la mezcla es poco moldeable y la medición del asentamiento en la mayoría de los casos no es aplicable. (National Ready Mixed Concrete Association) (21).

El American Concrete Institute (ACI) considera revenimientos para diversos tipos de concreto, para un concreto hidráulico poroso el revenimiento máximo es de 2 cm y el mínimo es de 0 cm.

#### **2.2.3.4. Densidad o peso unitario**

La densidad del concreto en estado fresco es la masa del material necesaria para llenar una unidad de volumen. En otras palabras, se refiere a su densidad y se toma como volumen unitario uno ya normalizado. El concreto poroso ha sido considerado un concreto de tipo liviano, es decir, con pesos unitarios entre 1600 y 2000 kg/m<sup>3</sup>, en gran medida producto de su alto porcentaje de vacíos. El cálculo se realiza bajo lo especificado en la norma ASTM C138 (22).

### **2.2.3.5. Contenido de aire**

Las diferentes propiedades del concreto poroso dependen del contenido de aire o vacío, y este depende de varios factores, como la gradación y calidad del agregado, contenido de material cementante, relación a/c, el nivel de compactación. El porcentaje de vacíos tiene influencia directa sobre la permeabilidad del concreto y especialmente la absorción acústica que este material tendrá. Un contenido de aire bajo puede significar obstrucción de los poros de la mezcla, por lo cual este problema podría ser evitado utilizando tamaños grandes de agregados. (ACI 522R-10) (12)

El contenido de aire o vacío se expresa en porcentaje y se refiere a la cantidad de espacios presentes en el concreto. Según el código ACI 522R-10 el contenido de vacíos óptimo en mezclas de concreto poroso debe estar en un rango del 15% a 35%. Usualmente se utilizan porcentajes de vacíos en el rango de 15% a 25%, para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm<sup>2</sup>.

La forma de las partículas de los agregados y su granulometría van a influenciar la cantidad de espacios vacíos en los diferentes diseños, siendo significativamente mayor comparado a un concreto convencional.

### **2.2.3.6. Compactación**

Los dos tipos de vibradores externos permitidos son los de mesa o de encofrado. La frecuencia del vibrador externo será por lo menos 3600 vibraciones por minuto 60 Hz a más (NTP 339.183) (23).

Las mesas vibratorias son unidades compactas que provee vibro-compactación controlada para moldes cúbicos y cilíndricos, con el empleo de un motor especial para vibrar el concreto.

**Figura 2**

*Mesa vibratoria*



**Fuente:** Elaboración propia.

## **2.2.4. Propiedades en estado endurecido del concreto poroso**

### **2.2.4.1. Propiedades físicas**

#### **a) Permeabilidad**

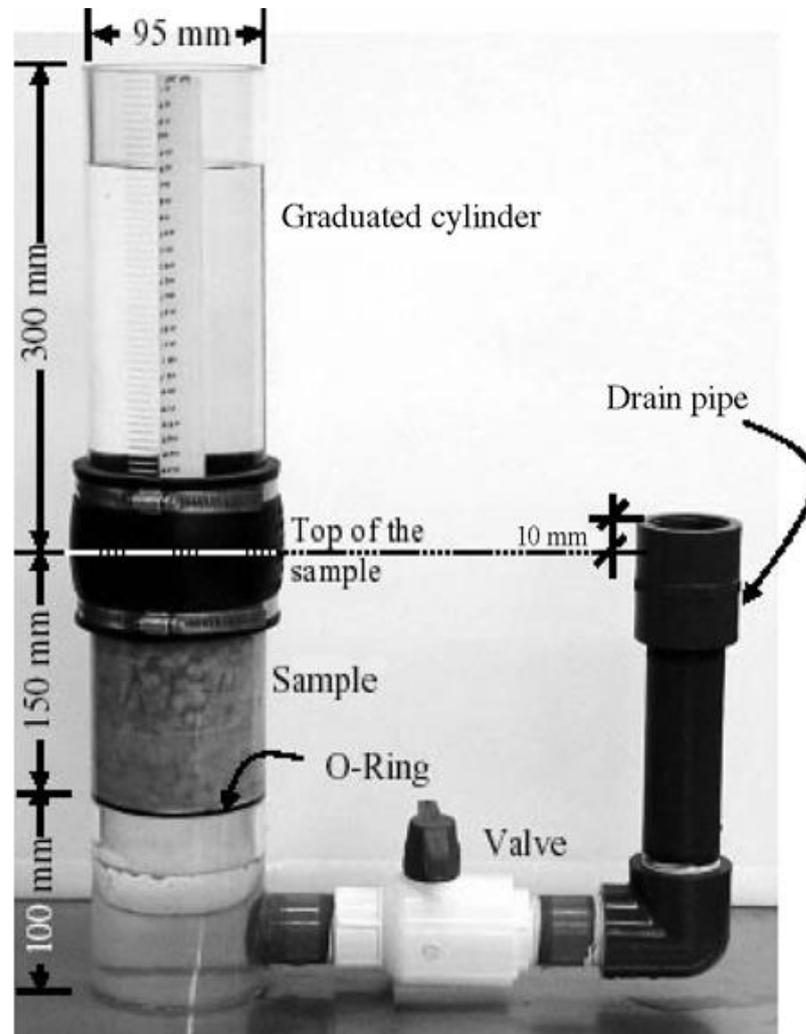
La permeabilidad es la característica más importante del concreto poroso simultáneamente con la porosidad; estas dos características hacen que este concreto tenga la propiedad de permitir el paso del agua a través de su estructura. La permeabilidad del concreto hidráulico poroso se obtiene por el tamaño de agregado grueso con el que está compuesto. La percolación o

infiltración es la capacidad de dejar pasar el agua a través de un material poroso y para que esta tenga un valor significativo se requiere un porcentaje de vacíos de 15% o más. (National Ready Mixed Concrete Association, 2016) (21). Se ha demostrado mediante ensayos que mientras mayor contenido de aire tenga el concreto, mayor será la permeabilidad, pero al aumentarle significativamente el contenido de aire, la resistencia a la compresión del concreto disminuye. (ACI 522R-10) (12)

La permeabilidad es controlada principalmente por la porosidad de la pasta del concreto. Sin embargo la permeabilidad no es una función simple de la porosidad, ya que es necesario que los poros se encuentren interconectados; es decir, que para los mismos niveles de porosidad, el concreto poroso puede tener diferentes valores de permeabilidad si sus poros se interconectan en forma ininterrumpida o no. (Vélez, 2010) (24)

**Figura 3**

*Permeámetro de cabeza descendente*



**Fuente:** Reporte de concreto permeable ACI 522R-10.

La permeabilidad está directamente relacionada con la porosidad y los tamaños de poros, a su vez, estos exponen el material y la matriz de la estructura compuesta por concreto permeable a líquidos y gases que lo pueden penetrar en mayor proporción frente a un concreto hidráulico convencional, afectando negativamente su durabilidad (12)

## **b) Tasa de infiltración**

La tasa de infiltración o velocidad de infiltración es la máxima cantidad de agua que puede ingresar a través de su estructura en una superficie determinada. Este ensayo se realizó con fines comparativos para calcular la permeabilidad en muestras cilíndricas y la permeabilidad en una losa.

El método de prueba estándar para la tasa de infiltración para concreto poroso colocado según la Norma ASTM C1701 (25), es un ensayo que se realiza con la finalidad de conocer la tasa o velocidad de infiltración de agua en el concreto poroso.

La tasa de infiltración obtenida por este método es válida solo para el área localizada del pavimento donde se realiza la prueba. Para determinar la tasa de infiltración de todo el pavimento permeable, se deben probar varias ubicaciones y promediar el resultado (ASTM C1701) (28).

La tasa de infiltración que se obtiene por este método tiene relación con el factor de precipitación pluvial; en cuanto a la precipitación pluvial, un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua de lluvia que cae en una superficie cuadrada de una longitud de un metro por cada lado con paredes verticales, así también la tasa de infiltración se mide en un área determinada con una masa determinada de agua y nos da como resultado en mm/h.

En la tabla 2 se indican las precipitaciones máximas en 24 horas en la ciudad de Arequipa de los últimos 5 años, según los datos de la estación La Pampilla, que es medido en mm/día y se tiene como máxima precipitación 43.4 mm/día en el mes de febrero del año 2020.

**Tabla 2***Precipitaciones máximas de los últimos 5 años, estación La Pampilla Arequipa*

<b>Estación La Pampilla</b>												
Departamento: AREQUIPA				Provincia: AREQUIPA				Distrito: AREQUIPA				
Latitud: 16°24'49.66"S				Longitud: 71°32'4.31"W				Altitud: 2326 msnm				
<b>Precipitación (mm/día)</b>												
<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>2017</b>	17.1	22.9	7.9	0	0.5	0	0	0	0.3	0	0.2	4.7
<b>2018</b>	6.4	1.3	5.8	0	0	0.8	1	0	0	0	0	0
<b>2019</b>	12.1	14.5	6.3	T	0	0	0	0	0	T	0	T
<b>2020</b>	29.1	43.4	24.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.2	0	9.5
<b>2021</b>	13.5	1.1	8.4	0.3	0.7	0	0	T	0	0	0.2	-

**Fuente:** SENAMHI / DRD

S/D = Sin Datos

T = Trazas (Precipitación &lt; 0.1 mm/día)

**2.2.4.2. Propiedades mecánicas****a) Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión en el concreto poroso está determinada por las normas ASTM C39 (26) y su equivalente Peruana NTP 339.034 (27), su unidad se expresa generalmente en kg/cm<sup>2</sup> o MPa y se obtiene a una edad de 28 días. Para obtener la resistencia a la compresión del concreto poroso se hace uso de probetas cilíndricas de concreto, a las cuales se aplicará una carga axial que aumenta de forma controlada hasta que la probeta cilíndrica llegue a la falla. La obtención y cálculo de la resistencia a la compresión se establece dividiendo la carga máxima alcanzada durante el periodo de ensayo y la sección transversal de área de la muestra. Para lograr tener buenos resultados en la resistencia a la compresión de las muestras ensayadas, se deben tener en cuenta el tamaño y forma de las probetas, procedimiento de mezclado, la

edad, dosificación, la humedad del ambiente durante el curado, la temperatura, la fuerza de compactación, moldeo y los métodos de muestreo.

Según el ACI, se concluye que al tener un menor porcentaje de vacíos en el concreto poroso, el espécimen tendrá una mayor resistencia a la compresión, el aumento de tamaño del agregado grueso reduce la resistencia a la compresión, por ese motivo se recomienda el uso de los tamaños como una gradación de 3/4" a 3/8", la resistencia a la compresión del concreto poroso varía entre 2.8 a 28 MPa, o 28 a 280 kg/cm<sup>2</sup>.(ACI 522R-10) (12)

#### **b) Módulo de rotura o resistencia a la flexión**

Módulo de rotura (MR) también llamada resistencia a la flexión en el concreto poroso, está determinada por las normas ASTM C78 (28) o NTP 339.078 (29), su unidad se expresa generalmente en kg/m<sup>2</sup> o MPa, el módulo de rotura es una medida de la resistencia a la tracción por flexión del concreto.

El método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo, se basa en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calcula según donde se encuentre la grieta, podría ser dentro del tercio medio o a una distancia de este, no mayor del 5% de la luz libre (NTP 339.078) (29)

La resistencia a la flexión se podría entender como la resistencia a tracción del concreto y para este concreto la determinación del valor de la resistencia a la flexión sería menor que el valor de la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión podría no tener buenos resultados, principalmente por el contenido de aire, el grado de compactación y la proporción de la pasta-agregado que tiene el concreto poroso, podría pasar que al tener en el concreto un mayor contenido de aire, su resistencia a la flexión disminuya, guardando relación con la resistencia a la compresión, porque al contener una mayor

resistencia a la flexión también tendría una buena resistencia a la compresión, y viceversa; si adicionalmente se agrega al concreto poroso un poco de agregado fino en su mezcla, se incrementa la resistencia a la flexión.

El módulo de rotura o MR en concretos hidráulicos porosos generalmente está dentro del rango de 10.5 a 40.0 kg/cm<sup>2</sup>. El MR es una medida útil para el diseño de pavimentos ya que dicha estructura trabaja normalmente a flexión. (ACI 522R-10) (12)

### **2.2.5. Usos y aplicaciones para el concreto poroso**

El concreto poroso, cuya característica máxima es dejar pasar el flujo del agua a través de su propia estructura tiene una variedad de usos y aplicaciones. (Concreto Permeable. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad, 2011) (30).

El concreto poroso es ya una tecnología conocida en el mundo, por eso tiene bastantes usos y aplicaciones, sin embargo estas aplicaciones dependen de factores como la compactación, experiencia del proceso constructivo y un diseño adecuado, considerando las características de la zona del proyecto y ubicación.

El pavimento de concreto hidráulico poroso se puede usar principalmente para tráfico vehicular y peatonal, además de esto se debe tener en cuenta que su aplicación debe hacerse en áreas que posean un suelo permeable para tener una libre filtración de agua pluvial al suelo, complementando así los drenajes pluviales, también se le puede utilizar para pavimentar algunas calles residenciales, para cavidades de árboles e incluso estructuras cercanas al mar, para recolectar y redirigir agua pluvial a tanques de retención para un uso en irrigación. El grosor máximo de pavimento de concreto poroso que puede colocarse y compactarse adecuadamente se encuentra entre los 25 a 30cm.

A continuación detallaremos algunos de sus usos y aplicaciones:

- Pavimentos de zonas con bajo volumen de tránsito
- Pavimentos en lugares específicos como calles peatonales, ciclovías, veredas o aceras
- Pavimentos, muros y pisos para mejorar la absorción acústica
- Estacionamientos
- Parques y canchas
- Patios y jardines
- Pisos de invernaderos
- Cubiertas laterales de piscinas
- Rutas de carritos de golf
- Cunetas de carreteras, sistemas de drenajes
- Muros estructurales para aligerar el peso, mejor aislamiento térmico y absorción acústica
- Lugares de lavado de autos
- Terraplenes de puentes
- Muros y algunas estructuras cerca de las playas

#### **Figura 4**

*Uso y aplicación del concreto poroso*



**Fuente:** 360 en concreto (31)

## **2.2.6. Ventajas y desventajas del concreto poroso**

### **2.2.6.1. Ventajas**

El concreto poroso comparado con el concreto convencional tiene muchas ventajas, ambos son usados para pavimentos y pisos; pero el concreto poroso presenta un mejor beneficio en lo económico, ya que reduce costos en su construcción y además ayuda a mantener un medio ambiente amigable.

Sus ventajas las mencionamos a continuación.

- Deja pasar el agua a través de su estructura, permitiendo la reposición de las aguas subterráneas.
- Permite el uso de agua acumulada en su interior para cisternas o riego de jardines.
- Controla la contaminación del agua pluvial, debido a que esta pasa a través de su estructura, impidiendo que las partículas contaminantes se vayan directamente a los ríos.
- Por tener una estructura permeable se minimiza el riesgo de inundaciones.
- Tiene una mayor posibilidad de dejar pasar agua y aire a las raíces de los árboles.
- Se puede usar para complementar las estructuras de drenajes pluviales y así reducir el tamaño de las alcantarillas.
- Controla los niveles de aguas pluviales.
- Por estar compuesto mayormente de agregado grueso no hay deformación en su estructura.
- Evita el empozamiento de agua.
- Evita saturación de drenajes pluviales.
- Absorbe el calor, disipándolo por su alto contenido de poros.
- Evita el hidroplaneo de vehículos.
- Evita el deslumbramiento por reflexión de luz en el agua.
- Reduce el ruido, hace que se disperse por los poros vacíos del concreto.

- Ayuda al tránsito de peatones durante la lluvia, dándoles comodidad al desplazarse.
- Se pueden utilizar colores para mejorar la estética de la construcción.
- Se pueden usar diferentes tamaños de agregados gruesos.
- Su costo de fabricación es más bajo que el de un concreto convencional.
- Su masa volumétrica es de un 20% a 25% más liviano

### Figura 5

*Hidroplaneo de un vehículo*



**Fuente:** Noticias Ventos (32)

#### 2.2.6.2. Desventajas

A continuación mencionaremos algunas de las desventajas que presenta el concreto poroso, ya sea por su construcción o por su mantenimiento.

- Como primer punto en contra, y el más resaltante, es su baja resistencia, y esto se debe a que este tiene un mayor contenido de vacíos para lograr su permeabilidad.
- El curado del concreto poroso se debe hacer durante un mínimo de 7 días.
- El concreto poroso es muy sensible al uso del agua en su fabricación, por tal motivo se debe tener mayor cuidado en la cantidad que se debe usar.
- Se debe dar mantenimiento con mayor frecuencia para evitar el taponamiento de los poros.

- Se debe dar mantenimiento con una aspiradora especial o lavar con agua a presión.
- Solo se puede construir en lugares de bajo tránsito vehicular.
- Falta de experiencia acerca de su construcción.
- No se debe construir en zonas donde el suelo es arcilloso, y zonas con ciclos de hielo y deshielo permanentes.

## Figura 6

*Taponamiento de concreto poroso*



**Fuente:** Hormigón permeable (33)

### 2.3. Conceptos

- **ACI:** American Concrete Institute
- **Aditivo EUCO WR-75:** Es un aditivo fluido a base de polímeros orgánicos, formulado específicamente para conseguir un buen desempeño, disminuyendo la pérdida de asentamiento inicial de concreto por un periodo más largo, facilita transportar la mezcla a distancias largas, aumenta la cohesión y disminuye la segregación, ayuda el bombeo y distribución del concreto a largas distancias, ofrece un retardo controlado, teniendo en cuenta

la dosis empleada, disminuye la exudación y contracción del concreto y no tiene cloruros ni agentes corrosivos.

- **Aditivo Neoplast 8500 HP:** Es un aditivo líquido para concreto especialmente elaborado para aumentar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y aprovechador máximo de cemento en mezclas de concreto, está elaborado para ser usado en climas cálidos y fríos, produce concreto fluidos sin retardo, permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias, disminuye más de 45% del agua de amasado, disminuye la segregación y exudación en el concreto plástico y disminuye las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.
- **Agregado:** Se define así al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Los agregados son materiales inorgánicos naturales o artificiales que están envueltos en los aglomerados; cemento y agua forman los concretos y morteros.
- **Agregado fino:** El agregado fino se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena, producto resultante de la desintegración de las rocas.
- **Agregado grueso:** El agregado grueso es aquel que queda retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm) y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
- **Agua:** Es el elemento del concreto que entra en contacto con el cemento causando el proceso de hidratación, que libera una serie de reacciones que terminan otorgando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su uso correcto se convierte en el factor principal de evaluación para obtener un efectivo desempeño del concreto en la aplicación.
- **ASTM:** American Society for Testing and Materials

- **Cemento Portland tipo IP:** Cemento Portland añadido con puzolana, clasificado como cemento tipo IP, de acuerdo con la NTP 334.090 y ASTM C595, indicado para usarlo generalmente en todo tipo de obra civil, provee resistencia al ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación que ayuda al vaciado de concretos masivos, mayor impermeabilidad, adquisición de superior resistencia a la compresión con el tiempo, más trabajabilidad, es ideal para el uso de morteros, revestimientos y obras hidráulicas (en el caso de las obras portuarias expuestas al agua de mar, también en canales, alcantarillas, túneles y suelos con muy alto contenido de sulfatos).
- **Cemento Portland tipo HE:** Cemento Portland con desarrollo de alta resistencia inicial, clasificado como cemento tipo HE, de acuerdo a la norma NTP 334.082 y ASTM C1157, es un cemento Portland de última generación, elaborado bajo los más altos estándares de la industria cementera, contribuyendo al cuidado del medio ambiente, porque en su fabricación se genera menor cantidad de CO<sub>2</sub>, favoreciendo a una disminución de los gases con efecto invernadero. Es un producto elaborado a base de clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es triturada industrialmente hasta conseguir un alto grado de finura.
- **Compactación:** O consolidación del concreto, es la operación por medio de la cual se trata de densificar la masa, todavía blanda, disminuyendo a un mínimo la cantidad de vacíos. Proceso manual o mecánico que tiende a disminuir el volumen total de vacíos de una masa de mortero o de hormigón fresco.
- **Concreto poroso:** O concreto permeable, en su definición más simple, es una mezcla de cemento, agua, agregado grueso y aditivos, que sirve para fabricar pisos y pavimentos; resulta un material con una estructura de vacíos interconectados que dejan al agua y al aire, entre otros, pasar a

través de ellos. La poca presencia de agregado fino hace que el concreto tenga una estructura porosa, dejando que el agua pase a través de la estructura, con lo cual se minimiza la acumulación superficial de la lluvia.

- **Curado:** Se entiende por curado del concreto el conservar un adecuado contenido de humedad y temperatura a edades tempranas, de manera que el concreto pueda desarrollar las propiedades con las cuales fue diseñada la mezcla, es importante empezar a curar el concreto rápidamente después del fraguado. El curado se comienza tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte dañada por el procedimiento empleado.
- **Densidad:** La densidad del hormigón está referida a la cantidad de masa del material por una unidad de volumen, es decir medidos en metros cúbicos ( $m^3$ ). Es importante mencionar que el peso del hormigón, aun cuando conserve el mismo volumen, puede llegar a variar.
- **Fraguado:** Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto, producto de la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el clinker que compone el cemento.
- **Granulometría:** La granulometría es la asignación de los tamaños de las partículas de un agregado, tamaños de partículas que se ordenan por medio de tamices de malla de alambre según la norma ASTM C136. Las gradaciones que se usan en el concreto poroso, pueden ser agregado grueso de un solo tamaño o clasificación entre 3/4" y 3/8" (19 y 9,5 mm).
- **Módulo de rotura (MR):** Es un parámetro muy importante como variable de entrada para diseño de pavimentos rígidos. Se la conoce también como resistencia a la tracción por flexión o simplemente resistencia a la flexión. Es la medida de la resistencia a la tracción por flexión del concreto.

- **Permeabilidad:** Capacidad que tiene un concreto para permitir atravesar el fluido por su interior, tiene conexión con el contenido de vacíos del mismo. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad considerable de fluido en un tiempo determinado.
- **Porosidad:** Es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea considerado permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.
- **Relación agua - cemento:** Es la pasta que contiene cemento Portland y agua que une los agregados, normalmente arena y grava, la cual establece una masa parecida a una roca. En esta relación a/c, el agua resulta de gran importancia, ya que ella y su relación con el cemento están fuertemente ligados a una gran cantidad de propiedades de la mezcla final que se conseguirá, en donde normalmente conforme más agua se agregue, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual logra grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también empieza a reducir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre.
- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expone en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (Psi).
- **Resistencia a la flexión:** La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de resistencia a la falla por momento de una viga o los de concreto no reforzado. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de rotura.

- **Tasa de infiltración:** La infiltración es un parámetro físico que permite cuantificar la cantidad de agua que está penetrando por los espacios porosos de un espacio limitado, en un tiempo determinado. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía.

## METODOLOGÍA

### 3.1. Método y alcance de la investigación

Según Hernández, Fernández, Baptista 2014 (37), el enfoque cuantitativo utiliza el razonamiento deductivo, que comienza con la teoría, y de esta se derivan las hipótesis que el investigador somete a prueba. Las hipótesis son el centro del método deductivo cuantitativo. El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

En la presente investigación se usó el **método deductivo**, porque se realizará una comparación de distintas mezclas de concreto hidráulico poroso, haciendo uso de diferentes tipos de materiales en la elaboración de las mismas sin saber los resultados, es por ello que se plantean las hipótesis de que se tendrán diferentes características físicas y mecánicas del concreto poroso, según el tipo de cemento, tamaño de agregado grueso y cantidad de agregado fino, para identificar las mezclas óptimas para el uso en pavimentos urbanos de la ciudad de Arequipa.

El tipo descriptivo busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de procesos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan estas. (Hernández, Fernández, Baptista 2014) (37).

El tipo correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para una población, este tipo de estudio tiene como finalidad conocer la relación que existe entre dos o más variables en una muestra. Para evaluar el grado de asociación entre dos o más variables, en los estudios correlacionales, primero se mide cada una de estas, y después se cuantifican, analizan y establecen las vinculaciones. Tales correlaciones se

sustentan en hipótesis sometidas a prueba. (Hernández, Fernández, Baptista 2014) (37).

Esta investigación es del tipo descriptivo correlacional, ya que se realizarán ensayos de laboratorio para conocer la relación y efectos del uso de los diferentes tipos de cemento, así como también el uso de los diferentes tamaños de agregados gruesos y cantidades de agregado fino, para lograr obtener resultados reales para su análisis y dar a conocer sus características físicas y mecánicas, como la resistencia a la compresión, a la flexión, permeabilidad y tasa de infiltración.

Según (Hernández, Fernández, Baptista 2014) (37) el alcance descriptivo busca especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis.

Esta investigación tiene un **alcance descriptivo relacional**, porque se especifica el procedimiento y las características físicas y mecánicas del concreto poroso mediante procedimientos secuenciales, en las que se especifican las propiedades del concreto poroso elaborado con dos tipos de cemento, agregado grueso de diferentes tamaños y diferentes porcentajes de agregado fino, realización de un diseño de mezclas patrón y sus combinaciones, elaboración de testigos de concreto poroso, rotura de los testigos y, finalmente, interpretación comparativa de resultados con respecto a las características físicas y mecánicas del concreto poroso.

### **3.2. Diseño de la investigación**

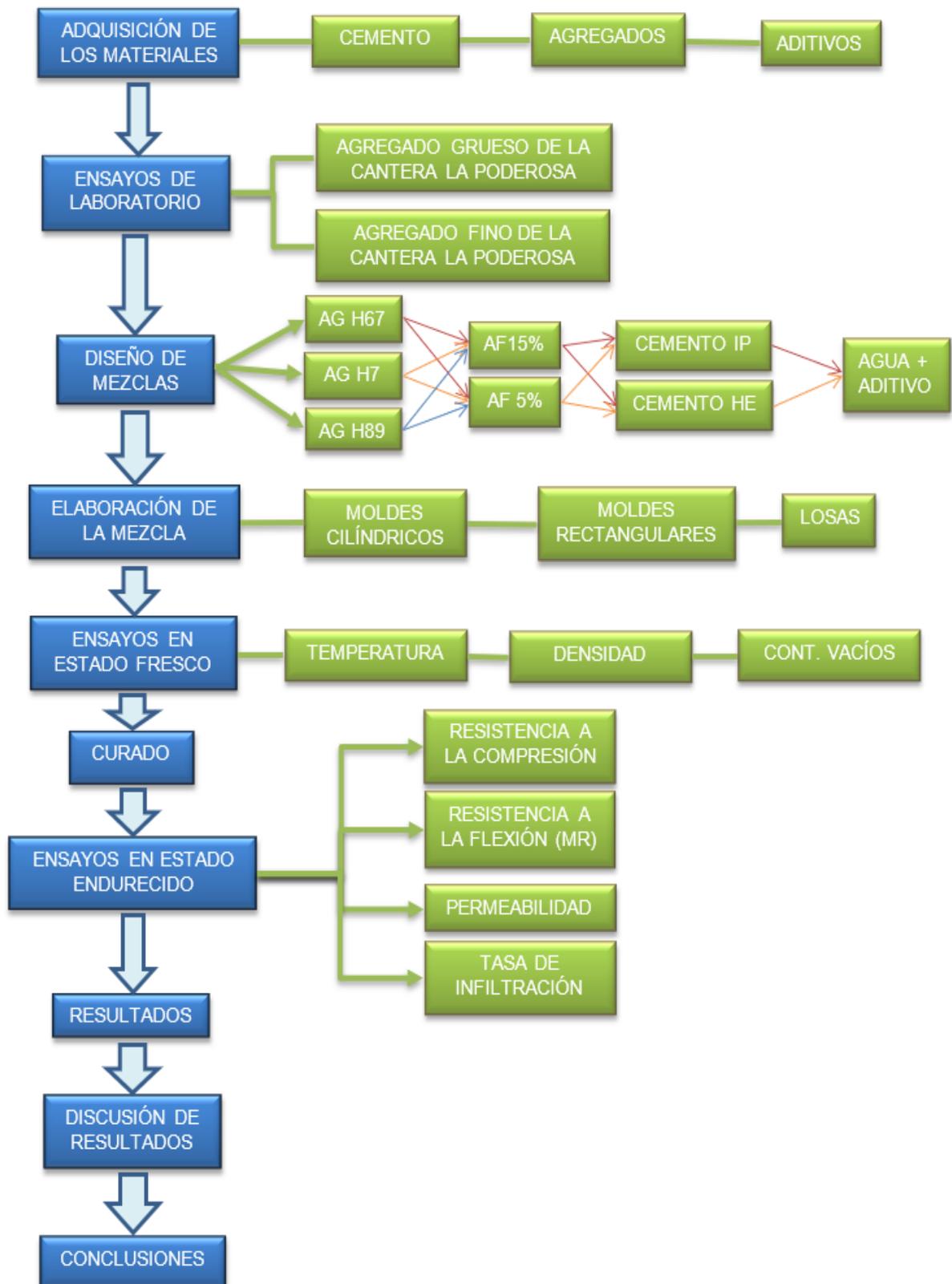
El diseño de la investigación experimental se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes, y por qué las afectan. En un auténtico experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, porque es la variable que se hipotetiza, será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta relación causal supuesta, el investigador manipula la variable independiente para ver su efecto sobre la

dependiente. Es decir, hace variar a la independiente y observa si la dependiente varía o no. Manipular es sinónimo de hacer variar o dar distintos valores a la variable independiente (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) (37).

En esta investigación se usará el **diseño experimental**, ya que se analizará tres variables independientes que son el tipo de cemento, tamaños de agregado grueso y cantidades de agregado fino, en un diseño patrón, el cual sirve de base para las demás combinaciones de mezclas, las cuales causan efecto sobre las variables dependientes que son las características físicas y mecánicas del concreto poroso.

**Figura 7**

*Diagrama del diseño de la investigación*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones (Lepkowski, 2008) (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) (37).

La población de la presente investigación estará conformada por todas las probetas cilíndricas, así como las vigas rectangulares y paneles de losa de concreto poroso elaborados con los diferentes tipos de cemento y agregado grueso, combinados con los porcentajes de agregado fino, reemplazados en un diseño patrón.

#### Cuantificación de la población

Para la conformación de la población se usarán dos tipos de cemento Portland tipo IP y HE, tres gradaciones diferentes de agregado grueso de Huso 67 (3/4"), 7 (1/2"), 89 (3/8"), y la adición de dos porcentajes de arena de 5% y 15%; considerando el reemplazo de estos materiales en un solo diseño patrón, resultando en doce combinaciones (detalladas en la tabla 3), las cuales se replicarán en número de 3, se consideró elaborar 288 probetas cilíndricas de 6"x12", 36 probetas cilíndricas de 4"x8", 72 vigas rectangulares y 36 paneles de tipo losa en los cuales se realizarán todos los ensayos correspondientes para obtener los resultados y analizarlos.

**Tabla 3**

*Matriz de Mezclas*

Cemento Portland	Agregado Grueso	Agregado Fino	Mezclas
IP	HUSO 89 (3/8")		IP 89 5%
	HUSO 7 (1/2")	5%	IP 7 5%
	HUSO 67 (3/4")		IP 67 5%
	HUSO 89 (3/8")		IP 89 15%
	HUSO 7 (1/2")	15%	IP 7 15%
	HUSO 67 (3/4")		IP 67 15%
HE	HUSO 89 (3/8")		HE 89 5%
	HUSO 7 (1/2")	5%	HE 7 5%
	HUSO 67 (3/4")		HE 67 5%

HUSO 89 (3/8")		HE 89 15%
HUSO 7 (1/2")	15%	HE 7 15%
HUSO 67 (3/4")		HE 67 15%

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.2. Muestra

La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse con precisión, además que debe ser representativo de la población (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) (37).

Para esta investigación la muestra está conformada por 288 probetas cilíndricas de 6"x12", 36 probetas cilíndricas de 4"x8", 72 vigas rectangulares y 36 paneles de tipo losa de concreto poroso elaboradas en el laboratorio, considerando las NTP correspondientes y conformadas por los insumos descritos líneas anteriores.

### Método de muestreo

El muestreo será **no probabilístico**, porque el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones del investigador y, desde luego, las muestras seleccionadas obedecen a otros criterios de investigación (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) (37).

Para el muestreo de los diferentes elementos se tomará como referencia lo descrito en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) 339.036 (38) "Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco", y la NTP 339.183 (26) "Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio" para la obtención de las probetas cilíndricas y vigas que serán sometidas a ensayos de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad. Para los paneles tipo losa que formarán parte del ensayo de infiltración, se han seguido las pautas descritas en la NTP 339.199 (39) "Especificación normalizada para la preparación y ensayo de especímenes de concreto proyectado extraídos de paneles de ensayo".

### **Cuantificación de la muestra**

La muestra está conformada de la siguiente manera y se detalla en la tabla 4.

- La muestra para el ensayo de resistencia a la compresión NTP 339.034 (27) (ASTM C39) estará conformada por un total de 288 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (6"x12"), considerando que se ensayarán 2 probetas a las edades de 3, 7, 14 y 28 días de cada una de las combinaciones señaladas en la tabla 4, considerando sus réplicas.
- La muestra para el ensayo de resistencia a la flexión NTP 339.078 (29) (ASTM C78) estará constituida por un total de 72 vigas rectangulares de 15 cm x 15 cm x 50 cm, las cuales serán ensayadas a los 7 y 28 días de edad.
- La muestra para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10) (12), estará constituida por un total de 36 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro por 15 cm de altura (4"x8"), y serán ensayadas después de los 28 días de edad.
- La muestra para el ensayo de tasa de infiltración (ASTM C1701) (25), estará conformada por un total de 36 losas cuadradas de 1m x 1m x 15 cm, las cuales serán sometidas al ensayo luego de los 28 días de edad.

**Tabla 4***Número de muestras*

<b>Muestra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Especímenes (unidades)</b>	<b>Mezclas</b>	<b>Repetición</b>	<b>Total</b>
Probetas cilíndricas (15x30) f'c	3	2			72
	7	2	12	3	72
	14	2			72
	28	2			72
					288
Vigas rectangulares (15x15x50) MR	7	1	12	3	36
	28	1			36
					72
Probetas cilíndricas (10x15)					
Permeabilidad	28	1	12	3	36
Losas (1x1x0.15) Infiltración	28	1	12	3	36

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica para recolectar datos en la presente investigación será **la observación**, ya que este método de recolección de datos consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías (Hernández, Fernández, Baptista, 2014) (37). Estarán basados principalmente en la realización de ensayos de laboratorio a las muestras de concreto de las doce diferentes combinaciones de mezcla de concreto poroso.

#### **Para los agregados se realizarán:**

Ensayos de granulometría, según la NTP 400.012– ASTM C136.

Contenido de humedad, según la NTP 339.185– ASTM C566.

Material más fino que pasa la malla N° 200, según la NTP 400.018.

Peso específico y absorción de agregado grueso, según la NTP 400.021– ASTM C127.

Peso específico y absorción de agregado fino, según la NTP 400.022 – ASTM C128.

Peso unitario suelto y compactado, según la NTP 400.017– ASTM C29.

**Para el diseño de mezclas:**

Se usará el método que se describe en el reporte ACI 522R-10

**Para el concreto se realizarán:**

Ensayos para muestreo de mezclas de concreto fresco, según la NTP 339.036 – ASTM C172.

Densidad y contenido de vacíos del concreto fresco, según la NTP 339.230 – ASTM C1688.

Temperatura, según la NTP 339.184 – ASTM C1064.

Elaboración y curado de especímenes de concreto poroso, según la NTP 339.183.

Resistencia a la compresión, según la norma ASTM C39 – NTP 339.034.

Resistencia a la flexión o módulo de rotura, según la norma ASTM C78 – NTP 339.078.

Permeabilidad, según el reporte ACI 522R-10.

Tasa de infiltración de agua, según la norma ASTM C1701.

Además, se tomará en cuenta bibliografía basada en tesis, libros, publicaciones y códigos, los cuales serán citados conforme el desarrollo del documento.

**3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos que serán usados para la realización de esta investigación serán fichas o formatos propios del laboratorio y de elaboración propia, en el cual se consignarán los resultados de los ensayos obtenidos para su

posterior evaluación. Estos formatos se han realizado considerando los parámetros y anotaciones sugeridas en las normativas relacionadas a cada ensayo. Algunos de estos formatos se llevan de manera digital por el propio laboratorio, y se detallan a continuación:

- Formato para la recolección de datos de propiedades físicas del agregado.
- Formato para la recolección de datos de ensayos de granulometría y ensayos físicos.
- Formato para la recolección de datos de ensayo a compresión (digital).
- Formato para la recolección de datos de ensayo a flexión (digital).
- Formato para la recolección de datos de ensayo de permeabilidad.
- Formato para la recolección de datos de ensayo de tasa de infiltración.

## Figura 8

Formato para la evaluación de las propiedades físicas del agregado grueso y fino



### PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO

MUESTRA : \_\_\_\_\_ FECHA DE INGRESO: \_\_\_\_\_  
 PROCEDENCIA: \_\_\_\_\_ FECHA DE ENSAYO: \_\_\_\_\_  
 CANTERA : \_\_\_\_\_ ANALISADO POR: \_\_\_\_\_

---

**1) PESO ESPECÍFICO DE LA**

$P_{eAG} = \frac{P_1}{(P_1 - P_2)} \times 1000$	P.s.s.s.: P1 _____ g $P_{eAG} = \frac{(\quad)}{[(\quad) - (\quad)]} \times 1000$ P. Específico: _____ kg/m <sup>3</sup> P.s.s.s. sumergido: P2 _____ g	
---	---	--

---

**2) PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA**

$P_{eAR} = \frac{500}{500 - (P_1 - P_2 - 500)} \times 1000$	P. Total: P1 _____ g $P_{eAR} = \frac{500}{500 - [( \quad ) - ( \quad ) - 500 ]} \times 1000$ P. Específico: _____ kg/m <sup>3</sup> Tara: P2 _____ g	
---	--	--

---

**3) ABSORCIÓN**

$Abs = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2} \times 100$	P.s.s.s.: P1 _____ g $Abs = \frac{[( \quad ) - ( \quad )]}{( \quad )} \times 100$ Absorción: _____ % P. Muestra Seca: P2 _____ g	
--	---	--

---

**4) HUMEDAD**

$H = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2} \times 100$	P. Muestra: P1 _____ g $H = \frac{[( \quad ) - ( \quad )]}{( \quad )} \times 100$ Humedad: _____ % P. Muestra Seca: P2 _____ g	
--	---	--

---

**5) % PASA #200**

$\#200 = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$	P. Muestra: P1 _____ g $\#200 = \frac{[( \quad ) - ( \quad )]}{( \quad )} \times 100$ Malla #200: _____ % P. Muestra Seca: P2 _____ g	
--	--	--

---

**6) PESO UNITARIO COMPACTADO**

$P. \text{ Promedio } (P_4) = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$	P. vol. comp.: P1) _____ kg P2) _____ kg P3) _____ kg (tres lecturas) P. Promedio : P4) _____ kg P5) _____ kg (P. Olla) P6) _____ kg (P4 - P5) Vol. Olla: P7) _____ l	
$Pvc = \frac{P_4}{P_7} \times 1000$	$Pvc = \frac{(\quad)}{(\quad)} \times 1000$ P. vol. Comp.: _____ kg/m <sup>3</sup>	

---

**7) PESO UNITARIO SUELTO**

$\text{Promedio } (P_4) = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$	P. vol. comp.: P1) _____ kg P2) _____ kg P3) _____ kg (tres lecturas) P. Promedio : P4) _____ kg P5) _____ kg (P. Olla) P6) _____ kg (P4 - P5) Vol. Olla: P7) _____ l	
$Pvs = \frac{P_4}{P_7} \times 1000$	$Pvc = \frac{(\quad)}{(\quad)} \times 1000$ P. vol. Comp.: _____ kg/m <sup>3</sup>	

ELABORADO POR:	
Nombre y Apellidos:	
Cargo:	

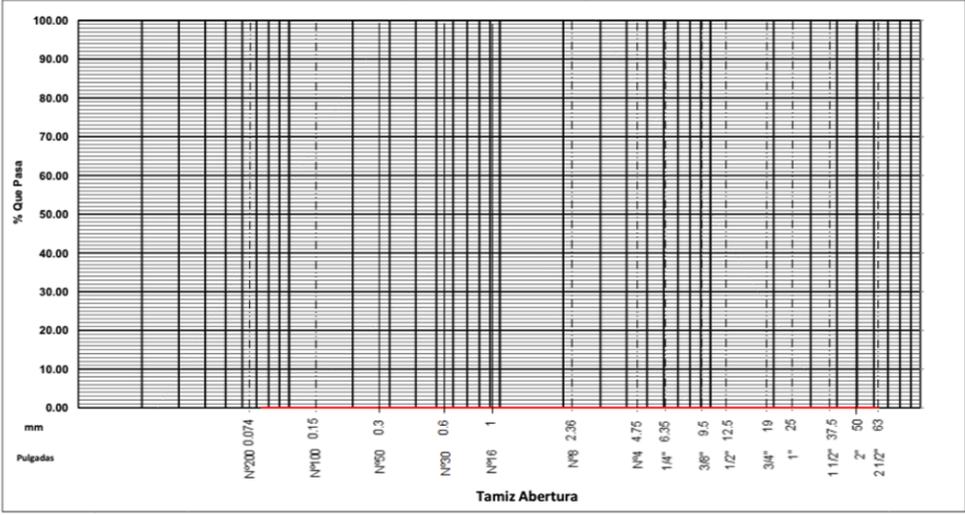
REVISADO POR:	
Nombre y Apellidos:	
Cargo:	

CENEP
VECIUN

Fuente: Concretos Supermix S.A.

**Figura 9**

Formato para la evaluación de la granulometría y características físicas de los agregados

 <b>GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO</b>							
<b>MATERIAL :</b> _____		<b>MUESTRA No :</b> _____					
<b>CANTERA:</b> _____		<b>FECHA DE MUESTREO :</b> _____					
<b>PROCEDENCIA:</b> _____		<b>FECHA DE INGRESO :</b> _____					
<b>ANALIZADO POR:</b> _____		<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b> _____					
GRANULOMETRÍA					PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037		
2 1/2"						MODULO DE FINURA _____	
2"						TAMAÑO MAX. NOM. _____	
1 1/2"						PESO ESP. SSS _____ kg/m <sup>3</sup>	
1"						PESO VOL. COMPAC. _____ kg/m <sup>3</sup>	
3/4"						PESO VOL. SUELTO _____ kg/m <sup>3</sup>	
1/2"						% ABSORCIÓN _____ %	
3/8"						% HUMEDAD _____ %	
1/4"						% MALLA < # 200 _____ %	
Nº 4						HUSO _____	
Nº 8						<b>OBSERVACIONES:</b>	
Nº 16							
Nº 30							
Nº 50							
Nº 100							
Nº 200							
<Nº 200							
TOTAL:							
GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO							
							
<b>ELABORADO POR:</b> _____				<b>REVISADO POR:</b> _____			
<b>Nombres y Apellidos:</b> _____				<b>Nombres y Apellidos:</b> _____			
<b>Cargo:</b> _____				<b>Cargo:</b> _____			
S-CLD-F-01				VERSION 04			

Fuente: Concretos Supermix S.A.



**Figura 12**

*Formato para evaluación de la permeabilidad con permeámetro de cabeza*

		<b>ENSAYO DE PERMEABILIDAD CON PERMEÁMETRO SIMPLE DE CABEZA</b>				Norma de referencia: ACI 522R · 10	
<b>UNIVERSIDAD CONTINENTAL</b>						<b>FACULTAD DE ING. CIVIL</b>	
<b>TESIS: INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRÍAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO POROSO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA</b>							
Fecha: _____ Evaluador: _____							
N°	Descripción	Altura (mm)	A (mm)	Tiempo (s)	K (mm/s) [A/T]	Promedio Permeabilidad (mm/s)	Promedio Permeabilidad (cm/s)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 13**

*Formato para la evaluación de la tasa de infiltración*



**Universidad  
Continental**

UNIVERSIDAD CONTINENTAL

**ENSAYO DE INFILTRACIÓN**

Norma de referencia:  
ASTM C1701 -17

FACULTAD DE ING. CIVIL

**TESIS: INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRÍAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO POROSO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA**

Fecha: \_\_\_\_\_

Evaluador: \_\_\_\_\_

$$I = (Cte * Pagua) / (Danillo^2 * Tprom)$$

Cte = 4583666000

N°	Descripción	Tiempo (s)	Tiempo promedio (s)	Agua (kg)	Diámetro de anillo (mm)	Tasa de Infiltración (mm/h)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.3. Descripción de las técnicas e instrumentos de recolección de datos

La parte experimental se dividió en 3 etapas:

#### Etapa I: Ensayos a los Agregados

Se procedió a obtener información de las características y propiedades físicas de los agregados gruesos HUSO 89, 7 y 67, así como del agregado fino. Se usó la metodología contemplada en las normas técnicas peruanas correspondientes para los ensayos de:

- Análisis granulométrico (NTP 400.012 (37) – ASTM C136).
- Material más fino que pasa la malla N° 200 (NTP 400.018 (38)).
- Contenido de humedad (NTP 339.185 (39) – ASTM C566).
- Peso específico y absorción de agregado grueso (NTP 400.021 (40) – ASTM C127).
- Peso específico y absorción de agregado fino (NTP 400.022 (41) – ASTM C128).
- Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017 (42) – ASTM C29).

#### Figura 14

*Muestreo de agregados*



**Fuente:** Elaboración propia.

## Etapa II: Pruebas preliminares

Se realizó un diseño patrón siguiendo las pautas estipuladas en el reporte ACI 522R-10, a partir del cual, por sustitución de materiales se obtendrán diferentes mezclas. Se desarrollaron varias tandas del diseño patrón, en algunos casos se sustituyó el huso de agregado grueso, algunos con ausencia de agregado fino, otros con la totalidad de agregado fino, según bibliografía (20%), con diferente relación a/c y probando la ausencia y presencia de aditivos. Finalmente se llegó a la dosificación más adecuada. Además, se estableció 5 segundos como tiempo máximo con la mesa vibratoria, ya que el exceso de tiempo produce segregación de la pasta.

### Figura 15

*Prueba de las dosificaciones iniciales*



**Fuente:** Elaboración propia.

### ***Etapa III: Ensayos definitivos***

Luego de las pruebas preliminares, se estableció un diseño patrón a partir del cual, por reemplazo de insumos, se tendría doce combinaciones con las diferentes variables. La realización de estas mezclas permitirá evaluar las características en estado fresco y endurecido del concreto, para así cumplir con los objetivos de esta investigación.

### **Figura 16**

*Elaboración de probetas de concreto permeable en mesa de vibrado*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **3.4.3.1. Ensayos a los agregados (NTP 400.010)**

De cada uno de los montículos de agregados provenientes de la cantera “La Poderosa”, se procedió a extraer una muestra significativa, considerando la masa

mínima para los ensayos según la NTP 400.010 (35) Extracción y preparación de las muestras, como se detalla en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Extracción y preparación de las muestras*

<b>Agregado</b>	<b>Masa Mínima (kg)</b>
HUSO 67	25
HUSO 7	15
HUSO 89	10
Arena	10

**Fuente:** Modificado de NTP 400.010 Agregados

Una vez obtenida la muestra, se tendió en una lona de tal manera que se pueda homogenizar en varias ocasiones con la ayuda de una pala para realizar a posterior un cuarteo hasta obtener una masa mínima, según el ensayo a realizarse conforme la NTP 400.043 Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo.

**Figura 17**

*Cuarteo de muestra de agregado fino*



**Fuente:** Elaboración propia.

### a) Ensayo de granulometrías (NTP 400.012)

Para el ensayo de granulometrías se utilizaron los tamices normalizados y siguiendo el procedimiento especificado en la NTP 400.012 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo, como sigue:

**Tabla 6**

*Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos*

Agregado	Tamices Normalizados
FINO	150 $\mu\text{m}$ (N°100)
	300 $\mu\text{m}$ (N°50)
	600 $\mu\text{m}$ (N°30)
	1.18 mm (N°16)
	2.36 mm (N°8)
	4.75 mm (N°4)
GRUESO	9.50 mm (3/8")
	12.5 mm (1/2")
	19.0 mm (3/4")
	25.0 mm (1")

**Fuente:** Extraído de NTP 400.011 Agregados

Se colocan los tamices de mayor a menor abertura y se procede a colocar la muestra por la parte superior con la ayuda de herramientas manuales. Las diferentes aberturas de las mallas generarán diferentes masas retenidas, las cuales serán pesadas una por vez, al terminar el ensayo. Finalmente se generan las gráficas de granulometrías.

**Figura 18**

*Ensayo de granulometría*



**Fuente:** Elaboración propia.

**b) Ensayo de malla 200 (NTP 400.018)**

Se realiza el cuarteo de la muestra, tomando en cuenta la cantidad de muestra mínima de acuerdo con lo descrito en la tabla 7. Se lleva la muestra a secar al horno con temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 7**

*Cantidad de muestra*

<b>TMN del agregado en mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima (g)</b>
Mayor a 19.0 (3/4)	5000
Mayor que 9.5 (3/8) a 19.0 (3/4)	2500
Mayor que 4.75 (N°4) a 9.5 (3/8)	1000
4.75 (N°4) o más pequeño	300

**Fuente:** Extraído de NTP 400.018 Agregados

Se prosigue a pesar la muestra seca y se registra como masa inicial. A continuación, se lava la muestra en un recipiente adicionando agua, procurando no perder material de partículas grandes por suspensión. Se elimina el agua (por decantación) con los finos suspendidos, vertiendo sobre los tamices N° 16 y N° 200. Se repite el procedimiento hasta que el agua de lavado sea clara.

Se deja la muestra en el horno para su secado por 24 horas. Dejar enfriar y se pesa la masa final. El porcentaje que pasa el tamiz N° 200 se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_2} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje de material fino que pasa la malla N° 200

P<sub>1</sub>= Masa seca de la muestra original en gramos

P<sub>2</sub>= Masa seca de la muestra lavada en gramos

### Figura 19

*Lavado de muestra para ensayo de malla N° 200*



**Fuente:** Elaboración propia.

**c) Ensayo contenido de humedad (NTP 339.185)**

Luego del cuarteo de la muestra, se obtiene una muestra representativa considerando la tabla 8. Se pesa para obtener la masa inicial, se lleva a secar la muestra a la cocinilla, revolviendo frecuentemente y luego de enfriar se registra la masa final.

**Tabla 8**

*Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*

<b>TMN del Agregado en mm (pulg)</b>	<b>Masa Mínima (kg)</b>
25.0 (1)	4.0
19.0 (3/4)	3.0
12.5 (1/2)	2.0
9.5 (3/8)	1.5
4.75 (0.187) (N°4)	0.5

**Fuente:** Extraído de NTP 339.185 Agregados.

Se calcula la humedad aplicando:

$$P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

P = contenido total de humedad evaporable

W = masa inicial (húmeda) de la muestra en g

D = masa final (seca) en g

## Figura 20

*Muestras en el horno para secado*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **d) Ensayo de absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022)**

Luego del cuarteo de la muestra a ensayar, se satura la muestra en agua por 24 horas  $\pm$  4 horas, se seca hasta dejar la muestra en condición superficialmente seca. Se obtiene el peso inicial, luego se lleva al horno por 24 horas, se deja enfriar y se registra el peso final de la muestra.

Se calcula la absorción con:

$$Abs = \frac{(S - A)}{A} \times 100$$

Donde:

Abs = Porcentaje de absorción

S = Masa de la muestra superficialmente seca en g

A = Masa de la muestra seca en g

## Figura 21

### Saturación de agregados en agua



Fuente: Elaboración propia

#### e) Ensayo de peso específico (densidad relativa) (NTP 400.021 y NTP 400.022)

##### Para el agregado fino:

Del ensayo anterior, se pesa 500 g de muestra que pase la malla N° 4 en condiciones de saturación luego de 24 horas. Se lleva la muestra a secado con la finalidad de tenerla en condición de saturada superficialmente seca, haciendo la verificación de la humedad superficial con la ayuda del cono trunco para el ensayo de humedad y su pisón. El estado óptimo será cuando el cono de arena empiece con una ligera caída.

Introducir la muestra en un picnómetro adicionando agua hasta el 90% de su capacidad. Agitar cuidadosamente para eliminar las burbujas atrapadas. Completar con agua al nivel de capacidad total. Pesar la masa del picnómetro, muestra y agua.

A continuación, se llevará la muestra pesada a secar al horno en un recipiente adecuado, luego de 24 horas se dejará enfriar y se pesará nuevamente la masa de la muestra.

Deberá registrarse el peso del picnómetro lleno con agua.

Para el cálculo de la densidad relativa se usará:

$$Dr = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Donde:

S = masa de la muestra saturada superficialmente seca en g

B = masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca en g

C = masa del picnómetro lleno de muestra y agua hasta la marca en g

#### **Para el agregado grueso:**

Considerar la masa mínima de muestra, tabla 9.

**Tabla 9**

*Cantidad de masa mínima*

<b>TMN del agregado en mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima (kg)</b>
25.0 (1)	4.0
19.0 (3/4)	3.0
12.5 (1/2) o menor	2.0

**Fuente:** Extraído de NTP 400.010 Agregados

Secar la muestra en horno por 24 horas, se deja enfriar y se sumerge en una canastilla a un recipiente de agua de volumen considerable por 24 horas ± 4 horas. Secar las muestras hasta la condición de saturada superficialmente seco con la ayuda de un paño, inmediatamente después se pesa y registra el valor.

A continuación, anotará su peso aparente, con la muestra sumergida en agua. Una vez culminado se pondrá la muestra a secar al horno por 24 horas a 110 °C, se registrará la masa del agregado seco.

Se calcula la densidad relativa con:

$$Dr = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

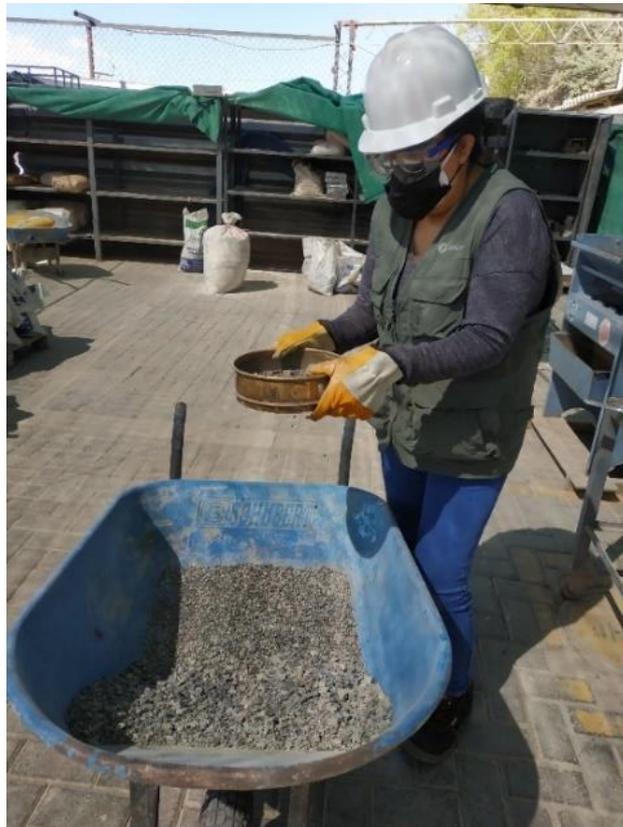
A = masa de la muestra secada al horno en aire en g

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire en g

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua en g

## Figura 22

*Preparación de muestra para ensayo de peso específico*



**Fuente:** Elaboración propia.

**f) Ensayo de peso unitario suelto (NTP 400.017)**

Luego de obtenida la muestra, se procede a homogenizar y a secar. Se llena la olla para pesos unitarios considerando el tamaño del agregado. Se enraza con una regla metálica una vez se tenga la olla llena eliminando el exceso de material y se registra el peso.

**Tabla 10**

*Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados*

<b>TMN del Agregado en mm (pulg)</b>	<b>Capacidad de Recipiente (p<sup>3</sup>)</b>
25.0 (1)	1/3
12.5 (1/2)	1/10

**Fuente:** Extraído de NTP 400.017 Agregados.

**Figura 23**

*Ensayo de peso unitario suelto*



**Fuente:** Elaboración propia.

**g) Ensayo de peso unitario compactado (NTP 400.017)**

Luego del muestreo, se homogeniza el material y se seca hasta conseguir una masa constante. Según el tamaño del agregado se escoge la olla conforme a la tabla anterior. Se llena en 3 capas, varillando 25 veces por capa, distribuido en toda la superficie del agregado. Una vez llena la olla, se enraza con una regla metálica eliminando el exceso y se registra el peso de la olla con el material.

El peso unitario suelto y compactado se calcula aplicando:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M = densidad o peso unitario en kg/m<sup>3</sup>

G = masa del agregado y recipiente en kg

T = Masa del recipiente en kg

V = volumen del recipiente en m<sup>3</sup>

**Figura 24**

*Ensayo de peso unitario compactado*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.4.3.2. Diseño de mezclas de concreto poroso método ACI 522R-10**

Para el desarrollo del diseño de mezcla patrón del concreto poroso se utilizará la metodología que proporciona el reporte del ACI 522R-10, en el cual se consigna una serie de pasos a seguir de una forma sencilla y práctica, considerando parámetros, tablas empíricas y criterios ya establecidos. Se optó por usar este método, ya que, el concreto poroso aún no cuenta con normativa propia, como sí lo tiene el concreto convencional. Se tomó en cuenta que en las investigaciones y tesis internacionales y nacionales el método del ACI 522R-10 es el más usado y más aceptado.

Para la información de entrada se consideró el uso de los insumos más utilizados en la zona como son: cemento tipo IP, agregado grueso huso 67, los mismos que conformarán el diseño patrón y a partir del cual por reemplazo de los insumos originarán doce combinaciones de diseños secundarios.

Este método se desarrolla como sigue:

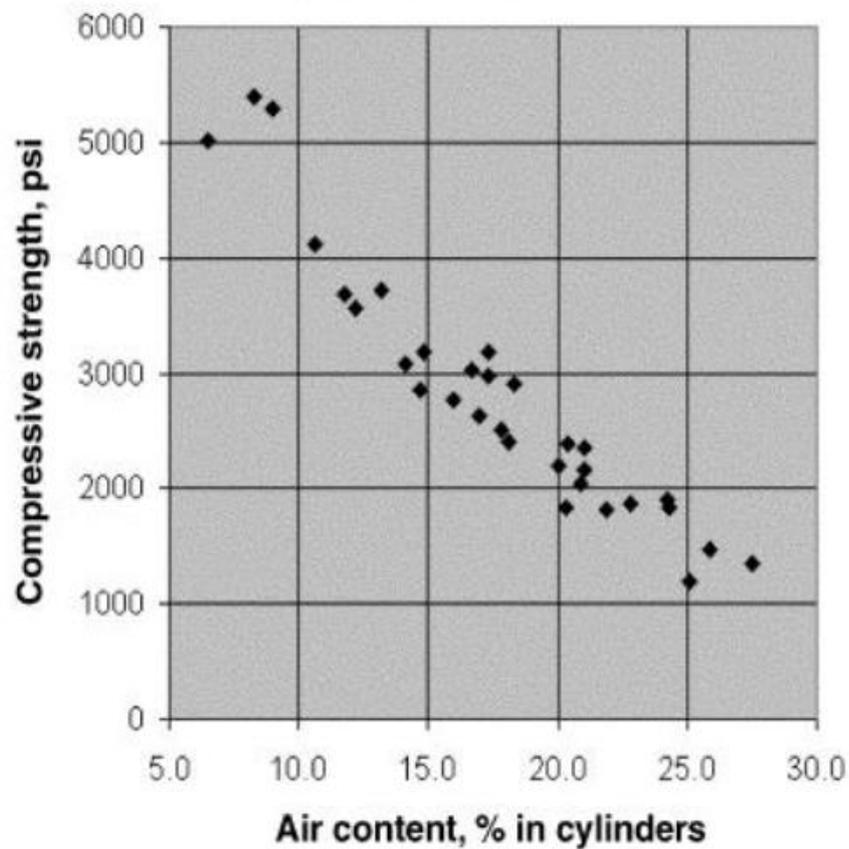
- Determinar la masa del agregado
- Ajustar el peso del agregado a la condición de SSS
- Determinación del contenido de pasta
- Determinar la masa del cemento
- Determinar la cantidad de agua
- Determinar el volumen total
- Verificar el contenido de vacíos

Previamente a realizar el diseño de mezclas patrón, se deben obtener las características de los materiales, especialmente de los agregados, cemento y aditivos (en caso se use), también se deberá definir los valores de contenido de aire y la relación agua – cemento; de acuerdo al reporte del ACI 522R-10, esta se encuentra entre 0.26 a 0.40, teniendo en cuenta que una mala dosificación puede conllevar al asentamiento de la pasta que forma parte del concreto, obstruyendo los poros que caracterizan a este tipo de concreto hidráulico.

Como dato de entrada se elige un valor teórico de resistencia requerida (psi), el cual, mediante la gráfica de la figura 25, nos dará un valor de contenido de aire, ese valor servirá como dato de entrada en la gráfica de la figura 26 para obtener la relación agua - cemento.

**Figura 25**

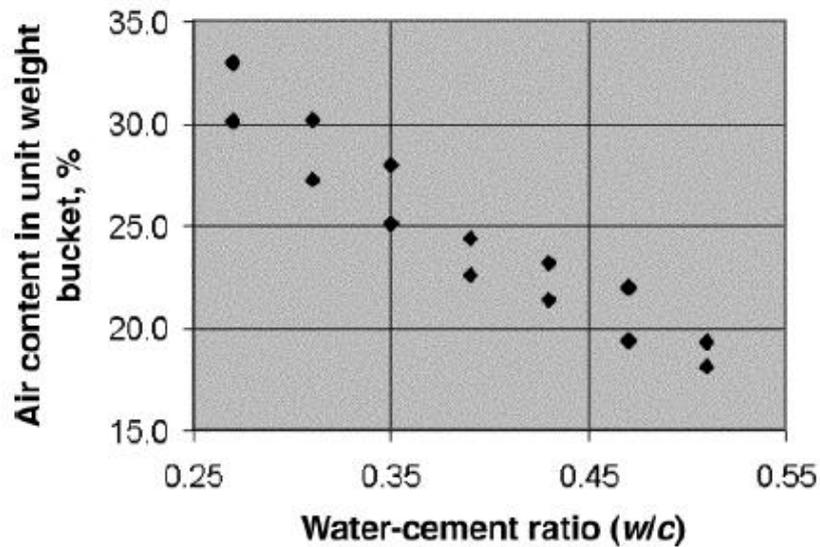
*Contenido de aire en porcentaje de acuerdo con la resistencia requerida*



**Fuente:** Reporte sobre el concreto permeable ACI 522R-10.

**Figura 26**

*Relación a/c según el contenido de aire*



**Fuente:** Reporte sobre el concreto permeable ACI 522R-10

**a) Masa del agregado**

Se debe hacer uso del peso unitario compactado del agregado, el cual será multiplicado por el factor  $b/b_0$ , el cual se obtiene de la tabla 11. Como datos de entrada se usa el contenido de agregado fino y el tamaño del agregado grueso.

**Tabla 11**

*Valores Efectivos  $b/b_0$*

Porcentaje de Agregado Fino	$b/b_0$	
	Tamaño No.8	Tamaño No.67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**Fuente:** Reporte sobre el concreto permeable ACI 522R-10

Hallamos la masa del agregado con la fórmula:

$$Masa\ del\ Agregado = PUC \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \%abs)$$

Donde:

PUC: Peso unitario compactado

%abs: porcentaje de absorción del agregado grueso

Seguidamente el contenido de agregado fino se calcula en porcentaje de la masa total del agregado.

### b) Volúmenes de los agregados:

La fórmula a usar es:

$$Vol\ agregado = \frac{masa}{densidad}$$

### c) Volumen de la pasta:

Usaremos las siguientes fórmulas:

$$Vp = vol\ cemento + volumen\ agua$$

$$Vp = \frac{masa\ cemento}{densidad\ cemento} + \frac{masa\ agua}{densidad\ agua}$$

Teniendo en cuenta el siguiente artificio:

$$Agua = \frac{agua}{cemento} \times cemento$$

$$Vp = \frac{cemento}{densidad\ cemento} + \frac{\frac{agua}{cemento} \times cemento}{densidad\ agua}$$

Donde:

Vp: Volumen de pasta

### d) Cantidad de cemento:

Se hallará con la siguiente fórmula:

$$c = \frac{Vp}{\frac{1}{dens\ cem} + \frac{a/c}{dens\ agua}}$$

Donde:

C: Masa del cemento

V<sub>p</sub>: Volumen de pasta

a/c: relación agua cemento

#### **e) Cantidad de agua**

Con la cantidad de cemento y la relación a/c, hallamos la cantidad de agua, con la siguiente fórmula:

$$Agua = \left(\frac{a}{c}\right) c$$

#### **f) Verificar los volúmenes**

El volumen total se consigue sumando los volúmenes de cada material, se representa con la siguiente expresión:

$$V_{total} = V_{ag\ grueso} + V_{agregado\ fino} + V_{cemento} + V_{agua} + V_{aditivos}$$

#### **g) Verificar el contenido de vacíos**

Luego de obtener el volumen total, se calcula el contenido de vacíos alcanzado en el diseño y expresado como porcentaje.

En la presente investigación, de acuerdo con la bibliografía consultada y por las pruebas iniciales realizadas, se optó incluir solo los aditivos plastificantes y retardantes, ya que el primero de ellos actúa directamente sobre la baja relación agua – cemento, que es característica de este tipo de concreto especiales, en cuanto al retardante, las pruebas iniciales sin aditivos denotaron una rápida pérdida de trabajabilidad del concreto, por lo que su uso amplía el tiempo de conservación de las propiedades del concreto en estado fresco. Asimismo, no se consideró uso de

aditivos modificadores de adherencia, ya que las pruebas iniciales indicaron buenas características de adherencia y cohesión entre las partículas.

#### **3.4.3.3. Ensayos en estado fresco del concreto poroso**

##### **a) Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco NTP 339.036 (ASTM C172)**

Se tomará como referencia esta norma para los ensayos que se realizarán a las muestras de los concretos que se elaborarán en laboratorio.

Las muestras se deberán obtener en contenedores no absorbentes (buguis o carretilla), con un mínimo de 28 litros, o lo suficiente para la elaboración de muestras para el ensayo de resistencia, temperatura, peso unitario. Las muestras deberán ser remezcladas con una lampa para homogenizar y uniformizar su contenido previo a los ensayos.

Los ensayos de temperatura y peso unitario se realizarán dentro de los 5 minutos siguientes luego de obtenida la muestra.

El moldeo de las probetas se realizará dentro de los 15 minutos después de obtenida la muestra, en un ambiente protegido del sol directo, del viento y de agentes de contaminación.

## Figura 27

*Concreto fresco*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **b) Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco NTP 339.230 (ASTM C1688)**

Con la ayuda de un recipiente de medida estándar, con capacidad de  $7.0 \text{ l} \pm 0.6 \text{ l}$ , mismo del equipo medidor de aire, y con un martillo Próctor estándar, se consolidará una muestra de concreto permeable fresco de la siguiente manera: (44)

- Se deberá colocar el concreto en 2 capas con la ayuda de un cucharón asegurando una buena distribución dentro del recipiente.
- Se procederá a consolidar dejando caer el martillo 20 veces por capa, distribuyendo de manera uniforme la compactación.
- Luego de la consolidación, se deberá nivelar con la ayuda de una plancha eliminando el exceso, si lo hubiera. Una vez se obtenga una superficie plana se considerará terminada la nivelación.

- A continuación, se limpiará el concreto adherido al exterior del recipiente y se pesará en una balanza calibrada.

Para el cálculo de la densidad (peso unitario) se usará la siguiente fórmula:

$$D = \frac{Mc - Mm}{Vm}$$

Donde:

Mc = Masa del recipiente lleno con concreto

Mm = Masa del recipiente de medida

Vm = Volumen del recipiente

Se deberá calcular la densidad teórica con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Ms = Masa de los materiales mezclados

Vs = Volumen de los materiales mezclados

Para el cálculo de contenido de vacío utilizaremos:

$$U = \frac{T - D}{T} \times 100$$

Donde:

T = densidad teórica

D = densidad o peso unitario

## Figura 28

*Obtención de la densidad*



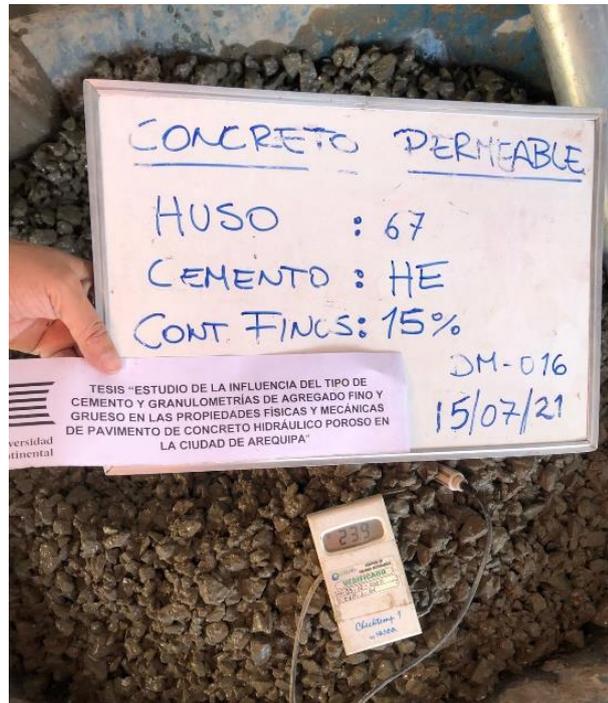
Fuente: Elaboración propia.

### **c) Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto NTP 339.184 (ASTM C1064)**

- Una vez retirada la mezcla de concreto fresco del trompo, procedemos a realizar la medición de temperatura. (45)
- Introducimos un termómetro en el concreto y el sensor debe quedar sumergido como mínimo 75 mm y se debe rodear del concreto el termómetro para que no afecte la temperatura del ambiente.
- Se deja el termómetro en el concreto por un tiempo mínimo de 2 minutos y máximo 5 minutos.
- Luego se registra la temperatura con una precisión de 0.5 °C.
- La temperatura del concreto no debe ser menor a 6 °C ni mayor a los 32 °C.

## Figura 29

*Temperatura del concreto*



Fuente: Elaboración propia.

### d) Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio NTP

#### 339.183

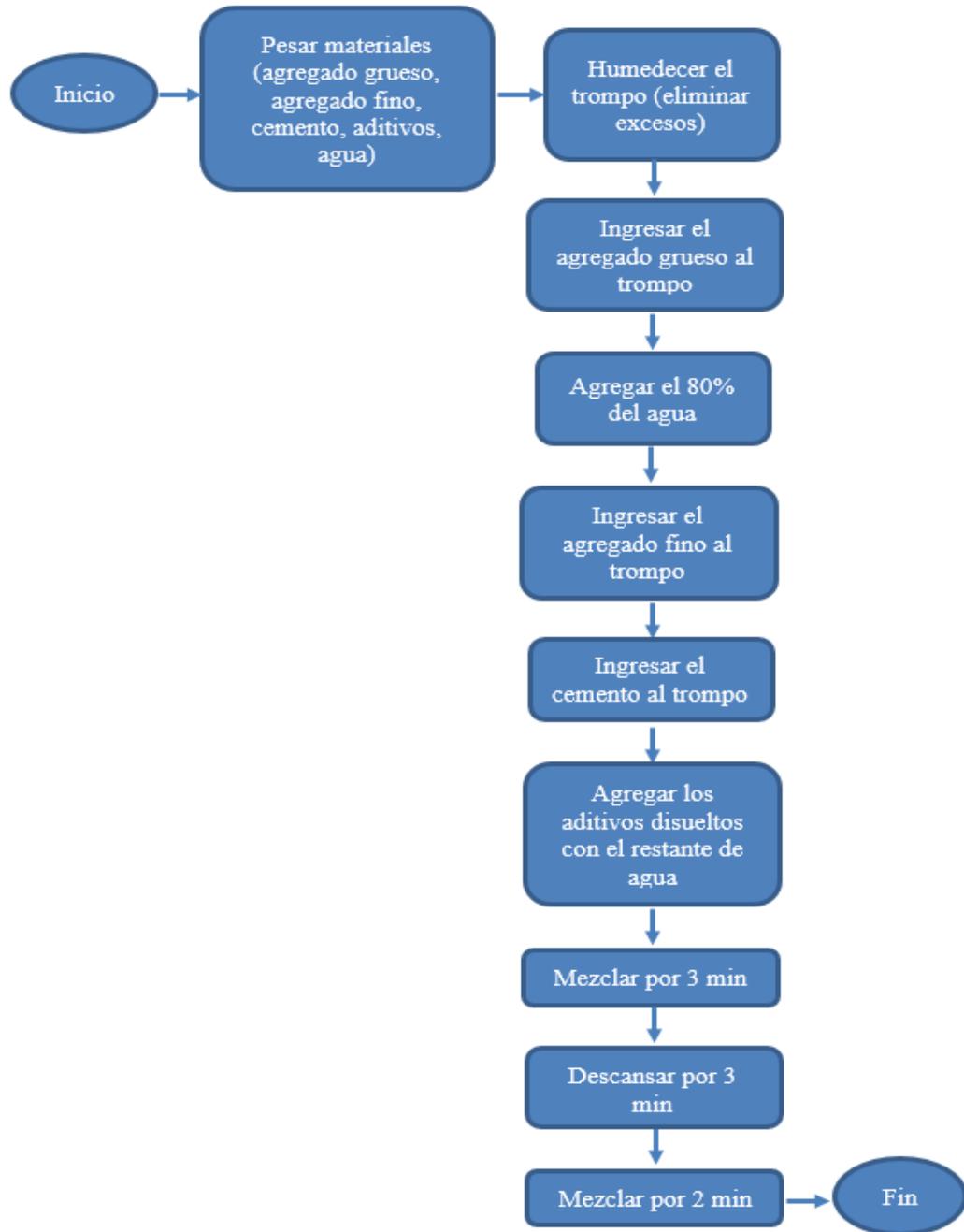
Para iniciar el proceso de la ejecución del diseño, previamente se pesan todos los materiales a utilizar, cuidando la evaporación del agua presente en los materiales (25).

Antes de iniciar con la rotación del trompo se coloca el agregado grueso con una parte de agua de la mezcla y se inicia el mezclado, seguidamente se adiciona el agregado fino, el cemento y, por último, el agua mezclada con el aditivo. Los materiales se mezclarán en el trompo por un tiempo de 3 minutos, se descansa 3 minutos y 2 minutos más de mezclado.

La figura 30 nos muestra la secuencia de la elaboración del diseño de mezcla realizado en laboratorio.

**Figura 30**

*Flujograma de la secuencia de la elaboración de los diseños de mezcla en laboratorio*



**Fuente:** Elaboración propia.

Luego de obtenida la mezcla, se vierte en un recipiente (bugui), cuya superficie ha sido humedecida para impedir que absorba agua de la mezcla, evitando una desecación rápida. Una vez realizados los ensayos establecidos en el concreto fresco, se procede a elaborar las muestras determinadas (probetas cilíndricas, vigas y losas).

Los moldes cilíndricos, los moldes tipo viga y los moldes para las losas, deberán estar revestidos con aditivo desmoldante previo a su uso.

El llenado de los moldes cilíndricos, tanto de 6"x12" como de 4"x8", se realiza en 2 capas y las muestras tipo vigas en una sola capa con ayuda de un cucharón grande previamente humedecido, teniendo en cuenta que la muestra debe repartirse en todo el molde, lo más uniforme posible.

Luego de cada capa, se debe compactar el concreto, en esta investigación y de acuerdo con lo descrito en la norma, se utilizó una mesa vibradora (vibración externa) aplicándola en intervalos de 5 segundos por capa, los cuales fueron suficientes para la compactación del material, seguidamente se termina de completar en caso faltase mezcla y se procede a enrazar con una plancha previamente humedecida, evitando la variación superficial en más de 3 mm.

Para las losas se llenó el molde de madera con ayuda de una pala, distribuyendo el material de manera homogénea, y la compactación del concreto se hizo con ayuda del martillo Proctor estándar; repartiendo 50 golpes en toda la superficie se completó con material en los espacios faltante para enrazar con una plancha sin presionar, solo extrayendo el material sobrante.

Las probetas cilíndricas son curadas inicialmente en cajas adiabáticas de tecnopor, los moldes viga y losa fueron cubiertos con lonas para evitar su evaporación y choque térmico. Luego de las 24 horas fueron desmoldadas, rotuladas y depositadas en la poza de curado hasta su edad de rotura y ensayo; la temperatura de la poza se encuentra en  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  conforme a norma.

En la figura 32 se diagrama la secuencia de la elaboración de las muestras, una vez culminado el proceso de mezclado de los materiales en el trompo, es decir, una vez que ya se realizó el diseño.

### **Figura 31**

*Poza de curado*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 32**

*Flujograma de la secuencia de la elaboración de especímenes en laboratorio*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.4.3.4. Ensayos en estado endurecido del concreto poroso

La norma técnica CE.010 “Pavimentos Urbanos”, indica que la resistencia a la flexión o módulo de rotura se verificará a los 28 días para los pavimentos de concreto hidráulico, en esta investigación y para efectos únicos de la realización de las gráficas de evolución de la resistencia a la compresión y módulo de rotura, se ha considerado la edad de ensayo de los testigos descritos en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Edad de rotura de los testigos*

<b>Testigos tipo</b>	<b>Edad de rotura (días)</b>
Probetas cilíndricas	3, 7, 14 y 28
Viga	7 y 28

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **a) Resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas NTP 339.034 (ASTM C39)**

Luego de haber curado los especímenes cilíndricos por el tiempo correspondiente a cada edad, se procederá a sacar las probetas del agua con el cuidado de no golpearlas y procurando ensayarlas de acuerdo a lo indicado a la norma, es decir, en condiciones húmedas. Previo a su ensayo se pesan y toman las medidas de los diámetros y altura con la ayuda de un vernier, consignando la información en el formato digital correspondiente. Las probetas se colocan dentro de discos metálicos provistos de neoprenos y se colocan en el plato de la prensa, alineándolo conforme a las marcas con las que cuenta el equipo para que el ensayo sea el correcto.

Para la ejecución de este ensayo se utilizará una prensa automática de la marca MATEST, la cual aplicará una carga continua de compresión axial a los cilindros

elaborados a la velocidad de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s, es decir, no habrá influencia de quien manipule la prensa, ejerciendo presión hasta que se produzca la falla en los testigos, tomando en cuenta las tolerancias según la edad de ensayo de acuerdo con la tabla 13.

**Tabla 13**

*Edad de rotura de los testigos*

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia permisible</b>
24 h	$\pm 0.5$ h o 2.1%
3 d	$\pm 2$ h o 2.8%
7 d	$\pm 6$ h o 3.6%
28 d	$\pm 20$ h o 3.0%
90 d	$\pm 48$ h o 2.2%

**Fuente:** NTP 339.034

La resistencia se calcula en base a la carga máxima alcanzada en el ensayo dividida entre el área de la sección transversal de los cilindros.

Se calcula usando la siguiente formula:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Donde:

f'c = Resistencia a la compresión

F = Carga máxima aplicada

A = Área de la probeta

**Figura 33**

*Ensayo de resistencia a la compresión*



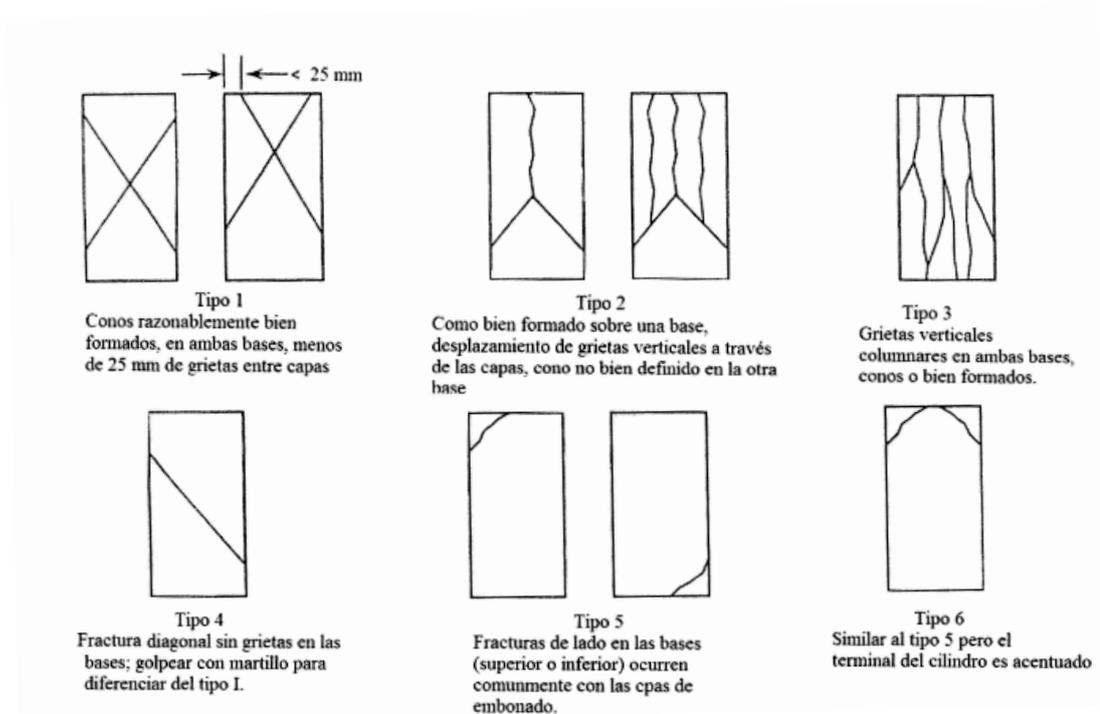
**Fuente:** Elaboración propia.

Asimismo, se anota el tipo de fractura y alguna observación adicional si la hubiera. La información recolectada será utilizada para la emisión de los informes y certificados de calidad por parte del laboratorio.

En la figura 34 se detallan los tipos de fracturas de probetas cilíndricas.

## Figura 34

### *Tipos de fracturas de probetas cilíndricas*



Fuente: NTP 339.034.

### **b) Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo NTP 339.078 (ASTM C78)**

De la misma manera que para el ensayo de resistencia a la compresión, luego de que cada espécimen cumpliera su edad en la poza de curado, se retira con cuidado de no provocar alguna fisura o de fracturar la muestra. El espécimen será ensayado lo más pronto posible luego de ser retirado de su curado, es decir, en condiciones húmedas.

Para hallar la resistencia a la flexión se aplicará una carga en los tercios de la luz del espécimen tipo viga hasta que se presente la falla. En el caso de vigas moldeadas, se realizará el ensayo en la cara siguiente respecto a la posición de elaboración.

El módulo de rotura del concreto se calculará con las siguientes fórmulas:

Si la falla ocurre en el tercio medio de la luz se usará:

$$MR = \frac{P L}{b \times h^2}$$

Donde:

MR = Módulo de Rotura, en kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga máxima de rotura, en kg

L = Luz libre entre apoyos, en cm

b = Ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h = Altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor a 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calculará con la fórmula:

$$MR = \frac{3 P a}{b \times h^2}$$

Donde:

a = Distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm

### Figura 35

*Ensayo de resistencia a la flexión*



Fuente: Elaboración propia.

### c) Ensayo de Permeabilidad (ACI 522R-10)

Para este ensayo se necesita un permeámetro de cabeza descendente simple, el cual es un equipo que nos permite medir la permeabilidad del concreto poroso y para su uso encontraremos todas las pautas a seguir en el ACI 522R-10.

Como primer paso marcaremos las probetas para cortarlas y que tengan una medida de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura.

Luego envolveremos con plástico film los testigos cilíndricos de concreto poroso y los colocaremos en el permeámetro de cabeza descendente.

Luego pondremos el cilindro de acrílico graduado encima del testigo, el cual sellaremos con las abrazaderas para tenerlos fijados y no perder agua.

Saturamos el testigo con agua hasta que esta salga por las tuberías finales.

Cerramos la válvula y llenamos de agua hasta una altura h1 de 29 cm.

Con la ayuda de un cronometro tomaremos el tiempo que demora en descender el agua hasta una altura h2 de 7 cm.

La permeabilidad se calcula aplicando:

$$K = \frac{A}{t}$$

Donde:

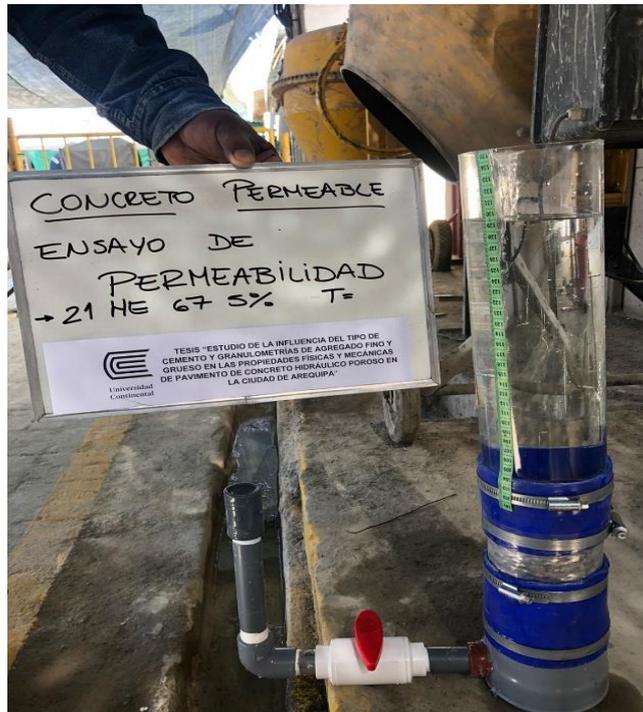
K = coeficiente de permeabilidad en cm/s

A = constante igual a 192 en mm

t = tiempo que tarda el agua en ir de h1 a h2 en s

## Figura 36

### Ensayo de permeabilidad



Fuente: Elaboración propia.

#### d) Método de prueba estándar para la tasa de infiltración para concreto poroso (ASTM C1701)

Se empleará un anillo de infiltración cilíndrico de 30 cm de diámetro, este debe ser de un material rígido, el cual no debe deformarse al momento de hacer el ensayo, en el interior del anillo se deben marcar dos líneas en la parte inferior y a una distancia de 10 mm y 15 mm.

Luego se aplicará masilla en el borde inferior y por fuera del anillo, sellando y fijándolo por un momento a las losas de concreto poroso.

Luego se tiene que humedecer dentro del anillo con agua y en 2 minutos máximo se vierte agua previamente ya pesada.

Al agregar el agua se debe mantener a una velocidad constante, fijándose en que no sobrepase las dos líneas marcadas hasta que se utilice toda.

Se debe tomar el tiempo con el cronometro tan pronto como se inicia el vaciado del agua en el anillo y se debe detener apenas toda se haya infiltrado en la losa concreto poroso.

La tasa de infiltración se calcula aplicando:

$$I = \frac{K \times M}{D^2 \times t}$$

Donde:

I = tasa de infiltración en mm/h

M = masa de agua infiltrada en kg

D = diámetro interior del anillo de infiltración en mm

T = tiempo que demora para medir la cantidad de agua que se infiltra en el concreto poroso en s

K = 4 583 666 000 en unidades del SI

### Figura 37

*Ensayo para determinar la tasa de infiltración de agua*



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.3.5. Análisis estadístico

El comité ACI 214, denominado “Prácticas recomendadas para la evaluación de resultados de ensayos de concretos”, considera las siguientes medidas de dispersión para el análisis estadístico de los resultados de los ensayos de compresión, flexión, permeabilidad e infiltración.

#### a) Media aritmética

Es el valor promedio de los valores logrados en cada ensayo, se consiguen sumando todos los valores y dividiendo por el número total de datos, es decir:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$\bar{x}$  = Media aritmética.

$\Sigma$  = Sumatoria.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto

$n$  = Tamaño de la muestra.

#### b) Desviación estándar

Esta medida nos da como resultado un valor que representa la diferencia promedio entre los datos y la media. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

#### c) Varianza

Medida de dispersión que mide la diferencia promedio entre cada valor respecto a su media. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$\bar{x}$  =Media aritmética.

$\Sigma$  = Sumatoria.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra

#### **d) Coeficiente de variación**

Medida sin unidades, permite comparar la dispersión entre conjuntos de datos con diferentes unidades o medias. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

$\bar{x}$  =Media aritmética

DS = Desviación estándar

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

#### 4.1.1. Caracterización de los materiales

##### 4.1.1.1. Características del agregado fino

En la tabla 14 se resume las características de los ensayos realizados al agregado fino.

**Tabla 14**

*Caracterización del agregado fino*

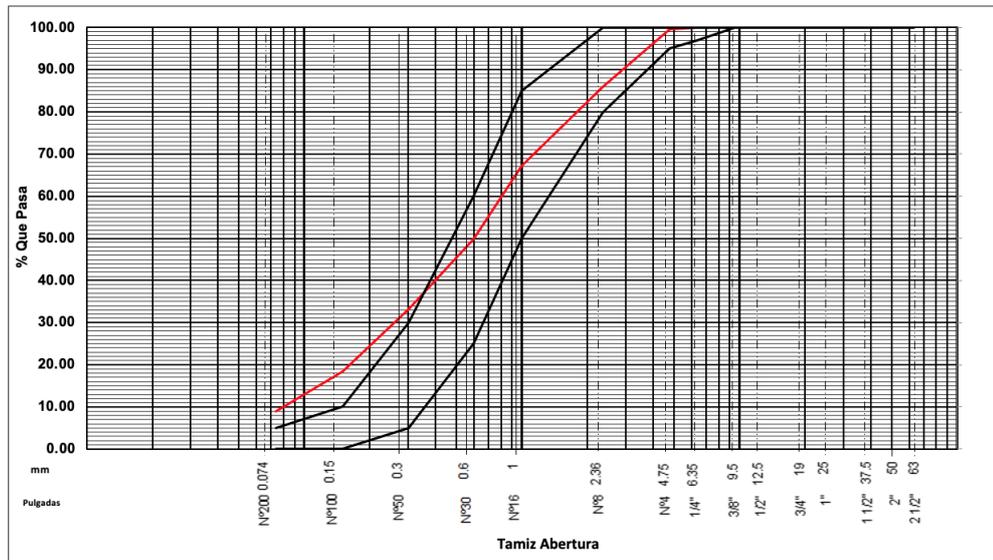
ENSAYO	VALOR	UNIDAD	NORMA DE REF.
Módulo de finura	2.46	-	NTP 400.012
Peso específico (SSS)	2618	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.022
Peso unitario compactado	1885	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.017
Peso unitario suelto	1680	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.017
Absorción	2.1	%	NTP 400.022
Humedad	0.6	%	NTP 339.185
Pasante malla N° 200	10.08	%	NTP 400.018

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 38 se observa la gráfica de la granulometría del agregado fino.

**Figura 38**

*Curva granulométrica del agregado fino*



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.1.2. Características de la Piedra Huso 67

En la tabla 15 se resume las características de los ensayos realizados al agregado grueso de huso 67 (3/4”).

**Tabla 15**

*Caracterización del Agregado Grueso H67*

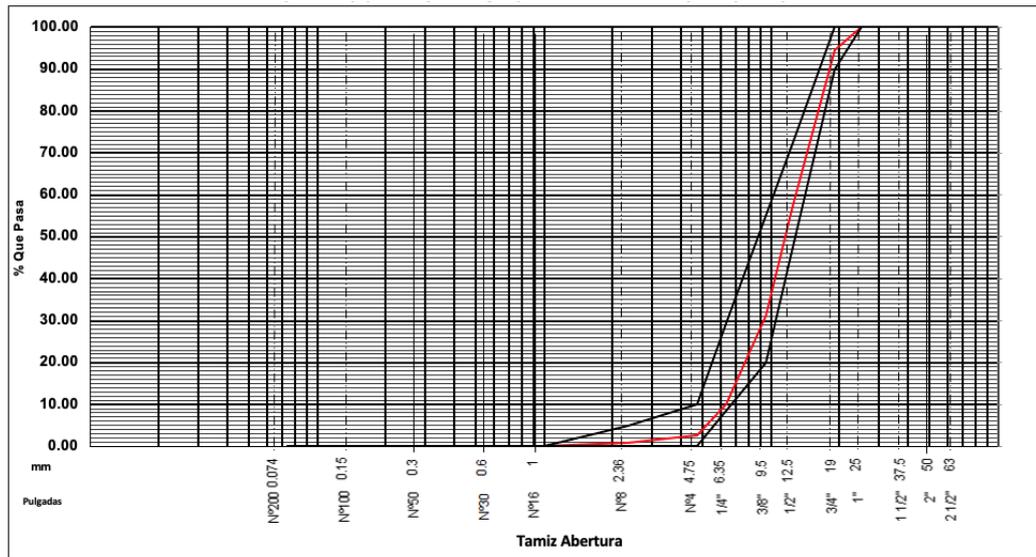
ENSAYO	VALOR	UNIDAD	NORMA DE REF.
Módulo de finura	6.71	-	NTP 400.012
Peso específico (SSS)	2750	kg/m3	NTP 400.021
Peso unitario compactado	1650	kg/m3	NTP 400.017
Peso unitario suelto	1450	kg/m3	NTP 400.017
Absorción	0.88	%	NTP 400.021
Humedad	0.2	%	NTP 339.185
Pasante malla Nº 200	0.62	%	NTP 400.018

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 39 se observa la gráfica de la granulometría del agregado grueso huso 67.

**Figura 39**

*Curva granulométrica del agregado grueso huso 67*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.1.3. Características de la piedra huso 7

En la tabla 16 se resume las características de los ensayos realizados al agregado grueso de huso 7 (1/2").

**Tabla 16**

*Caracterización del Agregado Grueso H7*

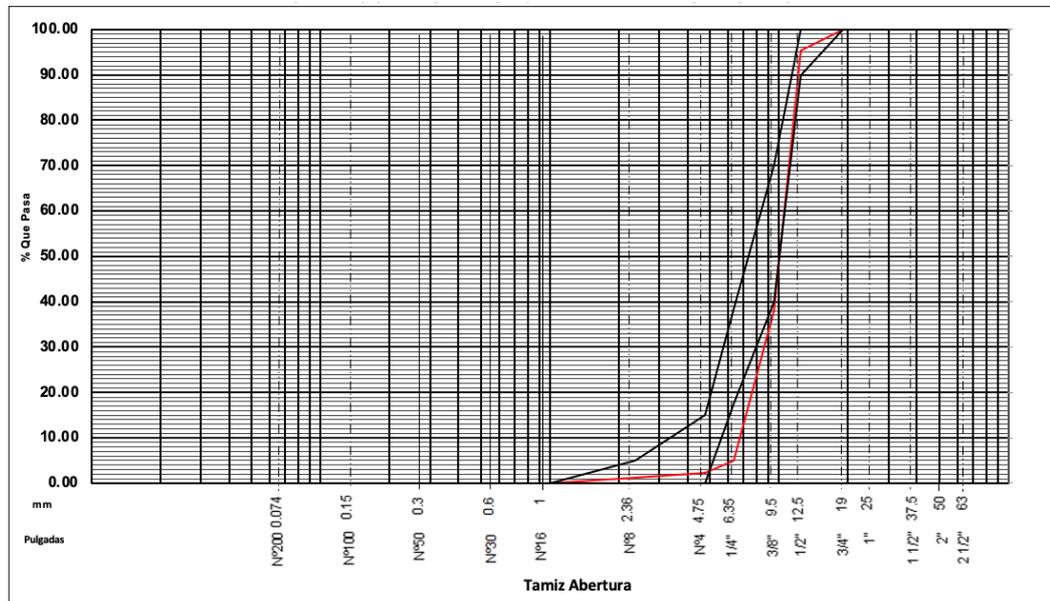
ENSAYO	VALOR	UNIDAD	NORMA DE REF.
Módulo de finura	6.28	-	NTP 400.012
Peso específico (SSS)	2735	kg/m3	NTP 400.021
Peso unitario compactado	1565	kg/m3	NTP 400.017
Peso unitario suelto	1428	kg/m3	NTP 400.017
Absorción	0.97	%	NTP 400.021
Humedad	0.36	%	NTP 339.185
Pasante malla N° 200	0.64	%	NTP 400.018

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 40 vemos la gráfica de la granulometría del agregado grueso huso 7.

**Figura 40**

*Curva granulométrica del agregado grueso huso 7*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.1.4. Características de la piedra huso 89

En la tabla 17 se resume las características de los ensayos realizados al agregado grueso de huso 89 (3/8”).

**Tabla 17**

*Caracterización del agregado grueso H89*

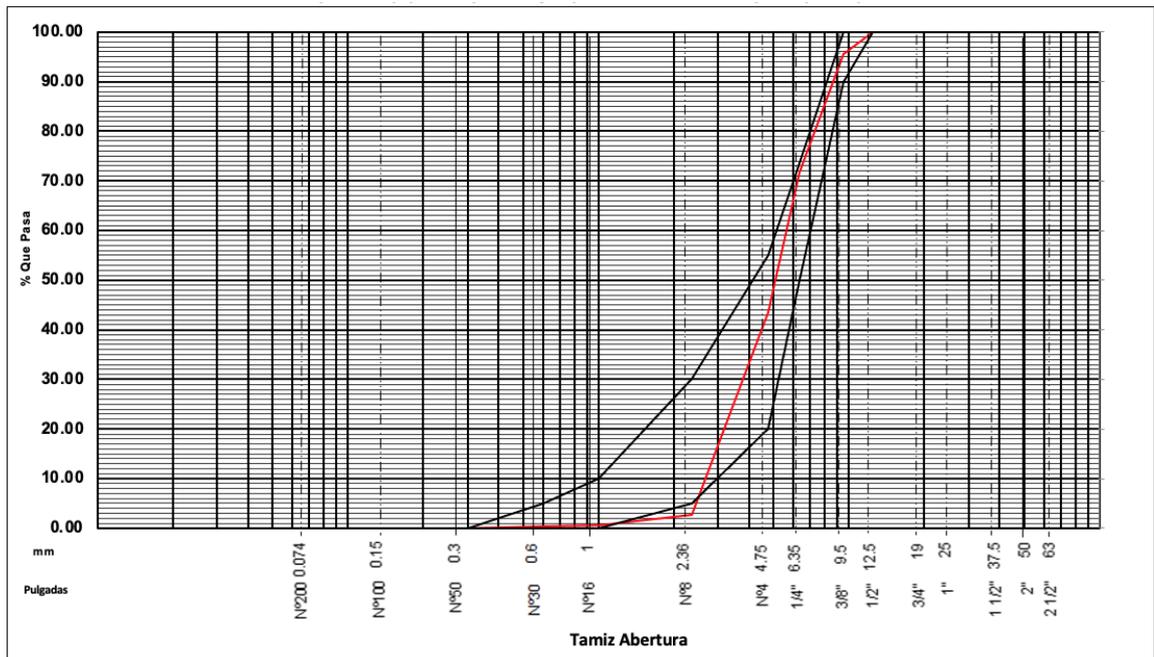
ENSAYO	VALOR	UNIDAD	NORMA DE REF.
Módulo de finura	5.57	-	NTP 400.012
Peso específico (SSS)	2719	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.021
Peso unitario compactado	1688	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.017
Peso unitario suelto	1524	kg/m <sup>3</sup>	NTP 400.017
Absorción	0.94	%	NTP 400.021
Humedad	0.2	%	NTP 339.185
Pasante malla N° 200	0.83	%	NTP 400.018

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 41 vemos la gráfica de la granulometría del agregado grueso huso 89.

**Figura 41**

*Curva granulométrica del agregado grueso huso 89*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.1.1.5. Diseño de mezclas patrón**

Se tomará como base un diseño de mezclas patrón, conformado por los insumos más usados en la zona, a partir del cual se obtendrán por el reemplazo de los insumos, diferentes mezclas para su correcta comparación y análisis.

Se realizó el diseño de mezclas patrón considerando las pautas especificadas en el reporte del ACI 522R-10 (12) con las características obtenidas de los agregados ensayados consignados en la tabla 18.

**Tabla 18***Resumen de las características de todos los agregados*

Material	Huso	Peso	Peso Unitario	Peso Unitario	Absorción	Humedad
		Específico (kg/m <sup>3</sup> )	Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	Suelto (kg/m <sup>3</sup> )		
Agregado Grueso	H89	2719	1688	1524	0.94	0.2
	H7	2735	1565	1428	0.97	0.3
	H67	2750	1650	1450	0.88	0.2
Agregado Fino	Arena	2618	1885	1680	2.10	0.6

**Fuente:** Elaboración propia

Y con las características de los demás materiales a utilizar que se muestran en la tabla 19.

**Tabla 19***Características del cemento y agua*

Material	Tipo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento Yura	IP	2800
	HE	3000
Agua	-	1000

**Fuente:** Elaboración propia

Además de la información de los agregados es necesario establecer algunos valores de entrada con las gráficas propuestas en el ACI 522R-10. Con las figuras 25 y 26 obtenemos valores de contenido de aire y relación agua - cemento para un valor de entrada correspondiente a 3000 psi, que corresponde a una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, consideramos una relación a/c de 0.40 y un contenido de aire de 18%.

Considerando que en esta investigación analizaremos la influencia de la granulometría de los agregados, cantidad de agregado fino (5% y 15%) y del tipo de cemento en las propiedades del concreto poroso, necesitamos obtener un diseño patrón que se usará como base, el cual será calculado con agregado huso 67 y cemento tipo IP, que son los materiales más comerciales en la zona.

Para el cálculo de las proporciones del diseño es necesario hallar por interpolación los valores  $b/b_0$  para 5% y 15% de finos basándonos en los valores de la tabla 20 del ACI 522R-10:

**Tabla 20**

*Valores de  $b/b_0$*

Porcentaje de agregado fino	$b/b_0$	
	N° 8	N° 67
<b>0</b>	<b>0.99</b>	<b>0.99</b>
5		0.96
<b>10</b>	<b>0.93</b>	<b>0.93</b>
15		0.90
<b>20</b>	<b>0.85</b>	<b>0.86</b>

**Fuente:** Modificado de ACI 522R-10

Hallamos la masa del agregado:

$$Masa\ del\ Agregado = PUC \times \frac{b}{b_0} \times (1 + \%abs)$$

$$Masa\ del\ Agregado = 1650 \times 0.96 \times 1.0088$$

$$Masa\ del\ Agregado = 1597.94\ kg$$

De acuerdo con el reporte del ACI 522R-10, el contenido de agregado fino se calcula en porcentaje de la masa total del agregado, por lo tanto:

**Tabla 21**

*Contenido de agregado*

Porcentaje de Agregado Fino	Contenido de agregado en kg		Agregado Total (kg)
	Agregado Fino	Agregado Grueso	
5%	79.90	1518.04	1597.94
15%	239.69	1358.25	1597.94

**Fuente:** Elaboración propia.

Para el diseño patrón, trabajaremos con el 5% de agregado fino. Hallamos los volúmenes de los agregados

$$Vol\ agregado = \frac{masa}{densidad}$$

$$Vol\ agregado\ grueso = 0.5520\ m^3$$

$$Vol\ agregado\ fino = 0.0305\ m^3$$

El volumen de la pasta:

$$V_p = vol\ cemento + volumen\ agua$$

$$V_p = \frac{masa\ cemento}{densidad\ cemento} + \frac{masa\ agua}{densidad\ agua}$$

Teniendo en cuenta el siguiente artificio:

$$Agua = \frac{agua}{cemento} \times cemento$$

$$V_p = \frac{cemento}{densidad\ cemento} + \frac{\frac{agua}{cemento} \times cemento}{densidad\ agua}$$

La cantidad de cemento se hallará de la siguiente manera:

$$c = \frac{V_p}{\frac{1}{\text{dens cem}} + \frac{a/c}{\text{dens agua}}}$$

De las pruebas preliminares se vio por conveniente el uso de aditivos (plastificante y retardante), en esta investigación se considerará:

**Tabla 22**

*Características del aditivo*

<b>Material</b>	<b>Tipo</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>% de Uso</b>
Neoplast 8500 - QSI	Aditivo Plastificante	1101	0.27
Euco WR 75 - QSI	Aditivo Retardante	1156	0.30

**Fuente:** Elaboración propia

El volumen de pasta se considera restando de la unidad de 1 m<sup>3</sup> el volumen de agregados, aire y aditivos:

$$c = \frac{(1 - (0.583 + 0.18 + 0.0057))}{\frac{1}{2800} + \frac{0.4}{1000}}$$

$$c = 306.11 \text{ kg}$$

De acuerdo con el ACI 522R-10, la cantidad de cemento se reducirá cuando se incorpore agregado fino a la razón de 1% por cada 10% de agregado fino del total de agregado, en este caso al adicionar 5% de agregado fino, la cantidad de cemento se ve afectada por el 0.5%, teniendo la nueva masa de cemento:

$$c = 306.11 \times 0.995 = 304.58 \text{ kg}$$

$$V_{\text{cemento}} = \frac{304.58}{2800} = 0.1088 \text{ m}^3$$

Con la cantidad de cemento resultante, hallamos la cantidad de agua del diseño:

$$\text{Agua} = 0.4 \times 304.58 = 121.83 \text{ l}$$

$$V_{\text{agua}} = 0.1218 \text{ m}^3$$

Hallamos las cantidades de aditivo a partir de los datos de la tabla 22:

Plastificante:

$$Padplas = 0.0027 \times 304.58$$

$$Padplas = 0.8224 \text{ kg}$$

$$Vadplas = \frac{0.8224}{1.1} / 1000 = 0.0007 \text{ m}^3$$

Retardante:

$$Padret = 0.003 \times 304.58$$

$$Padret = 0.9137 \text{ kg}$$

$$Vadret = \frac{0.9137}{1.15} / 1000 = 0.0008 \text{ m}^3$$

Verificamos los volúmenes respecto a la unidad:

### Tabla 23

*Verificación del volumen*

V cemento	0.1088 m <sup>3</sup>
V agua	0.1218 m <sup>3</sup>
V agregado grueso	0.5520 m <sup>3</sup>
V agregado fino	0.0305 m <sup>3</sup>
V aditivos	0.0015 m <sup>3</sup>
<b>V total</b>	<b>0.8146 m<sup>3</sup></b>

**Fuente:** Elaboración propia

El faltante para la unidad de 1 m<sup>3</sup>, corresponde al porcentaje de aire o vacíos tomado como valor inicial de 18%, que por cálculo de acuerdo con los valores de volúmenes asciende a 0.1854 m<sup>3</sup>.

A efectos de cumplir con el objetivo de estudio de la presente investigación, el porcentaje de 15% de agregado fino se calculará en base al total del agregado hallado en la primera parte del diseño, sin tomar en cuenta la reducción de la cantidad del cemento recomendada por el ACI 522R-10, ya que tendríamos valores diferentes de cemento, y la influencia del tipo de cemento es uno de los objetivos de estudio.

**Tabla 24***Mezclas finales para concreto poroso*

<b>Código</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Cemento IP</b>	<b>Cemento HE</b>	<b>H67</b>	<b>H7</b>	<b>H89</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agua</b>	<b>Aditivo Plastificante</b>	<b>Aditivo Retardante</b>
DCP-01	21 MPa IP 67 5%	304.58		1518.04			79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-02	21 MPa IP 67 15%	304.58		1358.25			239.69	121.83	0.8224	0.9137
DCP-03	21 MPa HE 67 5%		304.58	1518.04			79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-04	21 MPa HE 67 15%		304.58	1358.25			239.69	121.83	0.8224	0.9137
DCP-05	21 MPa IP 7 5%	304.58			1518.04		79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-06	21 MPa IP 7 15%	304.58			1358.25		239.69	121.83	0.8224	0.9137
DCP-07	21 MPa HE 7 5%		304.58		1518.04		79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-08	21 MPa HE 7 15%		304.58		1358.25		239.69	121.83	0.8224	0.9137
DCP-09	21 MPa IP 89 5%	304.58				1518.04	79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-10	21 MPa IP 89 15%	304.58				1358.25	239.69	121.83	0.8224	0.9137
DCP-11	21 MPa HE 89 5%		304.58			1518.04	79.90	121.83	0.8224	0.9137
DCP-12	21 MPa HE 89 15%		304.58			1358.25	239.69	121.83	0.8224	0.9137

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizarán un total de 3 repeticiones de cada uno, teniendo un total de 36 combinaciones de mezclas.

Se extraerán un total de 288 probetas de 6" x 12" (15x30 cm), 36 probetas de 4" x 8" (10x20 cm), 72 vigas y 36 losas.

## 4.1.2. Resultados

### 4.1.2.1. Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco

En la tabla 25 se presentan los resultados de los ensayos realizados en el concreto en estado fresco, como son: temperatura del concreto y peso unitario, del cual se halla la densidad y contenido de aire conforme a la NTP 339.230.

**Tabla 25**

*Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco*

CÓDIGO DE MEZCLA	DESCRIPCIÓN	Temperatura concreto (°C)	Peso unitario (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Aire %
DCP - 001	210 IP 67 5% FINO	20.0	15706	1732.07	17.63
DCP - 002	210 HE 67 5% FINO	26.0	17560	1993.79	17.54
DCP - 003	210 IP 67 15% FINO	22.8	17190	1941.56	7.31
DCP - 004	210 HE 67 15% FINO	24.0	18400	2112.37	8.39
DCP - 005	210 IP 7 5% FINO	18.1	16758	1880.58	10.19
DCP - 006	210 HE 7 5% FINO	22.8	17044	1920.95	13.92
DCP - 007	210 IP 7 15% FINO	23.1	17446	1977.70	5.23
DCP - 008	210 HE 7 15% FINO	23.4	17650	2006.49	2.85
DCP - 009	210 IP 89 5% FINO	20.9	16214	1803.78	13.46
DCP - 010	210 HE 89 5% FINO	25.4	16554	1851.78	10.08
DCP - 011	210 IP 89 15% FINO	25.6	17104	1929.42	7.16
DCP - 012	210 HE 89 15% FINO	21.8	17122	1931.96	7.04
DCP - 013	210 IP 67 5% FINO	19.0	15928	1763.41	15.36
DCP - 014	210 HE 67 5% FINO	22.7	16796	1885.94	17.02
DCP - 015	210 IP 67 15% FINO	24.4	17684	2011.29	9.90
DCP - 016	210 HE 67 15% FINO	23.9	18240	2089.78	6.98
DCP - 017	210 IP 7 5% FINO	18.4	16782	1883.96	9.19
DCP - 018	210 HE 7 5% FINO	21.5	16982	1912.20	8.68
DCP - 019	210 IP 7 15% FINO	23.5	17610	2000.85	3.23
DCP - 020	210 HE 7 15% FINO	23.7	17704	2014.12	3.48
DCP - 021	210 IP 89 5% FINO	18.1	16364	1824.96	11.64
DCP - 022	210 HE 89 5% FINO	20.9	16724	1875.78	10.01
DCP - 023	210 IP 89 15% FINO	23.4	17090	1927.44	6.40
DCP - 024	210 HE 89 15% FINO	24.9	17232	1947.49	6.29
DCP - 025	210 IP 67 5% FINO	19.9	16088	1786.00	14.28
DCP - 026	210 HE 67 5% FINO	22.8	16498	1843.87	12.31
DCP - 027	210 IP 67 15% FINO	24.2	17430	1975.44	7.54
DCP - 028	210 HE 67 15% FINO	24.4	18532	2131.00	5.01
DCP - 029	210 IP 7 5% FINO	23.7	17042	1920.67	7.42
DCP - 030	210 HE 7 5% FINO	23.1	16926	1904.29	9.05
DCP - 031	210 IP 7 15% FINO	26.2	17608	2000.56	3.25

CÓDIGO DE MEZCLA	DESCRIPCIÓN	Temperatura concreto (°C)	Peso unitario (kg)	Densidad (kg/m3)	Aire %
DCP - 032	210 HE 7 15% FINO	26.2	17986	2053.92	4.28
DCP - 033	210 IP 89 5% FINO	18.3	16318	1818.46	11.95
DCP - 034	210 HE 89 5% FINO	19.8	16362	1824.68	12.46
DCP - 035	210 IP 89 15% FINO	21.6	17314	1959.06	4.87
DCP - 036	210 HE 89 15% FINO	24.7	17140	1934.50	6.92

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.2. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (f'c)

La tabla 26 contiene los resultados del ensayo a compresión realizados en probetas cilíndricas de las diferentes mezclas elaboradas en el laboratorio a 3, 7, 14 y 28 días.

**Tabla 26**

*Resultados de ensayos de resistencia a la compresión*

Diseño	3 días		7 días		14 días		28 días	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
21 MPa IP 67 5%	42.39		44.02		45.42		59.23	
	35.56	40.98	62.23	51.56	89.80	61.55	97.9	75.43
	44.98		48.42		49.42		69.17	
21 MPa IP 67 15%	101.76		118.12		120.70		151.36	
	83.20	92.08	144.46	118.73	149.77	131.24	182.75	172.12
	91.28		93.60		123.26		182.24	
21 MPa HE 67 5%	150.95		159.14		210.83		213.36	
	108.79	122.04	135.40	139.82	151.49	163.68	200.87	184.84
	106.37		124.93		128.73		140.29	
21 MPa HE 67 15%	138.23		200.72		222.52		239.99	
	104.91	117.60	165.89	184.06	211.33	207.79	216.00	215.96
	109.67		185.57		189.53		191.88	
21 MPa IP 7 5%	48.11		74.36		86.59		105.75	
	87.13	70.06	103.28	96.12	126.73	109.34	135.44	124.28
	74.94		110.71		114.71		131.66	
21 MPa IP 7 15%	87.15		117.20		127.79		129.17	
	102.82	91.70	152.74	134.47	178.99	152.92	211.98	165.85
	85.13		133.48		151.97		156.4	
21 MPa HE 7 5%	87.15		130.24		130.96		170.09	
	121.98	109.93	162.66	142.77	184.90	156.32	194.5	174.21
	120.67		135.41		153.10		158.04	
	147.59	138.62	128.58	172.51	170.62	199.53	173.86	212.27

Diseño	3 días		7 días		14 días		28 días	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )						
21 MPa HE 7 15%	114.70		182.38		194.50		224.05	
	153.56		206.58		233.46		238.9	
21 MPa IP 89 5%	86.62		116.35		116.13		128.78	
	66.48	74.53	91.32	105.05	102.42	113.13	135.63	137.07
	70.50		107.49		120.85		146.79	
21 MPa IP 89 15%	93.36		118.92		157.18		164.73	
	81.96	102.20	122.88	127.16	142.53	161.26	142.9	166.36
	131.29		139.67		184.08		191.44	
21 MPa HE 89 5%	85.75		124.46		144.48		148	
	83.99	90.68	129.28	127.03	131.88	159.29	143.99	167.43
	102.29		127.34		201.51		210.29	
21 MPa HE 89 15%	133.71		141.86		183.12		188.69	
	106.98	126.77	125.43	148.04	128.60	172.33	143.18	183.36
	139.61		176.84		205.27		218.22	

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto al tipo de fracturas que presentaron las probetas cilíndricas, se observó que las elaboradas con agregado H67 en su mayoría fueron del tipo 2, es decir, presencia de grietas longitudinales en la mayoría del espécimen, algunas pocas del tipo 5 y 6, o sea, fractura en las superficies únicamente.

En cuanto a las probetas conformadas por agregado H7, la mayoría fueron del tipo 5 y 6, es decir, fracturas en las superficies en algunos casos con un cono bien marcado. Para las probetas conformadas por agregado H89, casi el total fueron del tipo 4, es decir, un corte diagonal fracturando la muestra, una minoría fueron del tipo 2, fracturas longitudinales con conos no muy bien definidos.

Algunas de estas fracturas pueden verse en el panel fotográfico de los anexos.

#### **4.1.2.3. Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión (módulo de rotura - MR)**

La tabla 27 exhibe los resultados del ensayo a flexión en vigas realizados en el laboratorio a 7 y 28 días:

**Tabla 27***Resultado de ensayos de resistencia a la flexión (MR)*

Diseño	7 días		28 días	
	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
21 MPa IP 67 5%	18.47	14.27	25.95	21.38
	10.17		15.90	
	14.17		22.30	
21 MPa IP 67 15%	35.17	31.89	46.69	38.84
	29.27		36.04	
	31.22		33.78	
21 MPa HE 67 5%	21.84	20.69	24.37	27.74
	22.00		32.18	
	18.22		26.67	
21 MPa HE 67 15%	38.40	36.29	47.10	49.80
	35.87		48.16	
	34.60		54.13	
21 MPa IP 7 5%	28.54	26.44	35.63	35.02
	26.64		34.62	
	24.13		34.82	
21 MPa IP 7 15%	33.87	35.46	45.21	45.41
	37.00		46.04	
	35.52		44.97	
21 MPa HE 7 5%	26.51	30.77	47.87	40.90
	33.93		37.94	
	31.87		36.89	
21 MPa HE 7 15%	34.83	37.29	47.44	49.89
	38.99		52.26	
	38.04		49.96	
21 MPa IP 89 5%	25.25	23.21	32.21	29.18
	22.40		27.20	
	21.97		28.13	
21 MPa IP 89 15%	32.28	32.27	37.84	40.24
	33.85		42.85	
	30.67		40.02	
21 MPa HE 89 5%	29.21	30.04	36.06	34.58
	32.96		36.07	
	27.95		31.61	
21 MPa HE 89 15%	37.21	38.31	42.12	45.27

Diseño	7 días		28 días	
	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
	40.10		48.01	
	37.62		45.68	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.4. Resultados de los ensayos de permeabilidad

La tabla 28 contiene los resultados del ensayo de permeabilidad realizados en probetas de los diferentes diseños elaborados en el laboratorio.

**Tabla 28**

*Resultados del ensayo de permeabilidad*

Diseño	A (mm)	Tiempo(s)	K(mm/s)	Promedio mm/s
21 MPa IP 67 5%	192	13.62	14.10	14.39
	192	13.30	14.44	
	192	13.12	14.63	
21 MPa IP 67 15%	192	70.60	2.72	2.73
	192	70.92	2.71	
	192	69.60	2.76	
21 MPa HE 67 5%	192	10.50	18.29	18.33
	192	10.43	18.41	
	192	10.49	18.30	
21 MPa HE 67 15%	192	18.60	10.32	10.34
	192	18.39	10.44	
	192	18.70	10.27	
21 MPa IP 7 5%	192	21.13	9.09	9.27
	192	20.72	9.27	
	192	20.33	9.44	
21 MPa IP 7 15%	192	55.32	3.47	3.47
	192	55.47	3.46	
	192	55.16	3.48	
21 MPa HE 7 5%	192	28.17	6.82	6.87
	192	27.90	6.88	
	192	27.80	6.91	
21 MPa HE 7 15%	192	64.27	2.99	2.99
	192	64.40	2.98	
	192	64.12	2.99	

Diseño	A (mm)	Tiempo(s)	K(mm/s)	Promedio mm/s
21 MPa IP 89 5%	192	100.10	1.92	1.93
	192	99.17	1.94	
	192	99.92	1.92	
21 MPa IP 89 15%	192	107.89	1.78	1.80
	192	106.50	1.80	
	192	106.05	1.81	
21 MPa HE 89 5%	192	68.86	2.79	2.79
	192	68.87	2.79	
	192	68.49	2.80	
21 MPa HE 89 15%	192	74.37	2.58	2.59
	192	74.07	2.59	
	192	73.92	2.60	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.5. Resultados de los ensayos para determinar la tasa de infiltración

La tabla 29 contiene los resultados del ensayo de tasa de infiltración realizados en losas de los diferentes diseños elaborados en el laboratorio.

**Tabla 29**

*Resultados del ensayo para determinar la tasa de infiltración*

Diseño	Tiempo (s)	Promedio (s)	Peso agua (kg)	D anillo (mm)	I (mm/h)
21 MPa IP 67 5%	66.05	65.39	12.00	299	9409.42
	64.90				
	65.21				
21 MPa IP 67 15%	418.72	419.18	12.00	299	1467.76
	419.70				
	419.11				
21 MPa HE 67 5%	148.58	146.25	12.00	299	4206.94
	144.79				
	145.37				
21 MPa HE 67 15%	397.68	396.02	12.00	299	1553.58
	392.31				
	398.07				
21 MPa IP 7 5%	274.58	275.50	12.00	299	2233.19
	278.32				
	273.61				

Diseño	Tiempo (s)	Promedio (s)	Peso agua (kg)	D anillo (mm)	I (mm/h)
21 MPa IP 7 15%	447.42	446.92	12.00	299	1376.66
	444.70				
	448.63				
21 MPa HE 7 5%	229.34	228.50	12.00	299	2692.56
	226.51				
	229.65				
21 MPa HE 7 15%	425.00	423.71	12.00	299	1452.04
	421.89				
	424.25				
21 MPa IP 89 5%	117.68	116.16	12.00	299	5296.73
	115.02				
	115.77				
21 MPa IP 89 15%	507.04	506.74	12.00	299	1214.14
	505.38				
	507.79				
21 MPa HE 89 5%	68.55	67.37	12.00	299	9132.41
	66.19				
	67.37				
21 MPa HE 89 15%	122.61	121.60	12.00	299	5059.62
	120.27				
	121.92				

Fuente: Elaboración propia

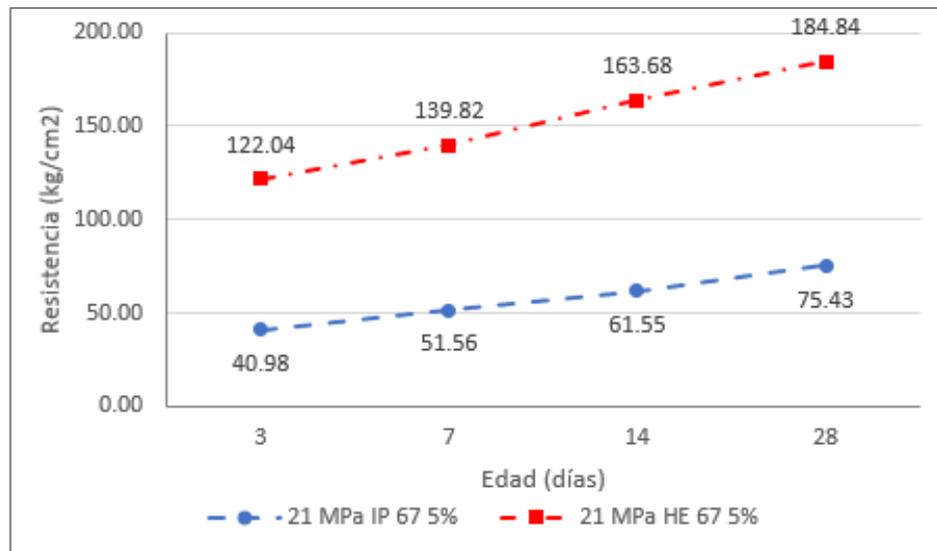
### 4.1.3. Análisis

#### 4.1.3.1. Efecto del tipo de cemento

La figura 42 muestra el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 67 y 5% de agregado fino consignados en la tabla 26. Los resultados indican que para 3, 7, 14 y 28 días, la resistencia a la compresión del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con cemento tipo IP en 109 kg/cm<sup>2</sup>, aproximadamente.

**Figura 42**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h67 5% agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 30**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, del diseño 21 MPa 67 5%*

Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Desviación estándar (kg/cm²)	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 5%	59.23	75.43	20.08	26.62
	69.17			
21 MPa HE 67 5%	213.36	184.84	39.08	21.14
	200.87			
	140.29			

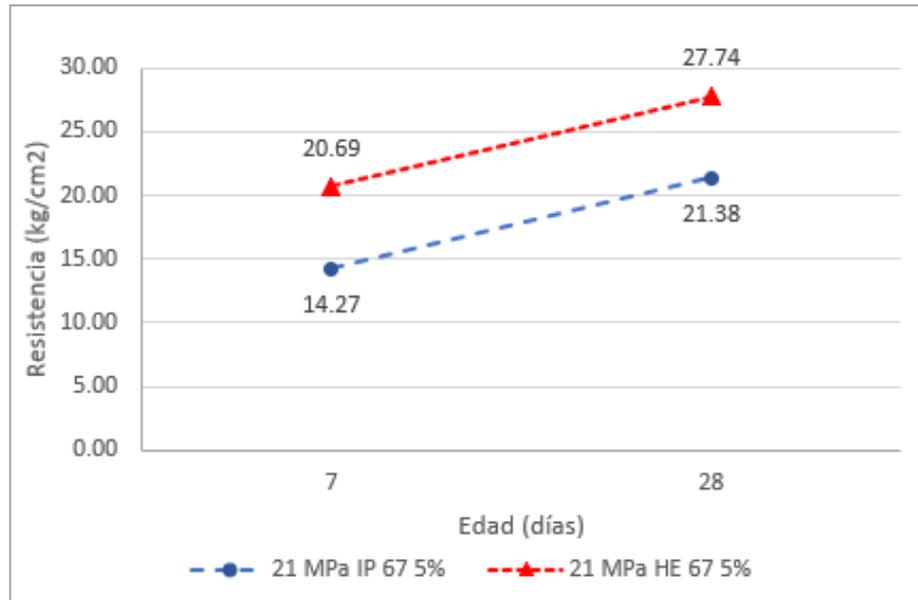
**Fuente:** Elaboración propia

Asimismo, la figura 43 expone el efecto del tipo de cemento en el ensayo a flexión para el diseño de un concreto 21 MPa H67 con 5% de agregado fino. Los resultados

del diseño con cemento tipo HE son en promedio mayores por 6 kg/cm<sup>2</sup> para cada edad.

**Figura 43**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H67 5% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 31**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 67 5%*

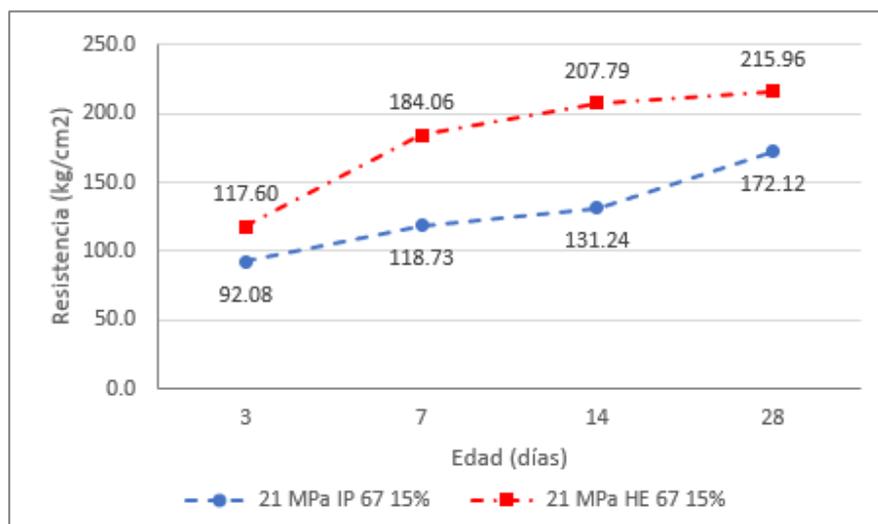
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 5%	25.95	21.38	5.09	23.81
	15.90			
	22.30			
21 MPa HE 67 5%	24.37	27.74	4.01	14.47
	32.18			
	26.67			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 44 revela el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 67 y 15% de agregado fino consignados en la tabla 26. Los resultados indican que para 3, 7, 14 y 28 días, la resistencia a la compresión del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con IP por 43 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 44**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H67 15% agregado fino en ensayo a compresión*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 32**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 67 15%*

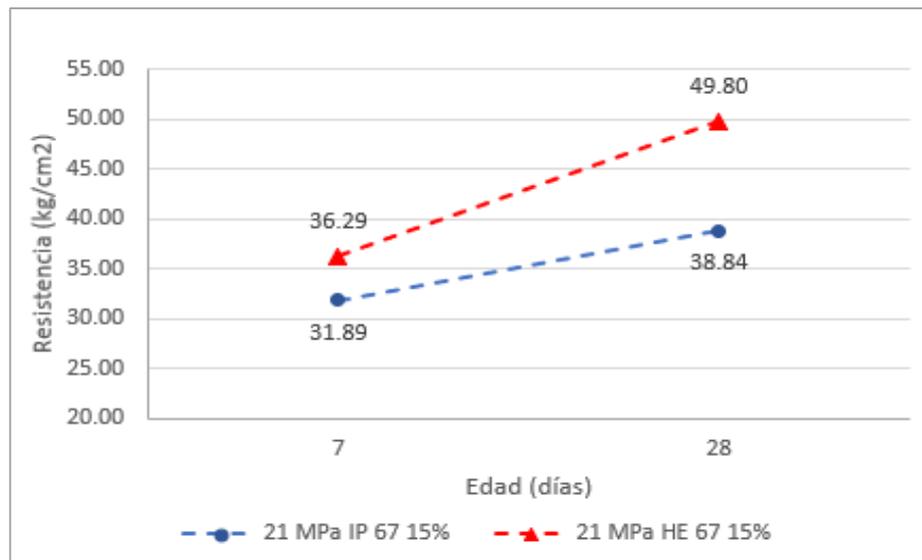
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 15%	151.36	172.12	17.98	10.45
21 MPa HE 67 15%	239.99	215.96	24.06	11.14

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, la figura 45 expone el efecto del tipo de cemento en el ensayo a flexión para el diseño de un concreto 21 MPa H67 con 15% de agregado fino. Los resultados del diseño con cemento tipo HE son en promedio mayores por 10 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días.

**Figura 45**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H67 15% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 33**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 67 15%*

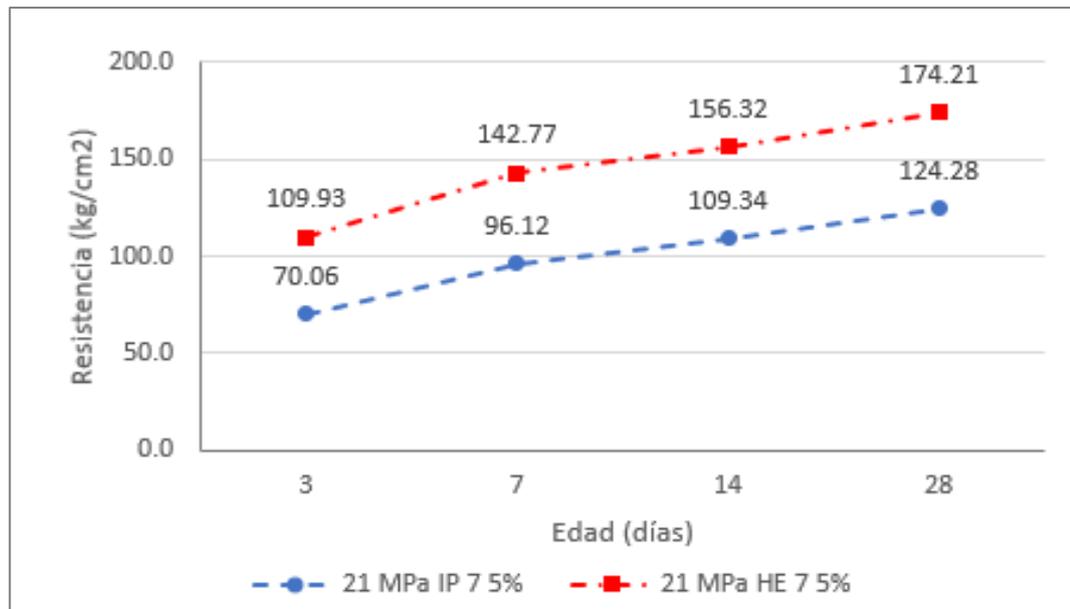
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 15%	46.69	38.84	6.90	17.76
21 MPa HE 67 15%	47.10	49.80	3.79	7.62

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 46 muestra de manera gráfica el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 7 y 5% de agregado fino consignados en la tabla 25. Los resultados indican que, para cualquiera de las edades, la resistencia a la compresión promedio del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con IP por 49 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 46**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 5% agregado fino en ensayo a compresión*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 34**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 7 5%*

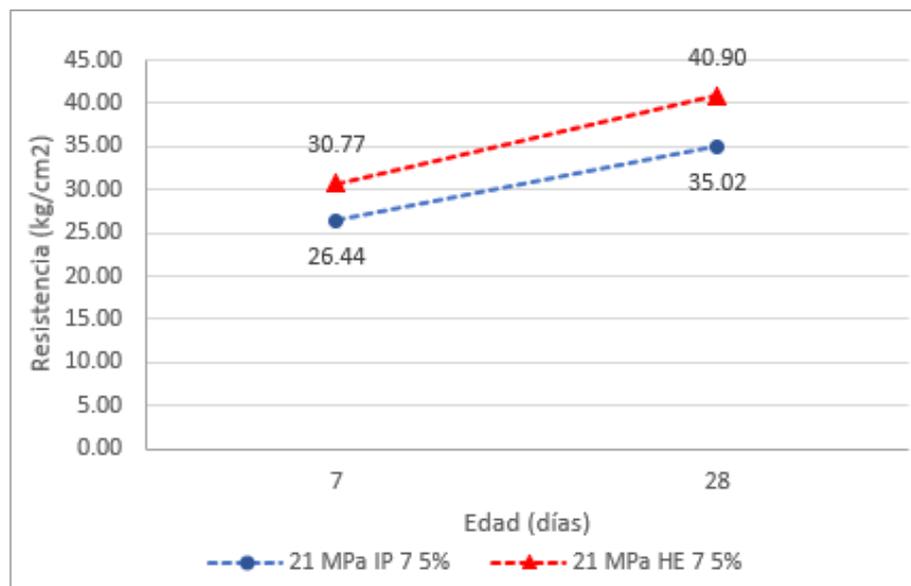
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 5%	105.75	124.28	16.16	13.00
	131.66			
21 MPa HE 7 5%	170.09	174.21	18.58	10.66
	158.04			

**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 47 presenta el efecto del tipo de cemento para un concreto diseñado con las características 21 MPa huso 7 con 5% de agregado fino para las edades de 7 y 28 días. Los resultados con cemento tipo HE son mayores en comparación del cemento tipo IP por 5 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 47**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H7 5% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 35**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 7 5%*

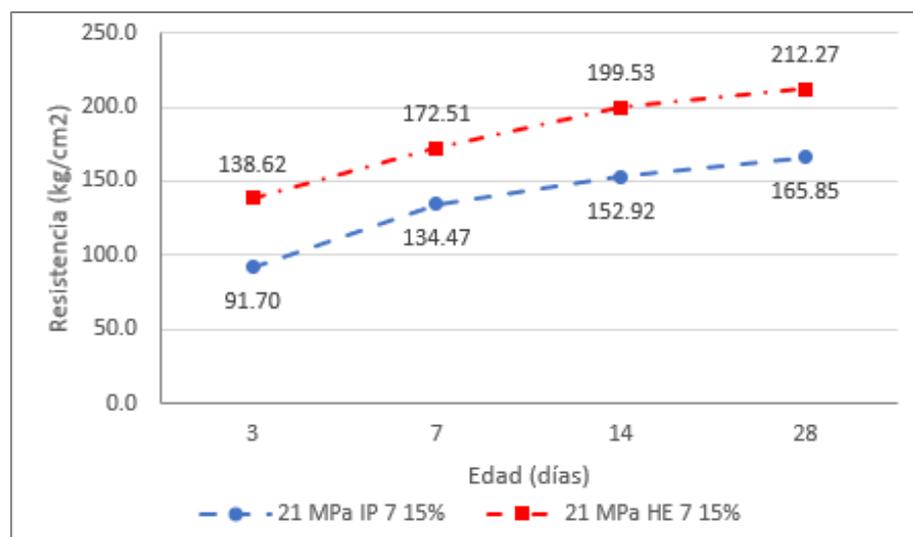
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 5%	35.63	35.02	0.54	1.53
	34.62			
	34.82			
21 MPa HE 7 5%	47.87	40.90	6.06	14.82
	37.94			
	36.89			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 48 exhibe el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 7 y 15% de agregado fino consignados en la tabla 26. Los resultados indican que, para cualquiera de las edades, la resistencia a la compresión promedio del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con IP por 46 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 48**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa h7 15% agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 36**

Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 7 15%

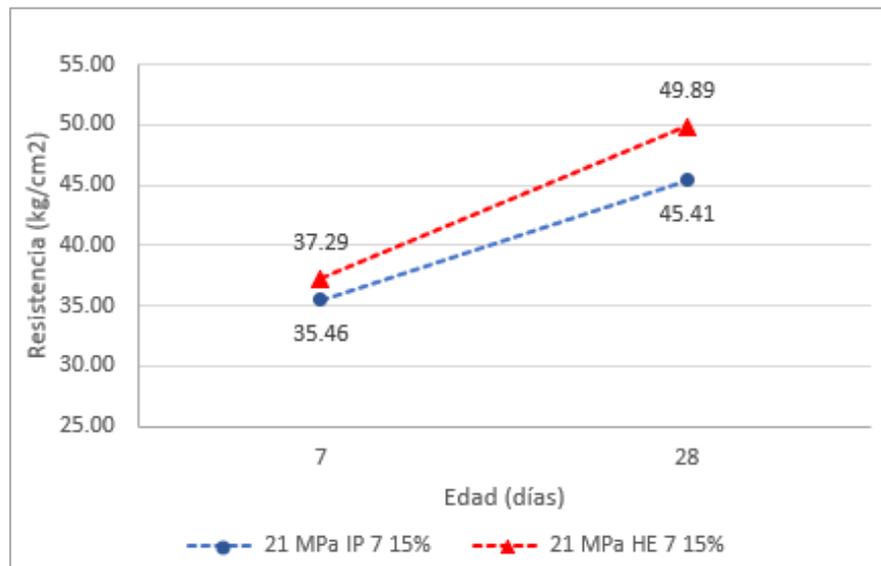
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 15%	129.17 211.98 156.4	165.85	42.21	25.45
21 MPa HE 7 15%	173.86 224.05 238.9	212.27	34.08	16.06

**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 49 ilustra el efecto del tipo de cemento para un concreto diseñado con las características 21 MPa huso 7 con 15% de agregado fino para las edades de 7 y 28 días. Los resultados con cemento tipo HE son mayores en comparación del cemento tipo IP por 4 kg/cm<sup>2</sup> en promedio a los 28 días.

**Figura 49**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H7 15% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 37**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 7 15%*

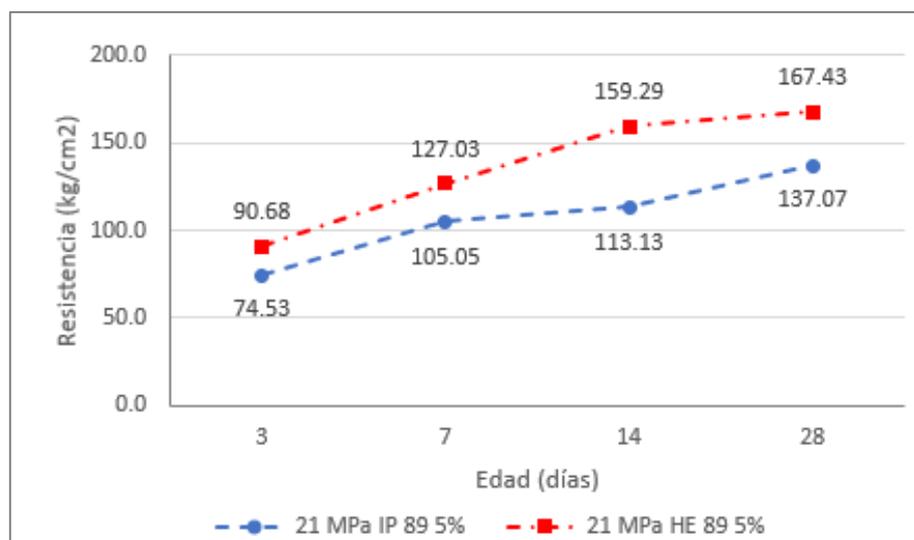
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 15%	45.21	45.41	0.56	1.23
	46.04			
	44.97			
21 MPa HE 7 15%	47.44	49.89	2.41	4.83
	52.26			
	49.96			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 50 expone el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 89 y 5% de agregado fino consignados en la tabla 26. Los resultados indican que, para cualquiera de las edades, la resistencia a la compresión promedio del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con IP por 30 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 50**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H89 5% agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 38**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 89 5%*

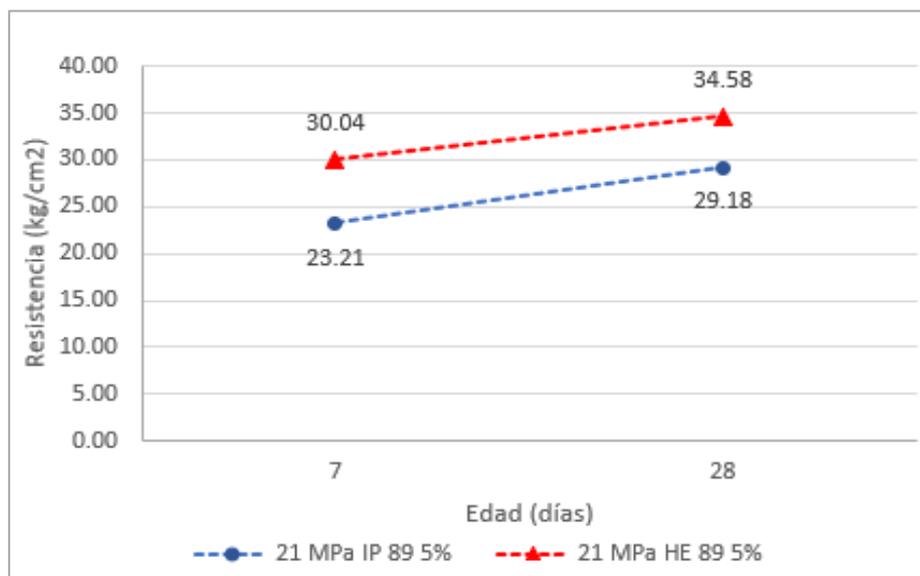
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 5%	128.78	137.07	9.09	6.63
	135.63			
	146.79			
21 MPa HE 89 5%	148	167.43	37.17	22.20
	143.99			
	210.29			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 51 representa el efecto del tipo de cemento para un concreto diseñado con las características 21 MPa huso 89 con 5% de agregado fino para las edades de 7 y 28 días. Los resultados con cemento tipo HE son mayores en comparación del cemento tipo IP por 5 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 51**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H89 5% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 39**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 89 5%*

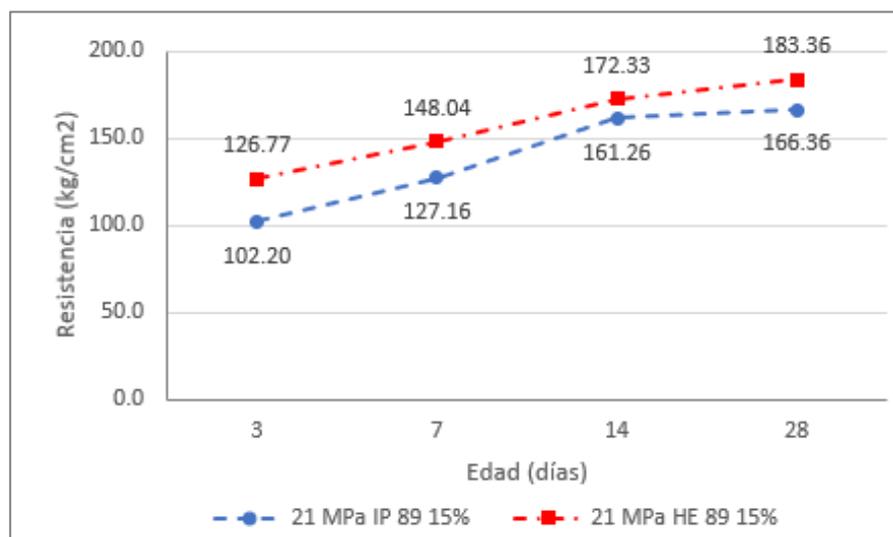
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 5%	32.21	29.18	2.66	9.13
	27.20			
	28.13			
21 MPa HE 89 5%	36.06	34.58	2.57	7.44
	36.07			
	31.61			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 52 expone el efecto del tipo de cemento en los resultados del ensayo a la compresión para el concreto con las características de 21 MPa con huso 7 y 15% de agregado fino consignados en la tabla 26. Los resultados indican que, para cualquiera de las edades, la resistencia a la compresión promedio del diseño con cemento tipo HE es mayor en comparación con el diseño realizado con IP por 17 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 52**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H89 15% agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 40**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa 89 15%*

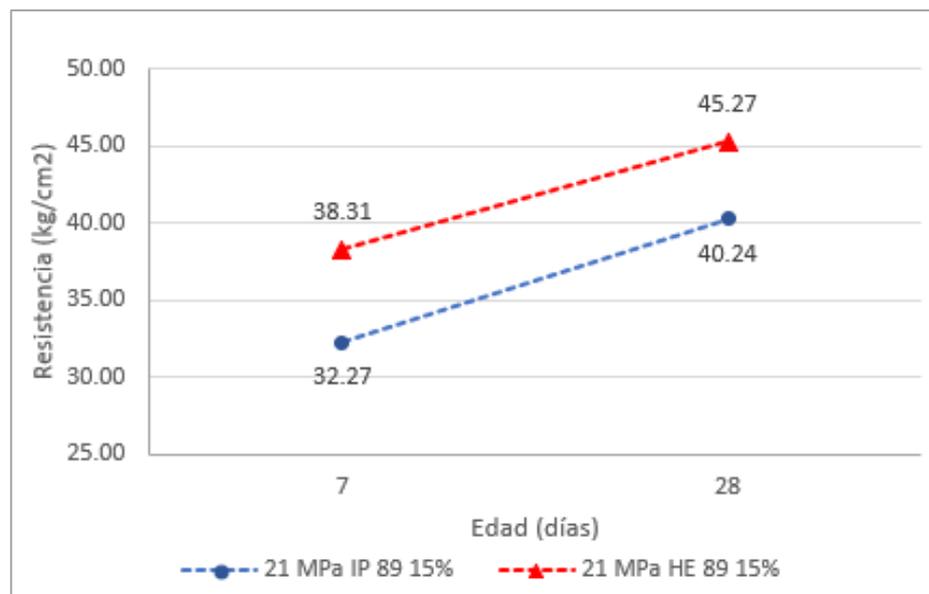
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 15%	164.73			
	142.9	166.36	24.31	14.61
	191.44			
21 MPa HE 89 15%	188.69			
	143.18	183.36	37.80	20.62
	218.22			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 53 presenta el efecto del tipo de cemento para un concreto diseñado con las características 21 MPa huso 89 con 15% de agregado fino para las edades de 7 y 28 días. Los resultados con cemento tipo HE son mayores en comparación del cemento tipo IP por 5 kg/cm<sup>2</sup> en promedio.

**Figura 53**

*Efecto de la variación del tipo de cemento en un concreto 21 MPa H89 15% agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 41**

*Análisis estadístico del efecto del cemento, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa 89 15%*

Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 15%	37.84	40.24	2.51	6.23
	42.85			
	40.02			
21 MPa HE 89 15%	42.12	45.27	2.97	6.55
	48.01			
	45.68			

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo con los gráficos y resultados descritos en párrafos anteriores, la resistencia a la compresión cuando se utiliza cemento tipo HE es superior comparada con el cemento tipo IP en todos los diseños realizados a la edad de 28 días.

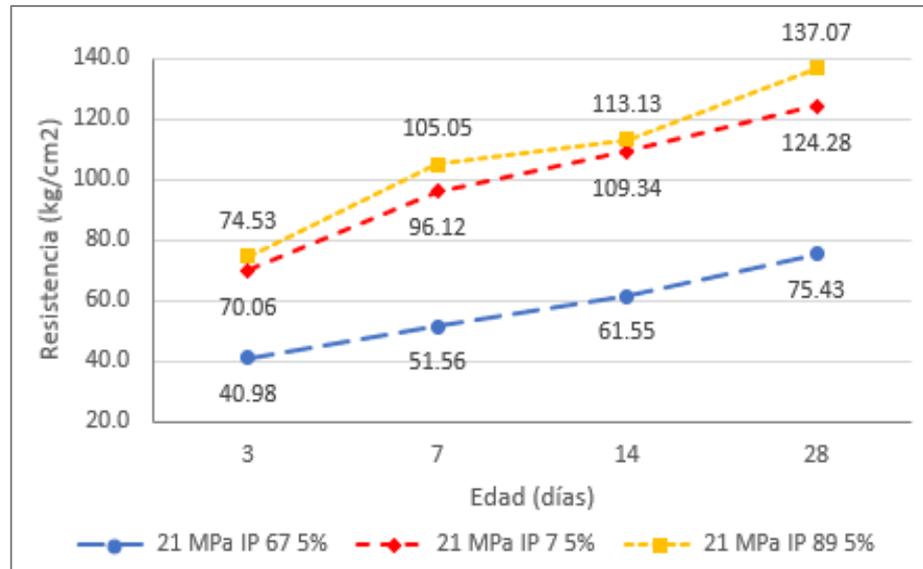
#### **4.1.3.2. Efecto de la granulometría del agregado grueso**

A continuación se presentan los resultados del efecto de la granulometría del agregado grueso y fino utilizado en los diseños elaborados en la presente investigación.

La figura 54 presenta el efecto del uso de diferentes tipos de agregado grueso para el ensayo a la compresión en un diseño de características 21 MPa con cemento tipo IP y 5% de agregado fino. Los resultados señalan que el diseño con agregado huso 89 (3/8") presenta resistencias mayores en comparación a los otros husos.

**Figura 54**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa IP 5% de agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 42**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 5%*

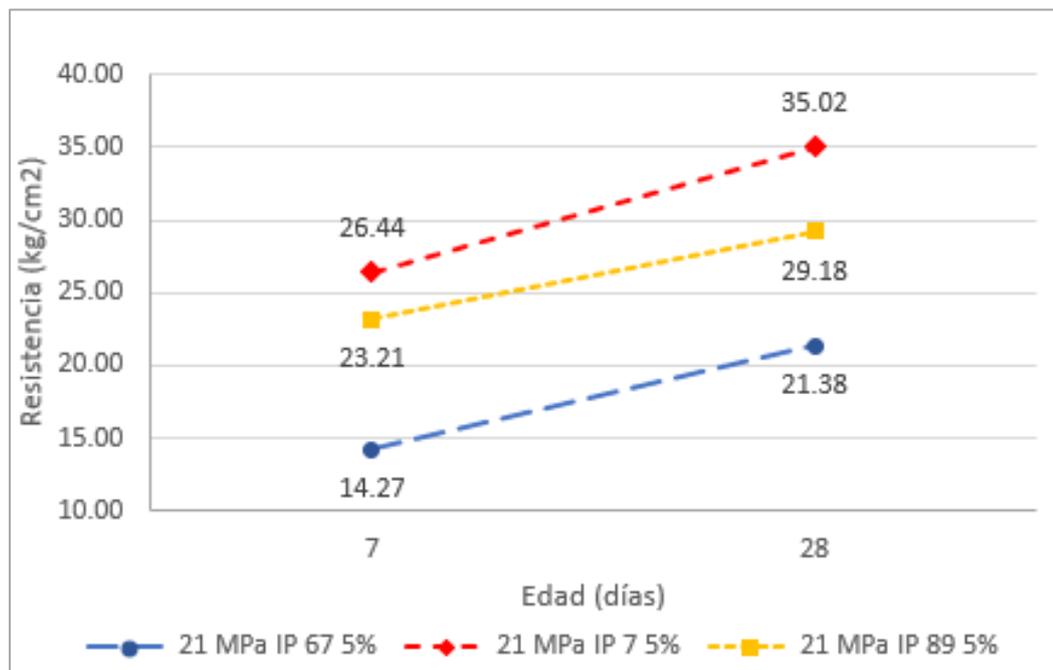
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Desviación estándar (kg/cm²)	Coficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 5%	$\frac{59.23 + 97.9 + 69.17}{3}$	75.43	20.08	26.62
21 MPa IP 7 5%	$\frac{105.75 + 135.44 + 131.66}{3}$	124.28	16.16	13.00
21 MPa IP 89 5%	$\frac{128.78 + 135.63 + 146.79}{3}$	137.07	9.09	6.63

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, los mejores resultados para 7 y 28 días los presenta el diseño 21 MPa IP H7 5% de agregado fino, los mismos que se presentan en la figura 55.

**Figura 55**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa IP 5% de agregado fino en ensayo a flexión*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 43**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 5%*

Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 5%	25.95	21.38	5.09	23.81
	15.90			
	22.30			
21 MPa IP 7 5%	35.63	35.02	0.54	1.53
	34.62			

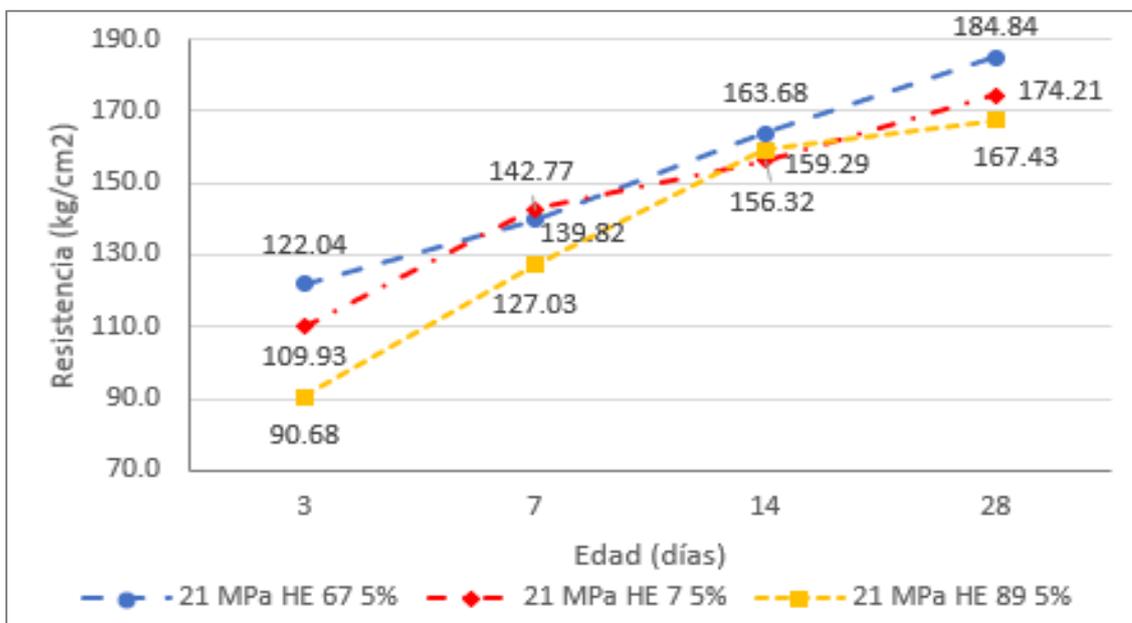
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (%)
	34.82			
21 MPa	32.21			
IP 89	27.20	29.18	2.66	9.13
5%	28.13			

Fuente: Elaboración propia

La figura 56 manifiesta el efecto del uso de diferentes tipos de agregado grueso para el ensayo a la compresión en un diseño de características 21 MPa con cemento tipo HE y 5% de agregado fino. Los resultados señalan que el diseño con agregado huso 67 (3/4") presentan resistencias mayores en comparación a los otros husos.

**Figura 56**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa HE 5% de agregado fino en ensayo a compresión*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 5%*

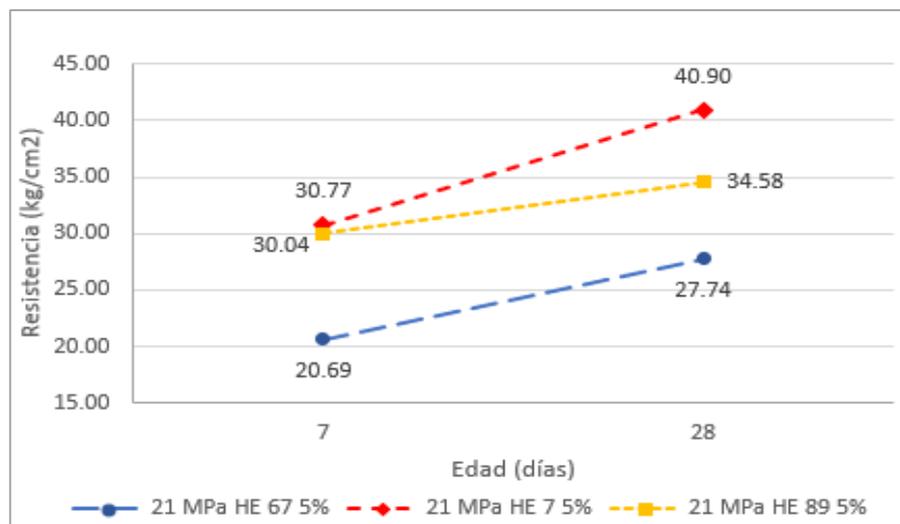
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 67 5%	213.36	184.84	39.08	21.14
	200.87			
	140.29			
21 MPa HE 7 5%	170.09	174.21	18.58	10.66
	194.5			
	158.04			
21 MPa HE 89 5%	148.00	167.43	37.17	22.20
	143.99			
	210.29			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, los mejores resultados para 7 y 28 días los presenta el diseño 21 MPa HE H7 5% de agregado fino los mismos que se presentan en la figura 57.

**Figura 57**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa HE 5% de agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 45**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 5%*

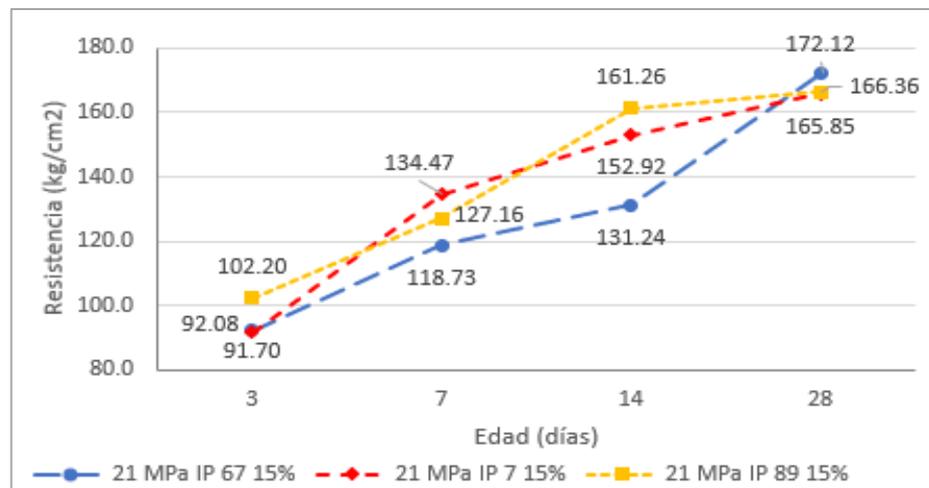
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 67 5%	24.37	27.74	4.01	14.47
	32.18			
	26.67			
21 MPa HE 7 5%	47.87	40.90	6.06	14.82
	37.94			
	36.89			
21 MPa HE 89 5%	36.06	34.58	2.57	7.44
	36.07			
	31.61			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 58 manifiesta el efecto del uso de diferentes tipos de agregado grueso para el ensayo a la compresión en un diseño de características 21 MPa con cemento tipo IP y 15% de agregado fino. Los resultados señalan que, aunque hay poca variación a 28 días con los 3 husos, el diseño con agregado huso 67 (3/4") presenta resistencias mayores en comparación a los diferentes husos empleados.

**Figura 58**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa IP 15% de agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 46**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 15%*

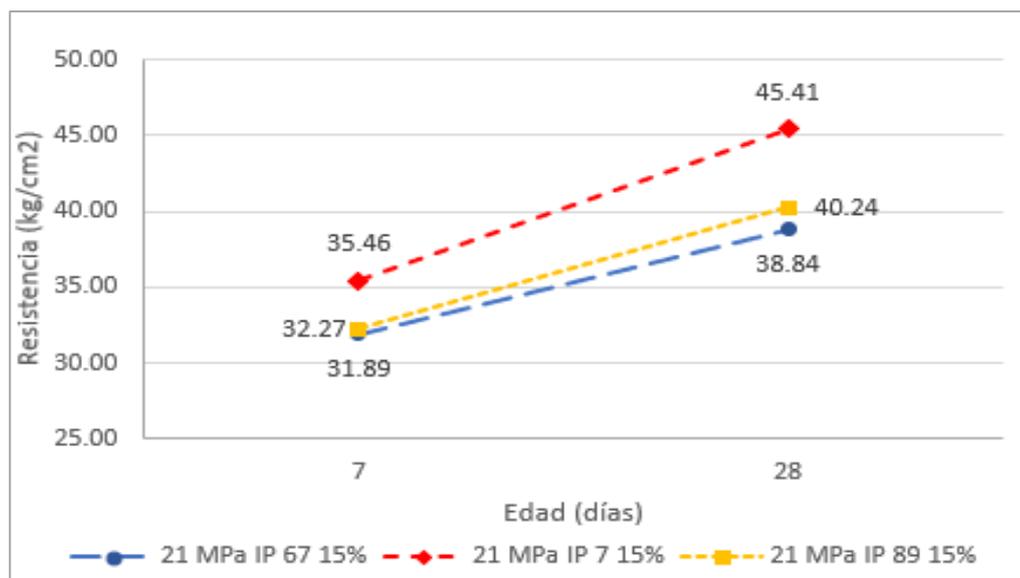
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 15%	151.36	172.12	17.98	10.45
	182.75			
	182.24			
21 MPa IP 7 15%	129.17	165.85	42.21	25.45
	211.98			
	156.4			
21 MPa IP 89 15%	164.73	166.36	24.31	14.61
	142.9			
	191.44			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, los mejores resultados para 7 y 28 días los presenta el diseño 21 MPa IP H7 15% de agregado fino, los mismos que se presentan en la figura 59.

**Figura 59**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa IP 15% de agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 47**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 15%*

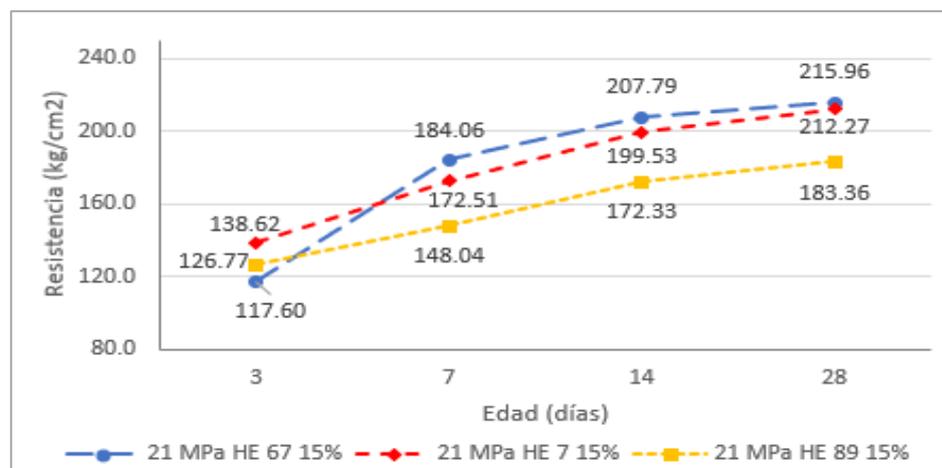
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 15%	46.69	38.84	6.90	17.76
	36.04			
	33.78			
21 MPa IP 7 15%	45.21	45.41	0.56	1.23
	46.04			
	44.97			
21 MPa IP 89 15%	37.84	40.24	2.51	6.23
	42.85			
	40.02			

**Fuente:** Elaboración propia

La figura 60 manifiesta el efecto del uso de diferentes tipos de agregado grueso para el ensayo a la compresión en un diseño de características 21 MPa con cemento tipo HE y 15% de agregado fino. Los resultados señalan que, aunque hay poca variación a 28 días con los husos 67 y 7, el diseño con agregado huso 67 (3/4") presenta resistencias mayores en comparación al resto.

**Figura 60**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa HE 15% de agregado fino en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 48**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 15%*

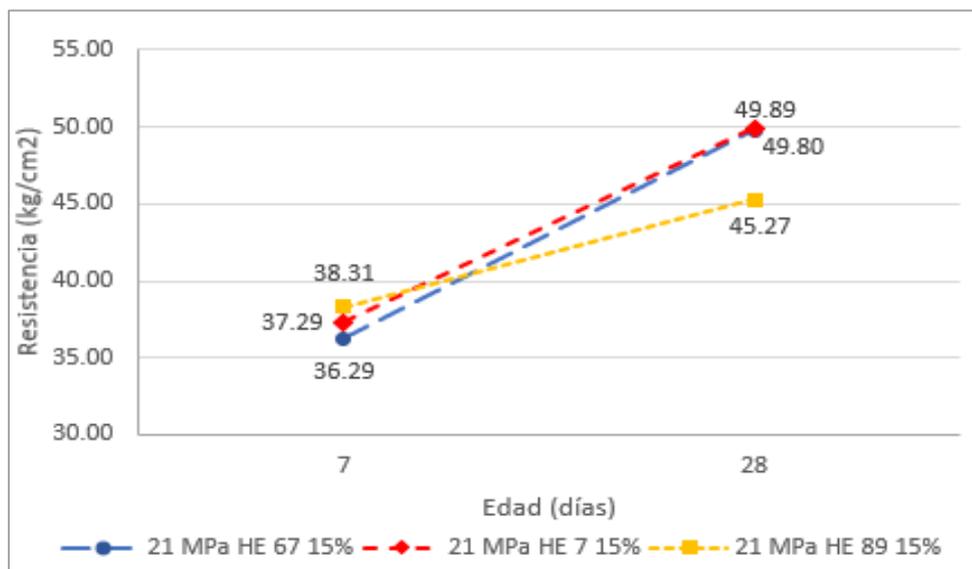
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (%)
21 MPa HE 67 15%	239.99	215.96	24.06	11.14
	216.00			
	191.88			
21 MPa HE 7 15%	173.86	212.27	34.08	16.06
	224.05			
	238.9			
21 MPa HE 89 15%	188.69	183.36	37.80	20.62
	143.18			
	218.22			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, los mejores resultados para 28 días los presenta, en igualdad, los diseños 21 MPa HE con uso H67 y H7 y con 15% de agregado fino los mismos que se presentan en la figura 61.

**Figura 61**

*Efecto de la variación de la granulometría en un concreto 21 MPa HE 15% de agregado fino en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 49**

*Análisis estadístico del efecto de la granulometría, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 15%*

Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 67 15%	47.10	49.80	3.79	7.62
	48.16			
	54.13			
21 MPa HE 7 15%	47.44	49.89	2.41	4.83
	52.26			
	49.96			
21 MPa HE 89 15%	42.12	45.27	2.97	6.55
	48.01			
	45.68			

Fuente: Elaboración propia

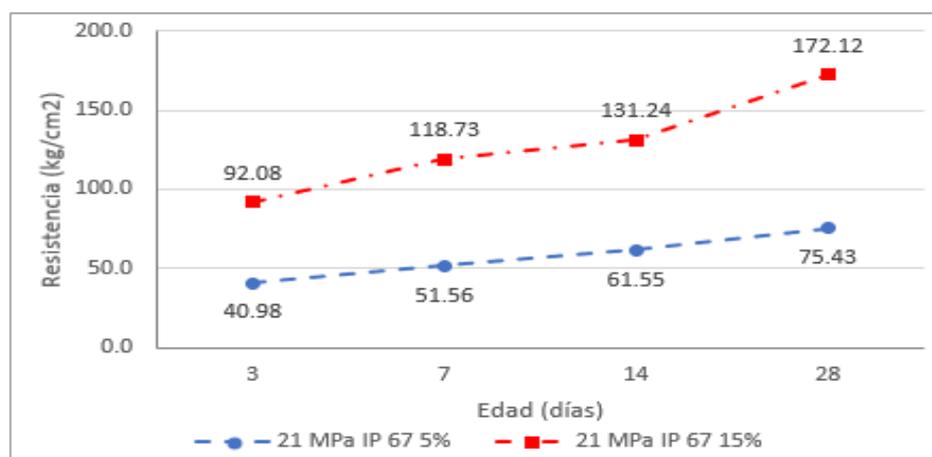
#### 4.1.3.3. Efecto de la cantidad de agregado fino

Respecto al efecto de la cantidad en porcentaje de agregado fino utilizado en cada diseño de mezcla, se tienen los siguientes resultados:

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo IP agregado grueso huso 67, se observa en la figura 62 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con sólo 5% de agregado fino.

**Figura 62**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H67 en ensayo a compresión*



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 50**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 67*

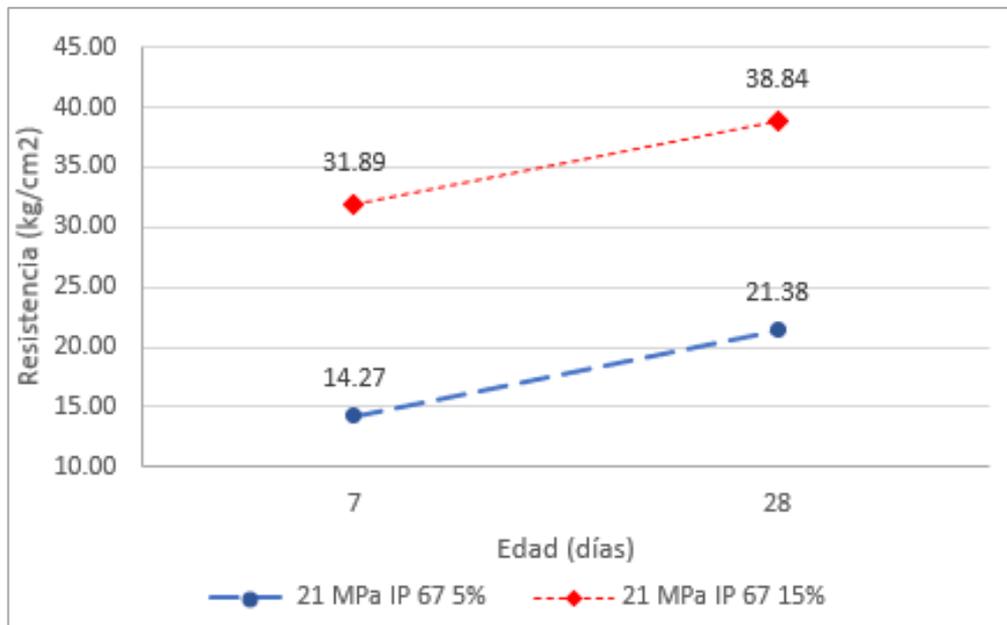
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa	59.23	75.43	20.08	26.62
IP 67 5%	97.9			
21 MPa	151.36	172.12	17.98	10.45
IP 67	182.75			
15%	182.24			

**Fuente:** Elaboración propia.

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 63 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 63**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H67 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 51**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 67*

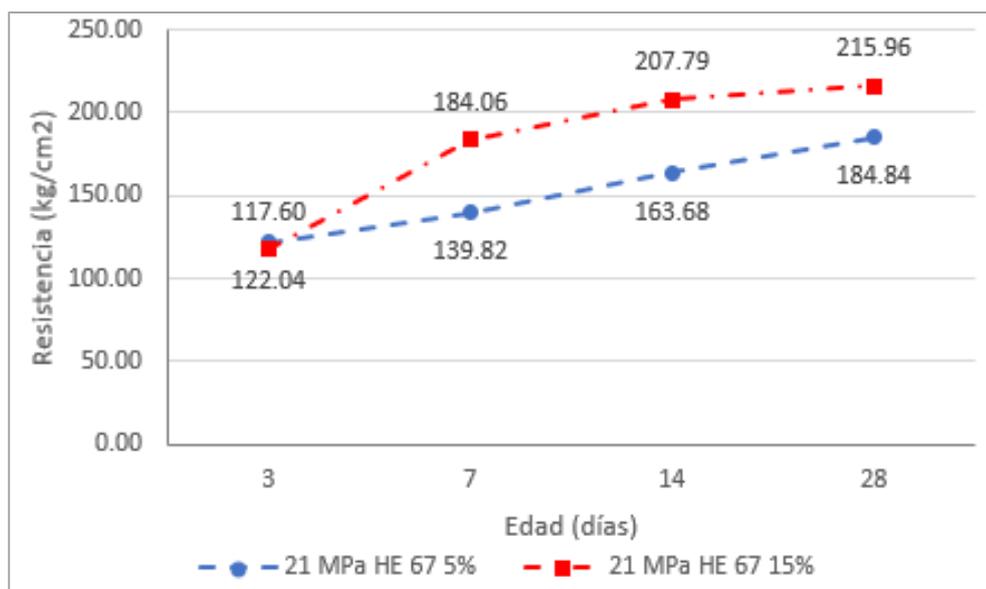
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 67 5%	25.95	21.38	5.09	23.81
	15.90			
	22.30			
21 MPa IP 67 15%	46.69	38.84	6.90	17.76
	36.04			
	33.78			

**Fuente:** Elaboración propia

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo HE agregado grueso huso 67, se observa en la figura 64 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con sólo 5% de agregado fino.

**Figura 64**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H67 en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 52**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 67*

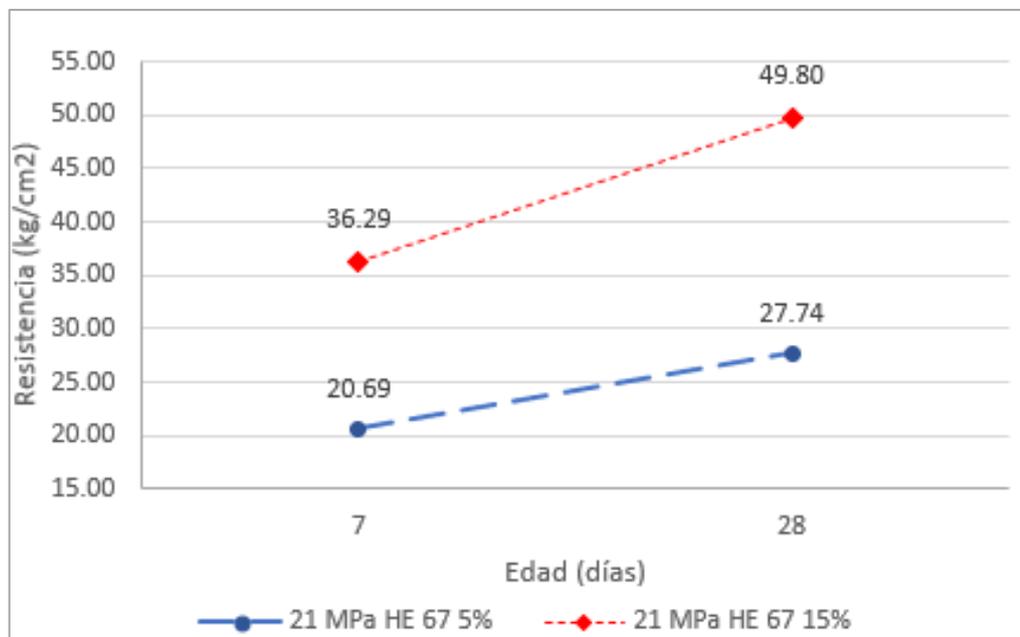
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 67 5%	213.36	184.84	39.08	21.14
	200.87			
	140.29			
21 MPa HE 67 15%	239.99	215.96	24.06	11.14
	216.00			
	191.88			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 65 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 65**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H67 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 53**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 67*

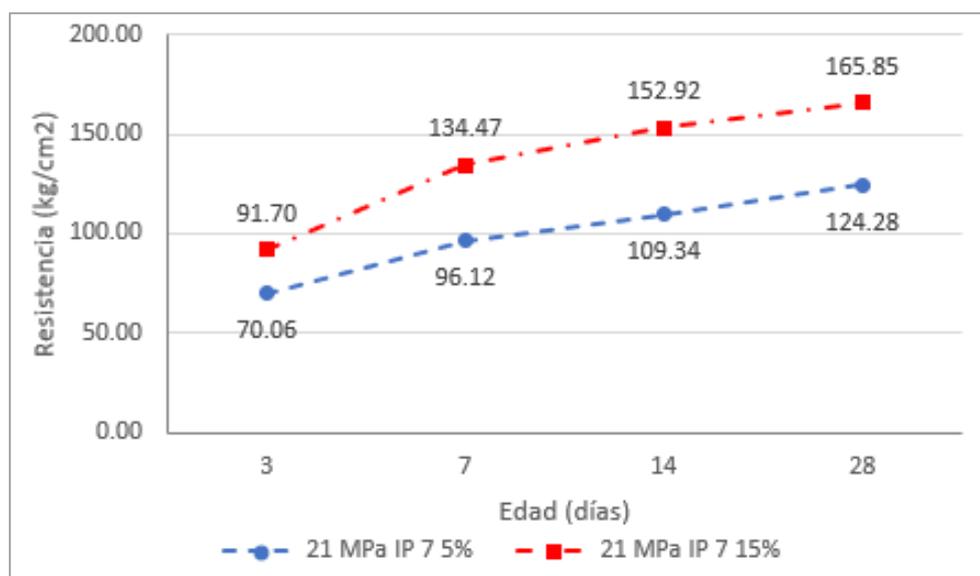
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa	24.37	27.74	4.01	14.47
HE 67	32.18			
5%	26.67			
21 MPa	47.10	49.80	3.79	7.62
HE 67	48.16			
15%	54.13			

**Fuente:** Elaboración propia.

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo IP agregado grueso huso 7, se observa en la figura 66 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con solo 5% de agregado fino.

**Figura 66**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H7 en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 54**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 7*

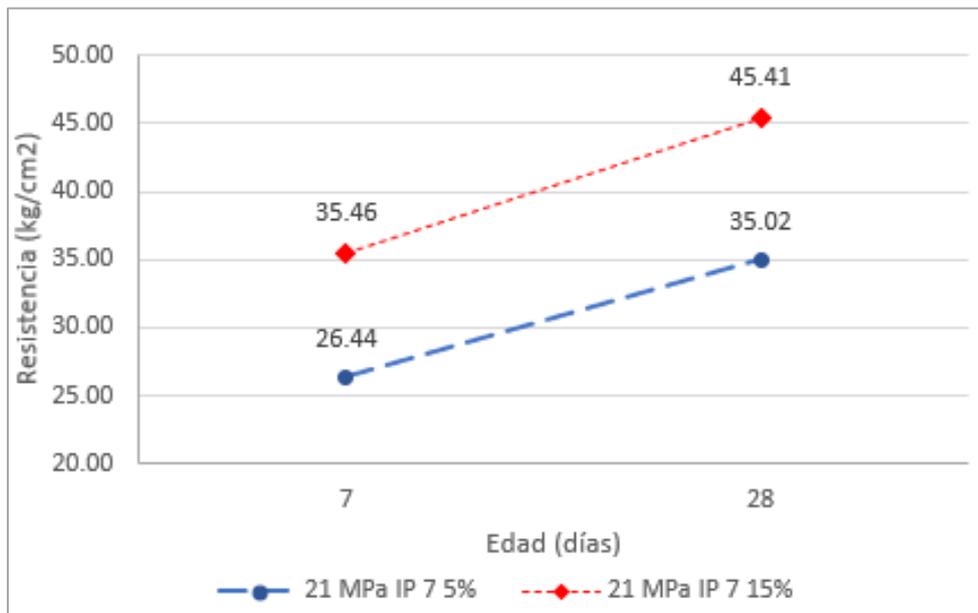
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 5%	105.75	124.28	16.16	13.00
	135.44			
	131.66			
21 MPa IP 7 15%	129.17	165.85	42.21	25.45
	211.98			
	156.4			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 67 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 67**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H7 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 55**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 7*

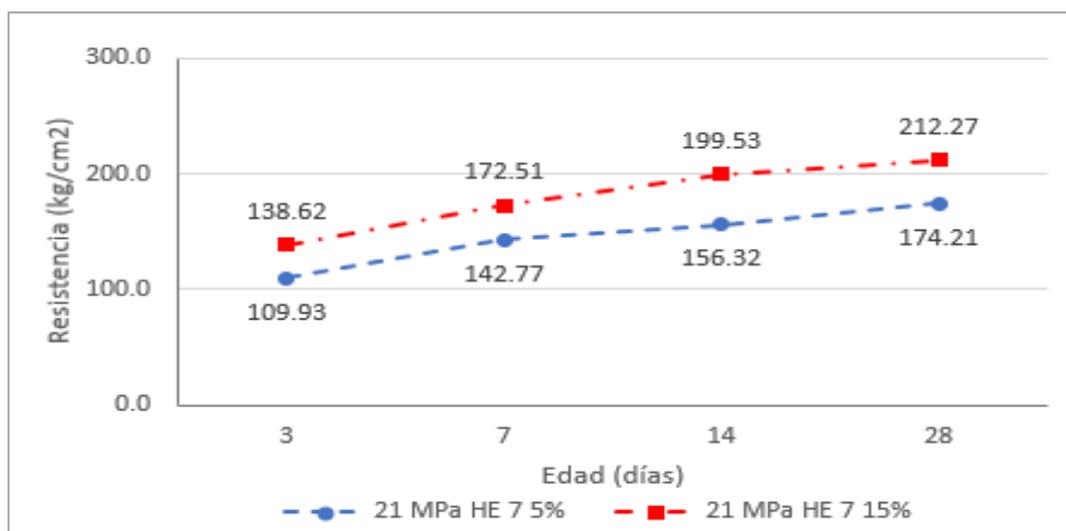
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 7 5%	35.63	35.02	0.54	1.53
	34.62			
	34.82			
21 MPa IP 7 15%	45.21	45.41	0.56	1.23
	46.04			
	44.97			

**Fuente:** Elaboración propia

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo HE agregado grueso huso 7, se observa en la figura 68 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con sólo 5% de agregado fino.

**Figura 68**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H7 en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 56**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 7*

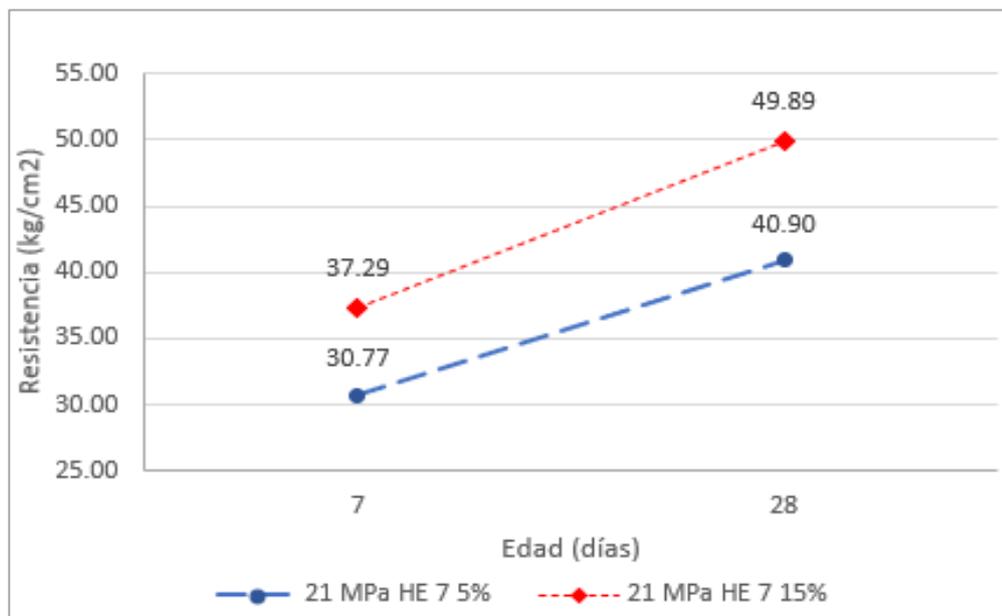
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 7 5%	170.09	174.21	18.58	10.66
	194.5			
	158.04			
21 MPa HE 7 15%	173.86	212.27	34.08	16.06
	224.05			
	238.9			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 69 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 69**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H7 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 57**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 7*

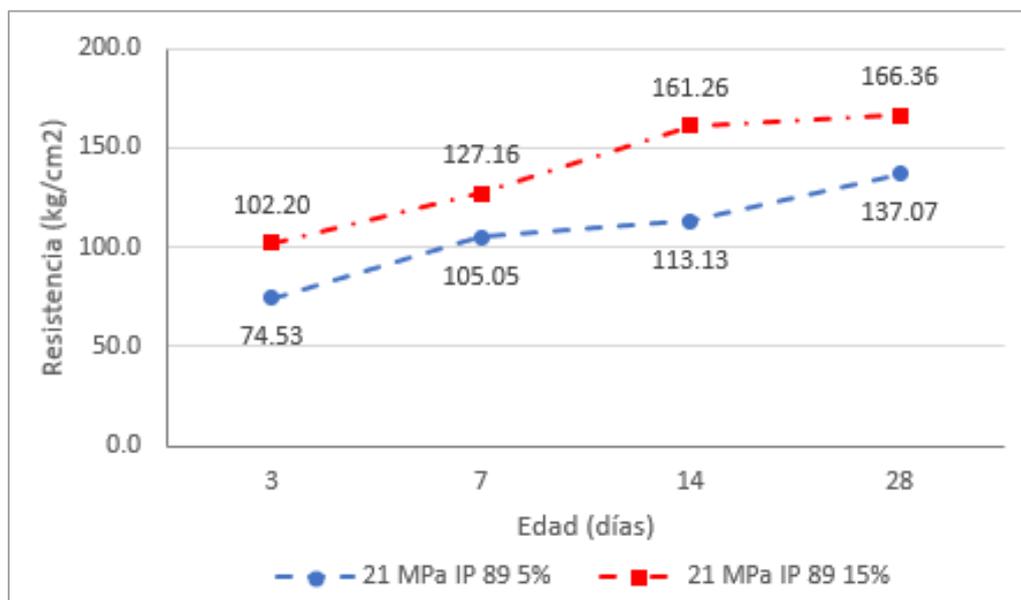
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 7 5%	47.87	40.90	6.06	14.82
	36.89			
21 MPa HE 7 15%	47.44	49.89	2.41	4.83
	52.26			
	49.96			

**Fuente:** Elaboración propia.

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo IP agregado grueso huso 89, se observa en la figura 70 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con sólo 5% de agregado fino.

**Figura 70**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H89 en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 58**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa IP 89*

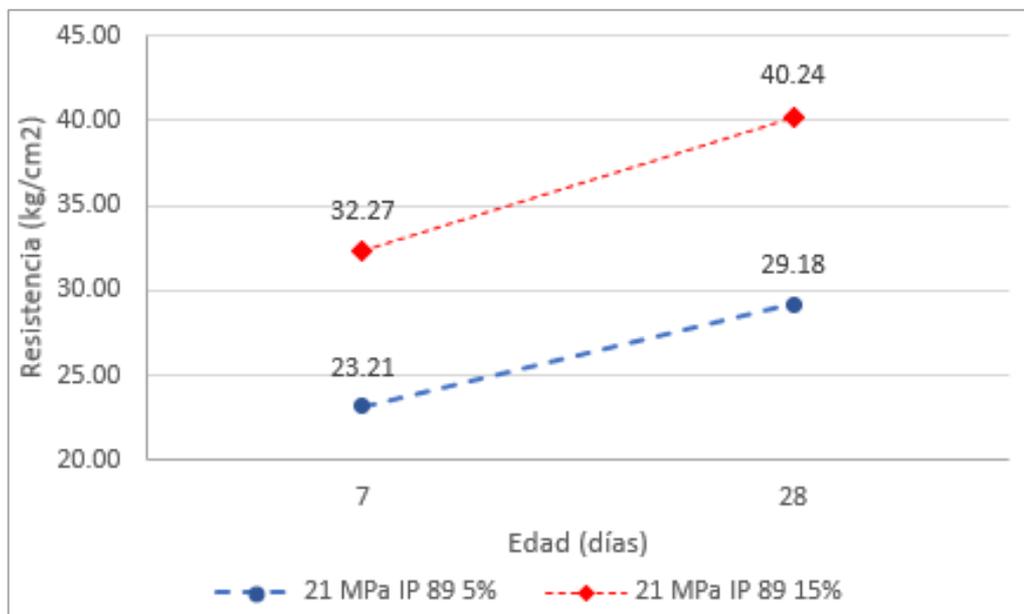
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 5%	128.78	137.07	9.09	6.63
	135.63			
	146.79			
21 MPa IP 89 15%	164.73	166.36	24.31	14.61
	142.9			
	191.44			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 71 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 71**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa IP H89 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 59**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa IP 89*

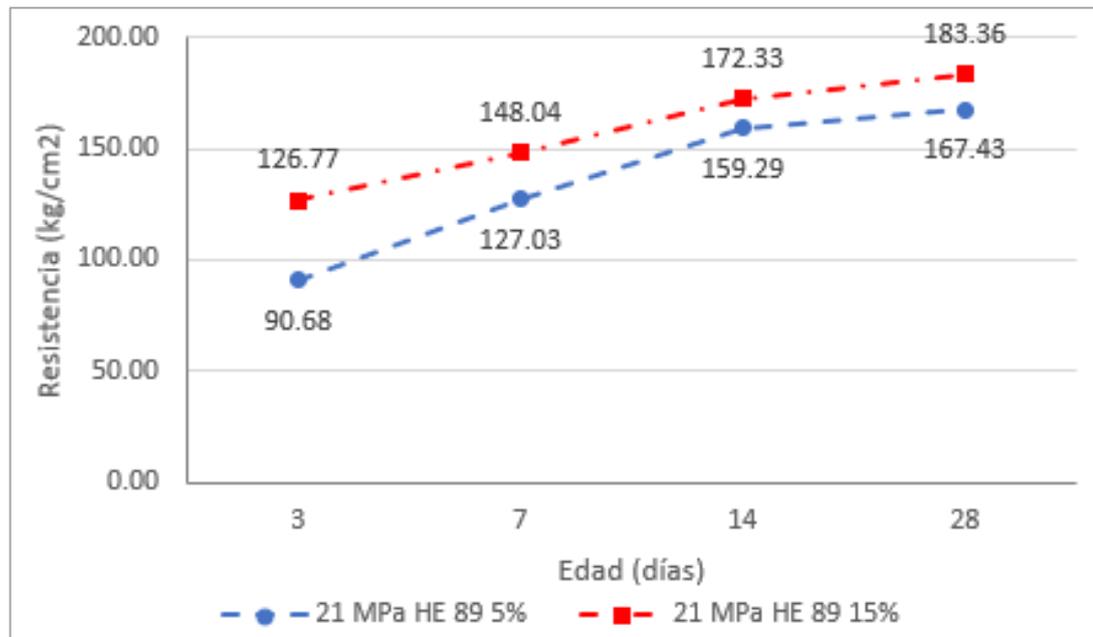
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa IP 89 5%	32.21	29.18	2.66	9.13
	27.20			
	28.13			
21 MPa IP 89 15%	37.84	40.24	2.51	6.23
	42.85			
	40.02			

**Fuente:** Elaboración propia

En el diseño de características 21 MPa con cemento tipo HE agregado grueso huso 89, se observa en la figura 72 que el diseño con 15% de agregado fino tiene resultados a compresión mayores que el diseño con sólo 5% de agregado fino.

**Figura 72**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H89 en ensayo a compresión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 60**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a compresión, en el diseño 21 MPa HE 89*

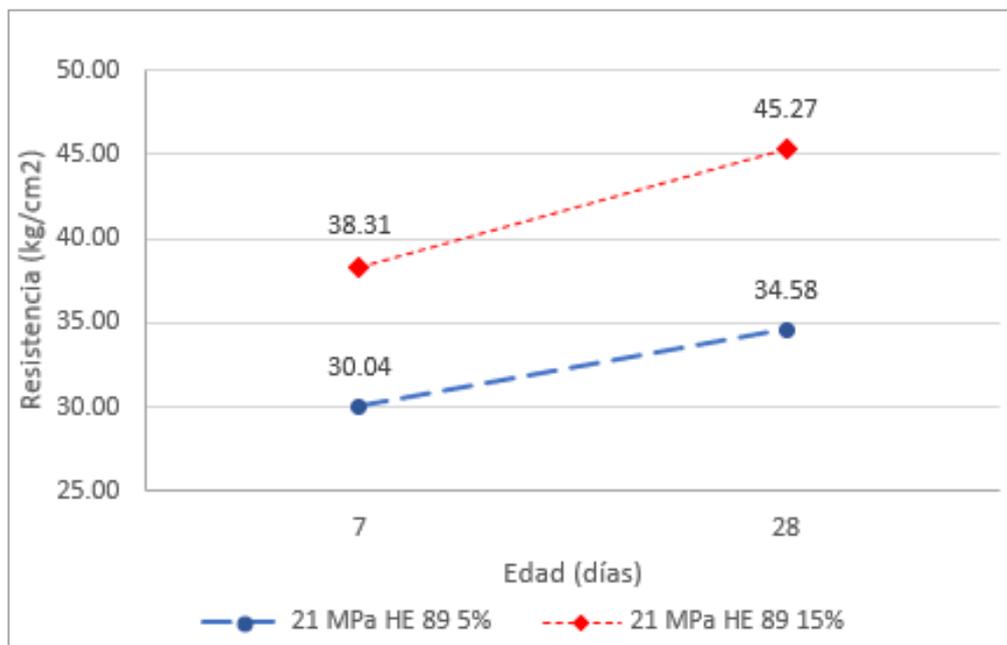
Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 89 5%	148			
	143.99	167.43	37.17	22.20
	210.29			
21 MPa HE 89 15%	188.69			
	143.18	183.36	37.80	20.62
	218.22			

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto al ensayo a la flexión, la figura 73 muestra la misma tendencia que el ensayo anterior, el diseño con 15% de agregado fino presenta mayores resistencias.

**Figura 73**

*Efecto de la variación de la cantidad de agregado fino en un concreto 21 MPa HE H89 en ensayo a flexión*



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 61**

*Análisis estadístico del efecto de la variación de la cantidad de agregado fino, resultados a flexión, en el diseño 21 MPa HE 89*

Diseño	28 días		Análisis Estadístico	
	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
21 MPa HE 89 5%	36.06	34.58	2.57	7.44
	36.07			
	31.61			
21 MPa HE 89 15%	42.12	45.27	2.97	6.55
	48.01			
	45.68			

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados anteriores evidencian mejores resultados en ensayos de compresión y flexión de aquellos diseños que llevan 15% de agregado fino en comparación con los diseños que llevan tan solo 5% de este material. El mejor resultado del ensayo a la compresión fue del diseño 21 MPa HE 67 15% con un  $f'c=215.96 \text{ kg/m}^2$ , el mejor diseño para resistencia a la flexión fue del 21 MPa HE 7 15% con  $49.89 \text{ kg/m}^2$

#### **4.1.3.4. Resultados de permeabilidad**

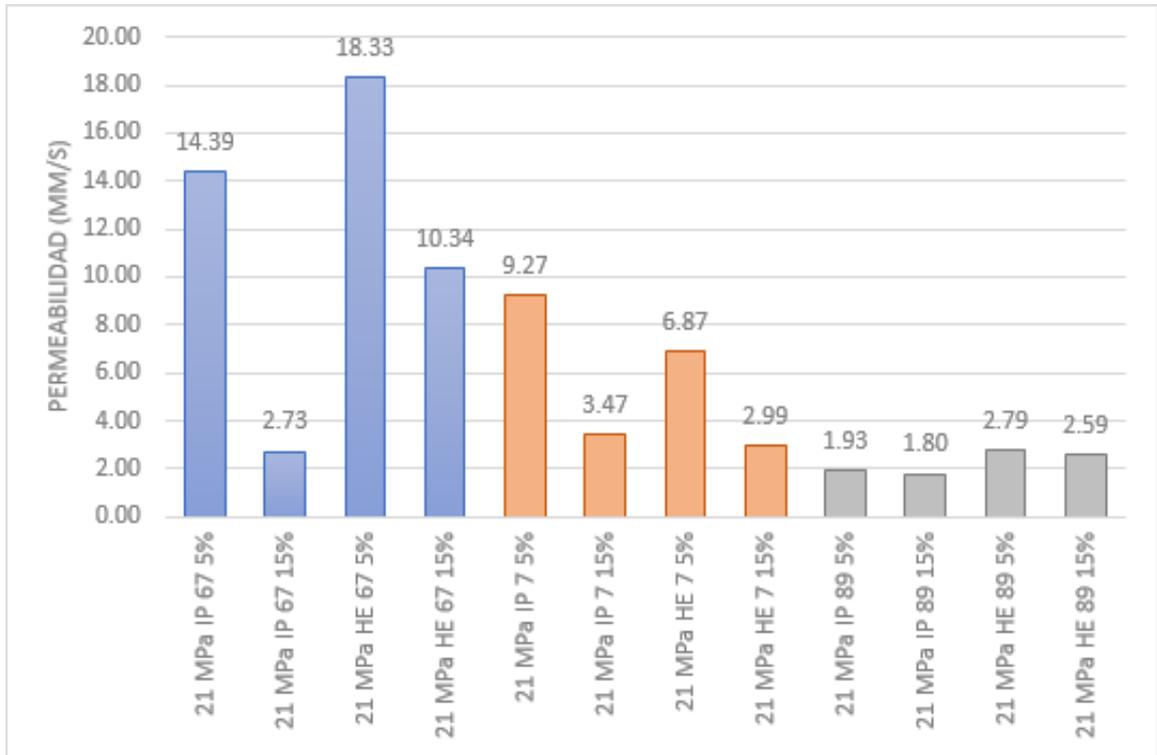
La figura 74 muestra el comparativo de los resultados del ensayo de permeabilidad en las probetas de los diferentes diseños de concreto poroso.

La mayor permeabilidad corresponde al diseño 21 MPa HE huso H67 5% de agregado fino y en segundo lugar al diseño 21 MPa IP huso H67 5% de agregado fino.

Todos los diseños de mezclas de esta investigación son considerados como permeables ya que sobrepasan el rango de 1.4 a 12.2 mm/s que nos menciona el reporte del ACI 522R-10.

**Figura 74**

*Comparación de resultados del ensayo de permeabilidad*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 62**

*Resultados y análisis estadístico del ensayo de permeabilidad*

Diseño	K(mm/s)	Promedio (mm/s)	Desviación Estándar (mm/s)	Coefficiente de Variación (%)
21 MPa IP 67 5%	14.097	14.39	0.27	1.89
	14.436			
	14.634			
21 MPa IP 67 15%	2.720	2.73	0.03	0.98
	2.707			
	2.759			
21 MPa IP 7 5%	9.087	9.27	0.18	1.93
	9.266			
	9.444			
21 MPa IP 7 15%	3.471	3.47	0.01	0.28
	3.461			
	3.481			

Diseño	K(mm/s)	Promedio (mm/s)	Desviación Estándar (mm/s)	Coficiente de Variación (%)
21 MPa IP 89 5%	1.918	1.93	0.01	0.50
	1.936			
	1.922			
21 MPa IP 89 15%	1.780	1.80	0.02	0.89
	1.803			
	1.810			
21 MPa HE 67 5%	18.286	18.33	0.07	0.36
	18.408			
	18.303			
21 MPa HE 67 15%	10.323	10.34	0.09	0.85
	10.440			
	10.267			
21 MPa HE 7 5%	6.816	6.87	0.05	0.68
	6.882			
	6.906			
21 MPa HE 7 15%	2.987	2.99	0.01	0.22
	2.981			
	2.994			
21 MPa HE 89 5%	2.788	2.79	0.01	0.32
	2.788			
	2.803			
21 MPa HE 89 15%	2.582	2.59	0.01	0.31
	2.592			
	2.597			

**Fuente:** Elaboración propia

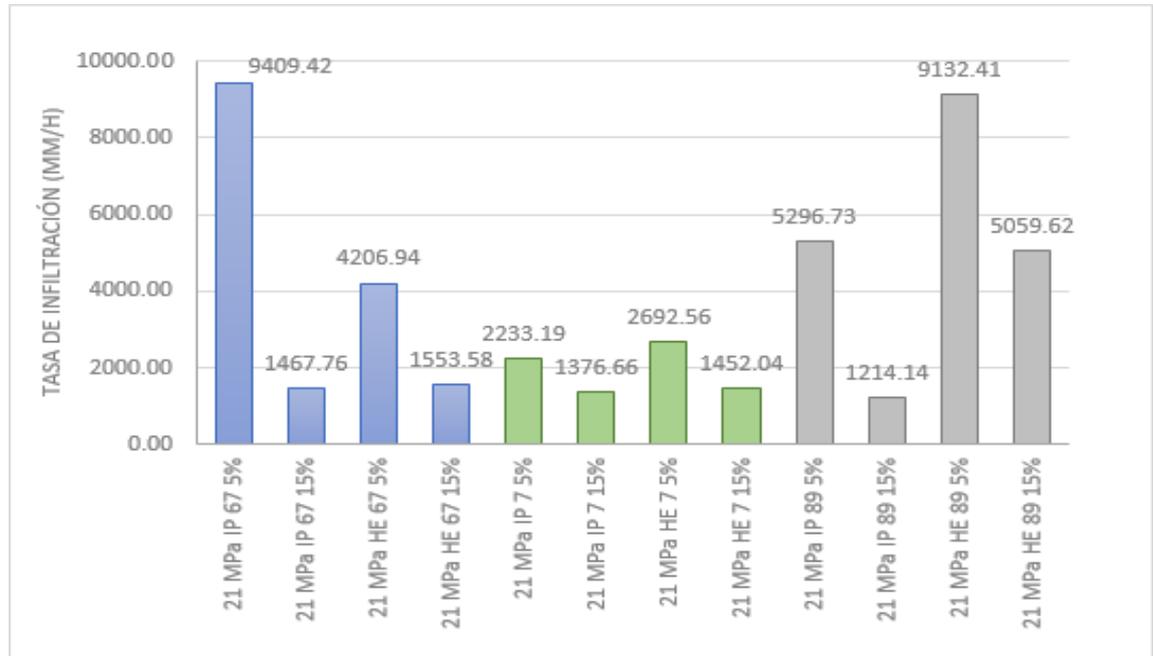
#### 4.1.3.5. Resultados de la tasa de infiltración

La figura 75 muestra los resultados del ensayo para determinar la tasa de infiltración realizado en losas de los diferentes diseños de concreto poroso.

La mayor tasa de infiltración corresponde al diseño 21 MPa IP huso H67 5% de agregado fino, y en segundo lugar al diseño 21 MPa HE huso H89 5% de agregado fino.

**Figura 75**

*Comparación de resultados del ensayo para determinar la tasa de infiltración*



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 63**

*Resultados y análisis estadístico del ensayo de tasa de infiltración*

Diseño	Promedio I (mm/s)	Desviación Estándar (mm/s)	Coficiente de Variación (%)
21 MPa IP 67 5%	9409.42	85.32	0.91
21 MPa IP 67 15%	1467.76	1.73	0.12
21 MPa IP 7 5%	4206.94	58.30	1.39
21 MPa IP 7 15%	1553.58	12.69	0.82
21 MPa IP 89 5%	2233.19	20.07	0.90
21 MPa IP 89 15%	1376.66	6.21	0.45
21 MPa HE 67 5%	2692.56	20.48	0.76
21 MPa HE 67 15%	1452.04	5.57	0.38
21 MPa HE 7 5%	5296.73	62.26	1.18
21 MPa HE 7 15%	1214.14	2.96	0.24
21 MPa HE 89 5%	9132.41	160.01	1.75
21 MPa HE 89 15%	5059.62	50.22	0.99

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.6. Coeficiente de correlación entre permeabilidad y tasa de infiltración

El coeficiente de correlación es un factor que se puede usar para medir dos variables de tipo cuantitativo para saber si existe algún tipo de relación entre ellos. Usaremos la siguiente fórmula para hallar la correlación:

$$r = \frac{n \times \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \times \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}}$$

Donde:

r= Coeficiente de correlación

n= Número total de datos

x= Resultados de permeabilidad

y= Resultados de tasa de infiltración

Realizamos los reemplazos correspondientes y obtenemos el coeficiente de correlación el cual nos da un valor de:

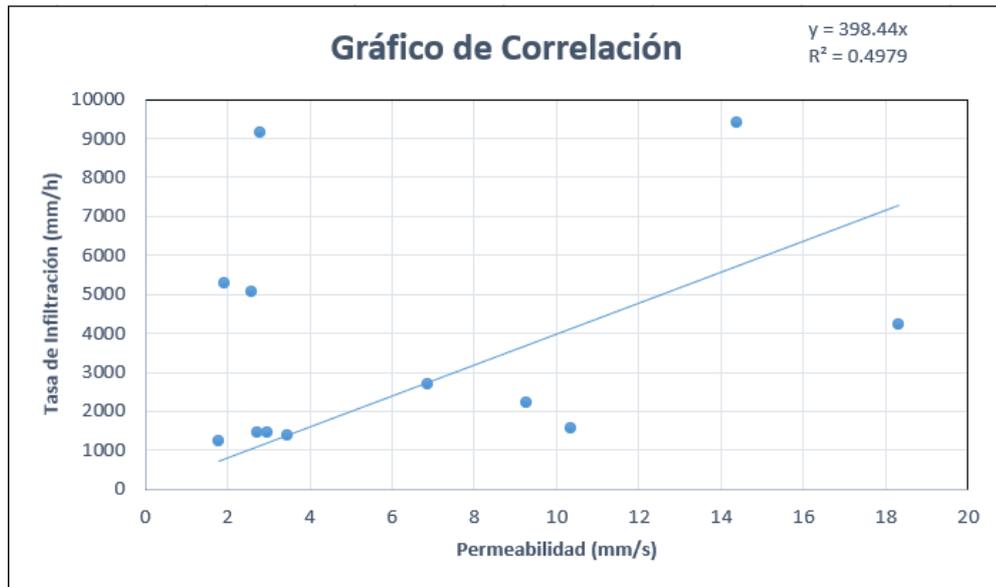
$$r = 0.23$$

En la figura 76 tenemos el gráfico de dispersión de la correlación entre los resultados de los ensayos de permeabilidad y tasa de infiltración.

Por la gráfica de dispersión podemos señalar que se trata de una correlación directa positiva y por el resultado del coeficiente de correlación tenemos una relación débil.

**Figura 76**

*Grafico de dispersión de la correlación entre permeabilidad y tasa de infiltración*



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.3.7. Resumen de los resultados de las características del concreto poroso

La tabla 64 nos muestra los resultados de la resistencia a la compresión, módulo de rotura, permeabilidad y tasa de infiltración para los 12 diseños realizados en el laboratorio.

**Tabla 64**

*Resumen de resultados promedios finales*

Diseño	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Permeabilidad (mm/s)	Tasa de Infiltración (mm/h)
21 MPa IP 67 5%	75.43	21.38	14.390	9409.42
21 MPa IP 67 15%	172.12	38.84	2.730	1467.76
21 MPa HE 67 5%	184.84	27.74	18.330	4206.94
21 MPa HE 67 15%	215.96	49.80	10.340	1553.58
21 MPa IP 7 5%	124.28	35.02	9.270	2233.19

Diseño	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Permeabilidad (mm/s)	Tasa de Infiltración (mm/h)
21 MPa IP 7 15%	165.85	45.41	3.470	1376.66
21 MPa HE 7 5%	174.21	40.90	6.870	2692.56
21 MPa HE 7 15%	212.27	49.89	2.990	1452.04
21 MPa IP 89 5%	137.07	29.18	1.930	5296.73
21 MPa IP 89 15%	166.36	40.24	1.800	1214.14
21 MPa HE 89 5%	167.43	34.58	2.790	9132.41
21 MPa HE 89 15%	183.36	45.27	2.590	5059.62

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en cuanto a la resistencia a la compresión y módulo de rotura tenemos diseños con muy buenos resultados y estos pueden ser usados en diferentes tipos de tráfico, según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) en el capítulo 14, Pavimentos Rígidos, nos muestra una tabla en la cual nos indica que para ser usado como capa de rodadura para tráfico pesado menores o iguales a 5`000,000 ejes equivalentes se requiere un módulo de rotura de 40 kg/m<sup>2</sup> por lo tanto tendríamos 6 diseños que cumplirían con este requisito, por otro lado, en la norma CE 0.10 Pavimentos Urbanos, hace referencia a un módulo de rotura mayor o igual a 34 kg/cm<sup>2</sup>, las cuales pueden ser usadas en vías locales, colectoras y arteriales con un espesor de capa de rodadura mayor o igual a 15 cm, por lo tanto tendríamos 9 diseños de mezclas que cumplen con este requerimiento, en la misma norma nos da requisitos para pavimentos especiales, como aceras, veredas, pasajes peatonales y ciclovías, la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual a 175 kg/cm<sup>2</sup>, por lo cual podríamos decir que solo dos de los diseños no cumplen con ninguno de los requisitos según las normas mencionadas estos diseños son 21 MPa IP 67 5% y 21 MPa IP 89 5%.

#### 4.1.3.8. Análisis de costos unitarios del concreto poroso

Se realizó un análisis de costos unitarios para el diseño patrón 21 MPa IP 67 5% y lo comparamos con el análisis de costos unitarios del mejor diseño obtenido en la investigación, el diseño 21 MPa HE 67 15% tiene mejores resultados en sus características físicas y mecánicas, en este análisis se aprecia que se tiende a incrementar el costo con el uso del cemento portland HE, esto podría justificarse debido a que con este tipo de cemento se logran mejores resultados en las características mecánica, el concreto poroso con el mayor costo corresponde al diseño el 21 MPa HE 67 15% con un valor de S/ 367.961 por metro cúbico.

**Tabla 65**

*Análisis de costos unitarios de pavimento de concreto poroso diseño patrón 21*

*MPa IP 67 5%*

Partida	Concreto Porooso Diseño Patrón 21 MPa IP 67 5%				
	Rendimiento: m3/Día	MO.	16	EQ.	16
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	HH	2.0000	1.0000	24.13	24.13
OFICIAL	HH	3.0000	1.5000	19.04	28.56
PEÓN	HH	8.0000	4.0000	17.20	68.80
					<b>121.49</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.5520	75.00	41.40
ARENA GRUESA	m3		0.0305	65.00	1.98
CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5Kg)	Bls		7.1666	22.50	161.25
ADITIVO PLASTIFICANTE	Gln		0.2000	35.00	7.00
ADITIVO RETARDANTE	Gln		0.2100	35.00	7.35
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.1218	10.00	1.22
GASOLINA 84 OCTANOS	Gln		0.5000	16.00	8.00
					<b>228.20</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	121.49	6.07
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP11p3	HM	1.0000	0.5000	18.00	9.00
					<b>15.07</b>
Costo unitario por m3					<b>364.764</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 66***Análisis de costos unitarios de pavimento de concreto poroso diseño 21 MPa HE**67 15%*

Partida Rendimiento: m3/Día <b>Descripción Recurso</b>	<b>Concreto Poroso Diseño 21 MPa HE 67 15%</b>				
	MO.	16	EQ.	16	
	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	HH	2.0000	1.0000	24.13	24.13
OFICIAL	HH	3.0000	1.5000	19.04	28.56
PEÓN	HH	8.0000	4.0000	17.20	68.80
					<b>121.49</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.4939	75.00	37.04
ARENA GRUESA	m3		0.0916	65.00	5.95
CEMENTO PORTLAND TIPO HE (42.5Kg)	Bls		7.1666	23.00	164.83
ADITIVO PLASTIFICANTE	Gln		0.2000	35.00	7.00
ADITIVO RETARDANTE	Gln		0.2100	35.00	7.35
AGUA	m3		0.1218	10.00	1.22
GASOLINA 84 OCTANOS	Gln		0.5000	16.00	8.00
					<b>231.40</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	121.49	6.07
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP11p3	HM	1.0000	0.5000	18.00	9.00
					<b>15.07</b>
<b>Costo unitario por m3</b>					<b>367.961</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Con los análisis de costos de ambos diseños se puede apreciar que el pavimento rígido de concreto poroso que usa cemento HE y tiene mayor porcentaje de agregado fino es ligeramente más costosos a comparación del concreto poroso que usa cemento IP y tiene menor porcentaje de agregado fino. El costo del metro cúbico de la mezcla de concreto poroso del diseño 21 MPa IP 67 5% tiene un valor de S/ 364.764 y la del diseño 21 MPa HE 67 15% un valor de S/ 367.961 existiendo una diferencia de S/3.197 y esto se debe a que el costo del cemento HE es más alto que el del cemento IP.

## 4.2. Discusión de resultados

### Discusión 1

Los resultados que se observan en las tablas y gráficos anteriores, demuestran que el tipo de cemento, granulometría de agregados grueso, así como la cantidad de agregado fino, influyen en las características físicas y mecánicas del concreto hidráulico poroso debido a la gran variabilidad en los resultados, pero de manera satisfactoria; los mejores resultados en resistencia a la compresión y módulo de rotura a la edad de 28 días se dan con los diseños 21 MPa HE 67 15% y 21 MPa HE 7 15%, con 216 y 212 kg/cm<sup>2</sup> para resistencia a la compresión y módulo de rotura de 49.8 y 49.9 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En cuanto a las características físicas de tipo hidráulicas, el diseño de nomenclatura 21 MPa HE 67 5% de agregado fino obtuvo la mayor permeabilidad con 18.33 mm/s, cuyo resultado cumple con los requerimientos del ACI 522R-10, respecto a la tasa de infiltración el diseño 21 MPa IP 67 5% presentó el mayor valor, siendo de 9409.42 mm/h.

Chaiña & Villanueva, 2017 (8), en su investigación, utilizan únicamente agregado de huso 67, comparando el porcentaje de finos, aditivo de 2 marcas y diferentes relaciones a/c las mejores propiedades mecánicas e hidráulicas obtenidas son del diseño PP18-E (Euco a/c 0.40, 10% vacíos con finos 10%) con una resistencia a la compresión de 334 kg/cm<sup>2</sup> resistencia a la tracción indirecta 49 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la flexión 48.8 kg/cm<sup>2</sup> y una permeabilidad de 3.82 mm/s.

La permeabilidad obtenida en la presente investigación (18.33 mm/s) es notoriamente superior a la obtenida por Chaiña y Villanueva, y aunque la similitud se da en la gradación del agregado grueso, que es 67 (3/4"), la diferencia se presenta en la cantidad de pasta y porcentaje de agregado fino incorporado, de 5% a 15%, lo que corrobora que a mayor cantidad de pasta, mayor obstrucción de los poros y, por ende, las características de paso del agua disminuyen, este valor cumple y sobrepasa el rango mencionado en el ACI 522R-10; en cuanto a la tasa de infiltración de 9409.42 mm/h

obtenida en el presente trabajo, se puede clasificar al diseño como un concreto altamente permeable. Respecto a los valores de resistencia, estos podrían estar influenciados por la técnica de compactación de las probetas. En la investigación realizada en el 2017 se empleó una varilla para la compactación de las probetas, pudiendo ejercer una mayor energía comparado con el uso de la mesa vibratoria empleada en la presente investigación.

## **Discusión 2**

Como se evidencia en los resultados obtenidos, se consiguió la mayor resistencia a la compresión ( $f'c=215.96 \text{ kg/cm}^2$ ), con el uso de cemento Portland tipo HE, lo cual representa una mejor prestación a lo requerido, en comparación de los diseños de mezclas que usaron cemento portland tipo IP, esto debido a que el cemento HE desarrolla mejores resistencias a la compresión a edades tempranas, este diseño obtuvo un  $f'c=117.60 \text{ kg/cm}^2$  de resistencia a los 3 días de edad y  $f'c=184.06 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días de edad, el cual ya sobrepasa el valor mínimo de resistencia requerida por la norma técnica de edificaciones (NTE) (37) CE.010 de Pavimentos Urbanos, en el capítulo 4 de Pavimentos especiales, en el cual se indica que la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual a  $175 \text{ kg/cm}^2$ . El mejor módulo de rotura fue de  $49.89 \text{ kg/cm}^2$ , el cual se logró con el diseño de mezclas 21 MPa HE 7% 15%, una permeabilidad de  $18.33 \text{ mm/s}$  con el diseño 21 HE 67 5% y una tasa de infiltración de  $9132.41 \text{ mm/h}$  con el diseño 21 HE 89 5% todos con el cemento portland HE, comprobando que este tipo de cemento es el mejor para ser usado en capa de rodaduras respecto al cemento Portland IP para pavimentos de concreto poroso.

No podemos comparar los resultados obtenidos con otros estudios, ya que hasta el momento no se han desarrollado investigaciones respecto de la influencia de diferentes tipos de cemento en la elaboración de concreto poroso, principalmente para la ciudad de Arequipa.

### Discusión 3

En cuanto al uso de las diferentes granulometrías para los diseños de mezclas, se obtuvo la mayor resistencia a la compresión con  $f'c=215.96 \text{ kg/cm}^2$  y una permeabilidad de  $18.33 \text{ cm/s}$  con el agregado grueso Huso 67 y un módulo de rotura de  $49.89 \text{ kg/cm}^2$  con el agregado Huso 7, teniendo estas mezclas en común el uso de cemento HE.

Según Pérez, 2017 (6), en su investigación, nos da a conocer que la más alta resistencia a la compresión es de  $209.68 \text{ kg/cm}^2$ , y esta se obtuvo usando el agregado grueso N° 4, este valor es semejante a la resistencia de un concreto convencional, el cual es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . En segundo lugar quedó el diseño realizado con el agregado de  $3/8''$ , con el cual se logró una resistencia a la compresión promedio de  $190.30 \text{ kg/cm}^2$ , y en último lugar se tiene al diseño realizado con agregado de  $1/2''$ , con el cual se obtiene la resistencia de  $180.08 \text{ kg/cm}^2$ . El autor de tesis nos da a conocer que cuando el tamaño de agregado grueso es más pequeño, la resistencia a la compresión se incrementa, una de las principales causas de esta situación, es porque cuando va disminuyendo el tamaño del agregado grueso, se va acomodando de mejor manera las partículas en la mezcla y existirá una mayor adherencia entre las mismas.

En la presente investigación, el agregado grueso Huso 67 obtuvo los mejores resultados a pesar de ser el agregado grueso de mayor tamaño. En ese sentido, podemos sospechar que el uso del cemento portland HE, combinado con las características del agregado, como es dureza, forma angulosa y rugosa, genera una mejor adherencia de las partículas con la pasta, ofreciendo características de resistencia combinadas con una alta permeabilidad. En las probetas ensayadas a compresión se observó que la falla no siempre se da en la pasta, en muchas ocasiones fallan los agregados, indicando que la pasta confiere un alto grado de unión de las partículas.

#### Discusión 4

La adición de agregado fino (arena), tanto en 5% como 15%, a los diseños de mezclas, desarrollaron un papel muy importante en las características de los concretos. Los mejores resultados en resistencias a compresión con  $f_c=215.96 \text{ kg/cm}^2$  y módulo de rotura de  $49.89 \text{ kg/cm}^2$ , se dieron con adición de 15% de arena; en cuanto a la permeabilidad, se logró obtener un resultado de  $18.33 \text{ mm/s}$  y una tasa de infiltración de  $9409.42 \text{ mm/h}$  con la adición de 5% de arena. Por lo tanto, la adición de 15% de arena se traduce en el incremento de pasta, la misma que genera mayor adherencia entre las partículas de agregado grueso, pero ocupando los vacíos, por lo que mientras mayor cantidad de agregado fino se considere en la mezcla, mayor serán sus resistencias (compresión y flexión), y menor su permeabilidad y su tasa de infiltración.

Villanueva, 2020 (7), nos menciona que la más alta resistencia a la compresión obtenida en su investigación fue de  $207.56 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de 15% de agregado fino (arena) y este valor se aproxima a la resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , el cual se usa para un concreto convencional. Las resistencias tienden a aumentar según mayor sea la cantidad de agregado fino incorporada; en ese sentido, se establece que el porcentaje de aumento de resistencia con la adición de 0% a 5% de agregado fino es de 20.28%, para la adición de 5% a 10% hay un aumento de resistencia de 21.78%, y para la adición de 10% a 15% hay un incremento de 19.62%. De lo antes mencionado, se concluye que a medida que aumenta el porcentaje de agregado fino, también aumenta la resistencia a la compresión.

Según Moujir & Castañeda, 2014 (5), nos da a conocer en su investigación que sus resultados en promedio de resistencias a la compresión y flexión de su diseño de mezcla tipo I con finos es 7.71% y 3.0% es mayor respecto a su mezcla tipo II que no considera finos. Asegura que usar agregados finos en la mezcla nos ofrece una mayor cohesión en la pasta, llenando así los vacíos que son producidos por el agregado grueso, logrando dar a las partículas más superficie de contacto y por tal causa la mezcla se comporta mejor ante los esfuerzos.

## CONCLUSIONES

### Conclusión 1

Se elaboraron doce mezclas de concreto poroso para el análisis de la influencia del tipo de cemento y granulometrías de agregado grueso y fino, se determinaron las características físicas y mecánicas mediante diferentes ensayos. Todos los diseños de mezcla se realizaron tomando como base un diseño patrón, al cual se sustituyeron los materiales para registrar su influencia. Ya que la característica principal de un concreto hidráulico poroso es su capacidad de paso de agua a través de su estructura, se concluye que el diseño 21 MPa IP H67 5% es el concreto que cumple inmejorablemente con esta característica; sin embargo, su capacidad de resistencia a la compresión y módulo de rotura es deficiente. Si tomamos en cuenta como requisito principal la capacidad de resistencia a los esfuerzos del pavimento, los diseños con cemento tipo HE, agregados gruesos de huso 67 y 7 con la incorporación de 15% de agregado fino, cumplen satisfactoriamente la resistencia necesaria, pero sus características permeables se ven limitadas.

Al llegar a este punto es evidente que existe una clara influencia en las características mecánicas y físicas del material con el que se decida diseñar los pavimentos permeables de concreto. Es de gran importancia conocer algunas características del lugar en donde se va a utilizar para diseñarlo conforme a esas solicitudes, como son intensidad de lluvia, tasa de precipitación, caudales pluviales, etc.

### Conclusión 2

En cuanto a la resistencia a la compresión, se aprecia una diferencia notoria en los valores obtenidos, siendo que los diseños con cemento tipo HE presentan resistencias elevadas en comparación con el cemento tipo IP. La mayor resistencia a la compresión con cemento HE es de 215.96 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que con cemento tipo IP solo se llegó a 172.12 kg/cm<sup>2</sup>, ambos diseños elaborados con piedra huso 67 y considerando 5% de agregado fino. El diseño con

cemento tipo HE, cumple los requisitos mínimos de la norma técnica de edificaciones CE.010 de Pavimentos Urbanos en el capítulo 4 de Pavimentos especiales (37) el cual cita que la resistencia a la compresión debe ser mayor o igual a 175 kg/cm<sup>2</sup>.

Respecto al ensayo a flexión realizado en especímenes tipo viga, los resultados nuevamente marcan una clara diferencia, producto de la variación del tipo de cemento. Los diseños con cemento HE presentaron mayores módulos de rotura, siendo el mayor 49.89 kg/cm<sup>2</sup>; con cemento IP se llegó al 45.41 kg/cm<sup>2</sup>, ambos se obtuvieron en diseños elaborados con agregado huso 7 y con 15% de adición de agregado fino.

Por otro lado, la variación del tipo de cemento no ha mostrado resultados diferenciados en las propiedades hidráulicas evaluadas como son permeabilidad y tasa de infiltración. El diseño que presenta mayor resistencia a la compresión, 21 MPa HE 67 5%, tiene una permeabilidad de 18.33 mm/s y una tasa de infiltración de 4206.94 mm/h. El diseño con mayor resistencia a la flexión, 21 MPa HE 7 15%, presenta permeabilidad de 2.99 mm/s y una tasa de infiltración de 1452.04 mm/h.

### **Conclusión 3**

En relación con la influencia de la granulometría del agregado grueso en la resistencia a la compresión, los diseños que emplean agregado de huso 67 y 15% de agregado fino son los que presentaron mayores resistencias. El diseño 21 MPa IP 67 15% registró 172.12 kg/cm<sup>2</sup>, así como el 21 MPa HE 67 15% con 215.96 kg/cm<sup>2</sup>. Respecto al módulo de rotura, los mayores registros se tienen con agregado grueso H7 y considerando 15% de agregado fino. El diseño 21 MPa IP 7 15% con 45.41 kg/cm<sup>2</sup>, frente al 49.89 kg/cm<sup>2</sup> del diseño 21 MPa HE H7 15%.

Sobre el ensayo de permeabilidad, los mayores resultados corresponden al agregado H67, los menores al agregado H89, es decir, se tienen ratios de permeabilidad desde 18.33 mm/s hasta 1.80 mm/s. La influencia del tamaño del agregado es bastante notoria. Con respecto al ensayo para hallar la tasa de infiltración, los mayores valores corresponden a diseños con

H67 y H89, ambos con 5% de agregado fino, sus pares con 15% de finos presentan valores muy pequeños. El rango de la tasa de infiltración obtenida va desde 1214.14 mm/h hasta 9409.42 mm/h. Es apreciable que los poros que se generan debido al tamaño de las partículas del agregado H67 influyen directamente en la mayor tasa de infiltración.

#### **Conclusión 4**

Se determinó la influencia de la cantidad de agregado fino (arena) en los diseños de mezclas, obteniendo mejores resultados con la adición del 15% de arena, la resistencia a la compresión está entre un rango de 165.85 a 215.96 kg/m<sup>2</sup> y el módulo de rotura están en un rango de 38.84 a 49.89 kg/m<sup>2</sup> comparado con las mezclas que llevan adición de 5% de arena, cuyos valores de resistencia a la compresión están entre 75.43 a 184.84 kg/m<sup>2</sup>, y el módulo de rotura está entre 21.38 a 40.90 kg/m<sup>2</sup>.

Para la permeabilidad y tasa de infiltración se obtuvo mejores resultados con la adición del 5% de arena, la permeabilidad en un rango de 1.93 a 18.33 mm/s y la tasa de infiltración va de un rango de 2233.19 a 9409.42 mm/h comparado con la adición de 15% de arena que presenta una permeabilidad en un rango de 1.8 a 10.34 mm/s y una tasa de infiltración en un rango de 1214.14 a 5059.62 mm/h.

Con estos resultados se ratifica lo expresado en el reporte del ACI 522R-10, el cual menciona que al agregar más arena al concreto poroso se logran mejores resistencias de compresión y módulos de rotura, pero se reduce la permeabilidad de este mismo; con 5% de arena en los diseños propuestos obtuvimos muy buenos resultados en permeabilidad y tasa de infiltración, las cuales son las principales características de un concreto poroso, pero al aumentar la cantidad a 15% de arena se logró mejores resistencias a la compresión y flexión pero bajaron en su permeabilidad y tasa de infiltración.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios con diferentes valores de relación a/c para los diseños óptimos en características hidráulicas.
- Se recomienda realizar investigación con agregados gruesos combinados, buscando optimizar aún más las características hidráulicas y mecánicas del concreto poroso.
- Se recomienda realizar estudios comparando los tipos de consolidación de los especímenes, vibrado, chuseado y con martillo Proctor, para determinar su influencia en las características físicas y mecánicas del concreto permeable.
- Se recomienda realizar más estudios y análisis de la influencia de los diferentes tipos de cemento que existen en el mercado de la ciudad de Arequipa, para la elaboración de concreto poroso y compararlos en base a sus características hidráulicas y mecánicas.
- Para la elaboración del concreto poroso se debe tener en cuenta que el uso de agregado fino (arena) debe ser menor a 15% para que la característica principal de este tipo de concreto, que es la permeabilidad, no tenga resultados muy bajos
- Para la producción del concreto poroso a escala industrial, es decir, en plantas de concreto premezclado recomendamos dosificar la mezcla, pero en estado seco con la finalidad de añadir el agua y los aditivos a pie de obra, la escasa cantidad de mortero en comparación con el concreto convencional genera que el concreto hidráulico poroso tenga una pérdida de trabajabilidad mayor, por lo que se debe considerar un colocado lo más pronto posible una vez que todos los materiales terminen de ser mezclados. En cuanto al curado, el uso de materiales como mantas o plásticos que conserven la humedad será clave, así como el añadir agua de manera juiciosa, pero constante para mantener húmeda toda la estructura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Bad Drainage and Its Effects on Road Pavement Conditions in Nigeria*. **Godwin Lazz, Yisa y Itomi-ushi, Daudu Paul**. 2013, Civil and Environmental Research - IISTE, págs. 7-16.
2. **Leon & Rosero**. Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas gradaciones. Ecuador: s.n., 2016.
3. **Meneses & Bravo**. Resistencia mecánica y condiciones de obra del concreto poroso en los pavimentos, según el tipo de granulometría. Medellín: s.n., 2007.
4. **Nuñez**. Fabricación de hormigón permeable para canchas de uso múltiple con la utilización de agregados de la provincia de pichincha. Quito: s.n., 2015.
5. **Moujir & Castañeda**. Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. Santiago de Cali: s.n., 2014.
6. **Perez**. Influencia de la granulometría del agregado grueso en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, Trujillo, 2017 . Trujillo: s.n., 2017.
7. **Villanueva**. Influencia de diferentes porcentajes del agregado fino en las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable, en Trujillo 2020. Trujillo: s.n., 2020.
8. **Chaiña & Villanueva**. Diseño de concreto permeable para pavimentos rígidos, utilizando piedra huso 67 y arena gruesa de la cantera La Poderosa, para la ciudad de Arequipa. Arequipa: s.n., 2017.
9. *Estudio y Análisis de Dosificaciones para la Elaboracion de Hormigon Poroso con Materiales Locales*. **Chávez Chaparro, Gustavo**. Encarnacion: Revista sobre estudios e investigaciones del saber academico, 2013.
10. **Calderón Colca Yaneth Verónica, Charca Chura Juan Antonio, Yanqui Murillo Calixtro**. *Investigacion en Concret Poroso*. Arequipa: Boletin Informativo ASOCEM, 2013.
11. **Fernández Arrieta Roberto & Navas Carro Alejandro**. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresion uniaxial y su permeabilidad. *Concreto Permeable*. Costa Rica: s.n., 2011.
12. **ACI 522R-10**. Reporte de concreto permeable. Farmington Hills U.S.A.: s.n., 2010.
13. **ARGOS**. Archdaily. *ArchDaily*. [En línea]. ArchDaily Colombia, 2021. [Citado el: 17 de Julio de 2021.] <https://www.archdaily.co/catalog/co/products/8344/concreto-permeable-argos>.
14. *El Concreto Permeable y su Aplicación al Drenaje Vial*. **ASOCEM**. Lima: s.n., 2018.

15. **American Society for Testing and Materials ASTM C150.** Standard Specification for Portland Cement.
16. **American Society for Testing and Materials ASTM C618.** Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.
17. **American Society for Testing and Materials ASTM C989.** Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars.
18. **Portland Cement Association.** Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Skokie Illinois U.S.A.: s.n., 2004.
19. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.037.** Agregado para concreto. Requisitos. Lima, Perú: s.n., 2018.
20. **American Society for Testing and Materials ASTM C33.** Standard Specification for Concrete Aggregates.
21. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.088.** Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. Lima, Perú: s.n., 2014.
22. **American Society for Testing and Materials ASTM C494.** Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. Internacional: s.n.
23. **Pasquel C., Enrique.** *Concreto en estado fresco en la obra.* Lima: Control Mix Express, 2017.
24. **National Ready Mixed Concrete Association.** [www.nrmca.org/](http://www.nrmca.org/). *National Ready Mixed Concrete Association.* [En línea] National Ready Mixed Concrete Association. [Citado el: 12 de Diciembre de 2020.] [www.nrmca.org/](http://www.nrmca.org/).
25. **American Society for Testing and Materials ASTM C138.** Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.
26. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.183.** Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. Lima, Perú: s.n., 2016.
27. **Ligia M. Vélez.** Permeabilidad y Porosidad en Concreto. Medellín - Colombia: Revista Tecno Logicas, 2010. 25.
28. **American Society for Testing and Materials ASTM C1701.** Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete.
29. **American Society for Testing and Materials ASTM C39.** Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
30. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.034.** Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Lima-Perú: s.n., 2015.

31. **American Society for Testing and Materials ASTM C78.** Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete.
32. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.078.** Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. Lima, Perú: s.n., 2017.
33. **Fernández Arrieta, Roberto J. y Navas Carro, Alejandro,** *Concreto Permeable. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad,* Puerto Rico: s.n., Mayo 2011.
34. **Uso y Aplicación del Concreto Poroso.**  
[www.360enconcreto.com/blog/detalle/recorriendo-latitudes-con-concreto-permeable](http://www.360enconcreto.com/blog/detalle/recorriendo-latitudes-con-concreto-permeable).  
 [En línea] [Citado el: 1 de agosto de 2021.]
35. **Collins, Dan.** [www.ventos.site/autos/hidroplaneo-9-consejos-de-expertos-para-mantener-tu-coche-bajo-control/](http://www.ventos.site/autos/hidroplaneo-9-consejos-de-expertos-para-mantener-tu-coche-bajo-control/). [En línea] 30 de Octubre de 2018. [Citado el: 1 de Agosto de 2021.]
36. **www.fing.edu.uy/sites/default/files/2015/24560/2018\_4-Pieralisi%20-%20Hormig%C3%B3n%20Permeable%20Usos%20Especificaciones%20y%20Dise%C3%B1o.** [En línea] [Citado el: 1 de Agosto de 2021.]
37. **Hernández Sampieri, Roberto; Fernandez Collado, Carlos, Baptista Lucio María del Pilar.** *Metodología de la Investigación.* México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V, 2014. SEXTA EDICIÓN.
38. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.036.** *Práctica Normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco.* Lima, Perú: s.n., 2017.
39. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.199.** Especificación normalizada para la preparación y ensayo de especímenes de concreto proyectado extraídos de paneles de ensayo. Lima, Perú: s.n., 2016.
40. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.012.** Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Lima, Perú: s.n., 2016.
41. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.018.** Metodo del Ensayo Normalizado Para Determinar Materiales Mas Finos que pasan por el Tamiz Normalizad 75 um (N.200) por lavado en agregados. Lima, Perú: s.n., 2002.
42. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 339.185.** Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima, Perú: s.n., 2013.
43. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.021.** Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Lima, Perú: s.n., 2018.

44. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.022.** Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Lima, Perú: s.n., 2018.
45. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.017.** Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("peso unitario") y los vacíos en los agregados. Lima, Perú: s.n., 2016.
46. **AGREGADOS, Norma Técnica Peruana NTP 400.010.** Extracción y preparación de las muestras. Lima, Perú: s.n., 2001.
47. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.230.** Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco. Lima, Perú: s.n., 2018.
48. **CONCRETO, Norma Técnica Peruana NTP 339.184.** Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto. Lima, Perú: s.n., 2018.
49. **(RNE), Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma Técnica de Edificaciones CE.010.** Pavimentos Urbanos, capítulo 4: Pavimentos especiales. Lima: s.n., 2010.
50. ***No-Fines Pervious Concrete for Paving.* Meininger, Richard C. 1998,** Concrete International, Vol. 10, págs. 20-27.
51. **American Concrete Institute (ACI). ACI 522R-10** Report on Pervious Concrete. 2010.

## ANEXOS

### Anexo 1. Operacionalización de variables

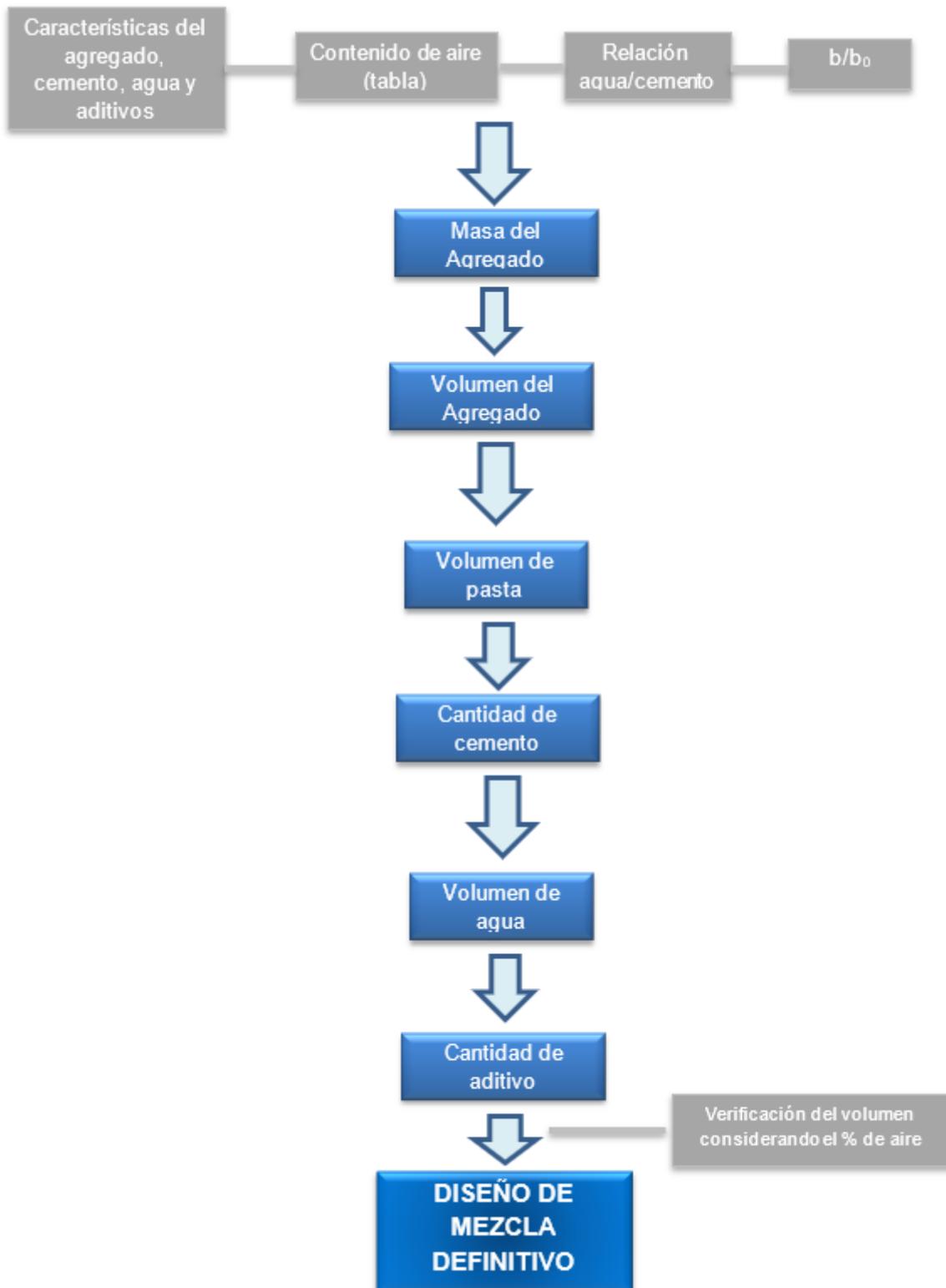
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
<b>Variables Independientes:</b>				
<b>Tipo de cemento</b>	El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido, que amasado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.	Cemento Portland IP	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Consistencia del concreto</li> <li>•Estabilidad de la pasta del cemento</li> <li>•Cantidad de cemento</li> </ul>	Peso del cemento
		Cemento Portland HE	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Consistencia del concreto</li> <li>•Estabilidad de la pasta del cemento</li> <li>•Cantidad de cemento</li> </ul>	Peso del cemento
<b>Granulometría del agregado</b>	Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.	Agregado grueso	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cantidad de agregado grueso</li> <li>•Contenido de vacíos</li> <li>•Resistencias</li> </ul>	H89, H7 y H67
<b>Cantidad de agregado fino</b>	Se refiere al uso de poco o nada de arena, la cual es un material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9,5 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C 33.	Arena	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de vacíos</li> <li>•Consistencia del concreto</li> <li>•Resistencias</li> </ul>	5%
		Arena	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de vacíos</li> <li>•Consistencia del concreto</li> <li>•Resistencias</li> </ul>	15%
<b>Variables Dependientes:</b>				
<b>Propiedades Físicas</b>	Es aquella que se basa principalmente en la estructura de la materia, que es visible y medible, podemos definir las propiedades físicas de un objeto mediante la observación y la medición.	Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de vacíos</li> <li>•Diámetro y altura</li> <li>•Tiempo</li> </ul>	mm/s
		Tasa de infiltración	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Contenido de vacíos</li> <li>•Diámetro y masa</li> <li>•Tiempo</li> </ul>	mm/h
<b>Propiedades mecánicas</b>	Capacidad de los materiales para resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.	Resistencia a la compresión	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fuerza máxima</li> <li>•Área resistente</li> </ul>	MPa o Kg/cm <sup>2</sup>
		Resistencia a la flexión (MR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Fuerza máxima</li> <li>•Altura y largo</li> </ul>	MPa o Kg/cm <sup>2</sup>

## Anexo 2. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema Principal:</b> ¿Cuál es la influencia del tipo de cemento y granulometrías de agregado fino y grueso en las características físicas y mecánicas de pavimentos de concretos porosos en la ciudad de Arequipa?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> - ¿Cuál es el efecto del tipo de cemento en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua? - ¿Cuál es la influencia de la granulometría de agregado grueso en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua? - ¿Cuál es la influencia de la cantidad de agregado fino en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua?</p>	<p><b>Objetivo Principal:</b> Analizar la influencia del tipo de cemento y granulometrías de diferentes agregados en las características físicas y mecánicas de pavimentos de concretos porosos en la ciudad de Arequipa.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> - Comparar el efecto del tipo de cemento en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua. - Determinar la influencia de la granulometría de agregado grueso en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua. - Determinar la influencia de la cantidad de agregado fino en las características de resistencia, permeabilidad y tasa de infiltración de agua.</p>	<p><b>Hipótesis principal:</b> El uso de cemento tipo HE, agregado grueso con menor tamaño y mayor porcentaje de agregado fino permiten obtener los mayores valores de resistencia mecánica del concreto poroso; sin embargo, un mayor tamaño de agregado grueso y menor porcentaje de agregado fino conducirán a mayores valores de permeabilidad y tasa de infiltración en los pavimentos de concretos porosos en la ciudad de Arequipa.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> - La influencia de un cemento tipo HE permite obtener mayores valores en las características de resistencia a comparación de un cemento tipo IP. - El uso de agregado grueso con menor tamaño permite obtener mejores características de resistencia y consecuentemente menores valores de permeabilidad y tasa de infiltración. - Un mayor porcentaje de agregado fino en la mezcla de concreto poroso conduce a mejorar las características de resistencia y al mismo tiempo reduce la permeabilidad y tasa de infiltración de este último.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Tipo de cemento. Granulometría del agregado grueso. Cantidad de agregado fino</p> <p><b>Indicadores:</b> - Consistencia del concreto. - Estabilidad de la pasta del cemento. - Cantidad de cemento. - Cantidad de agregado grueso. - Contenido de vacíos. - Resistencias.</p> <p><b>Variable Dependiente:</b> Propiedades físicas de concreto hidráulico poroso. Propiedades mecánicas de concreto hidráulico poroso</p> <p><b>Indicadores:</b> - Contenido de vacíos. - Diámetro y altura. - Tiempo. - Diámetro y masa. - Fuerza máxima. - Área resistente. - Altura y largo.</p>	<p><b>Método y alcance de la investigación:</b> Método deductivo, tipo descriptivo correlacional, nivel descriptivo relacional</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> Tipo experimental.</p> <p><b>Población:</b> La población estará conformada por todas las probetas cilíndricas, así como las vigas rectangulares y paneles de losa de concreto poroso elaboradas con los diferentes tipos de cemento y agregado grueso combinados con los porcentajes de agregado fino reemplazados en un diseño patrón.</p> <p><b>Muestra:</b> Para el ensayo de resistencia a la compresión la muestra estará constituida por un total de 288 probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días de edad. Para el ensayo de resistencia a la flexión la muestra estará constituida por un total de 72 vigas rectangulares de 15 cm x 15 cm x 50 cm, ensayadas a los 7 y 28 días de edad. Para el ensayo de permeabilidad la muestra estará constituida por un total de 36 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 15 cm de altura, ensayadas después de los 28 días de edad. Para el ensayo de tasa de Infiltración la muestra estará constituida por un total de 36 losas cuadradas de 1 m x 1 m x 15 cm, ensayadas luego de los 28 días de edad.</p> <p><b>Técnicas e Instrumentos de recolección de datos:</b> La observación y ensayos de laboratorio. Normas NTP y ASTM. Código del ACI 522R-10. Formatos de recolección de datos</p>

### Anexo 3. Flujograma del desarrollo del diseño de mezcla patrón

Datos de entrada:



### Anexo 4. Resultados de ensayos en concreto fresco

CÓDIGO DE MEZCLA	DESCRIPCIÓN	Temperatura concreto (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Peso unitario (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad teórica (kg/m3)	Aire %
DCP - 001	210 IP 67 5% FINO	20.0	24.9	25.0	15706	1732.07	36331.90	17.63
DCP - 002	210 HE 67 5% FINO	26.0	25.7	22.0	17560	1993.79	39358.03	17.54
DCP - 003	210 IP 67 15% FINO	22.8	25.9	23.0	17190	1941.56	36193.56	7.31
DCP - 004	210 HE 67 15% FINO	24.0	23.7	24.0	18400	2112.37	39211.22	8.39
DCP - 005	210 IP 7 5% FINO	18.1	23.8	25.0	16758	1880.58	37339.60	10.19
DCP - 006	210 HE 7 5% FINO	22.8	24.9	23.0	17044	1920.95	37685.45	13.92
DCP - 007	210 IP 7 15% FINO	23.1	25.4	23.0	17446	1977.70	37213.97	5.23
DCP - 008	210 HE 7 15% FINO	23.4	25.7	22.0	17650	2006.49	37558.41	2.85
DCP - 009	210 IP 89 5% FINO	20.9	28.1	22.0	16214	1803.78	35685.38	13.46
DCP - 010	210 HE 89 5% FINO	25.4	28.1	23.0	16554	1851.78	36015.70	10.08
DCP - 011	210 IP 89 15% FINO	25.6	27.1	23.0	17104	1929.42	35579.50	7.16
DCP - 012	210 HE 89 15% FINO	21.8	25.9	22.0	17122	1931.96	35909.82	7.04
DCP - 013	210 IP 67 5% FINO	19.0	23.9	25.0	15928	1763.41	35998.76	15.36
DCP - 014	210 HE 67 5% FINO	22.7	29.0	22.0	16796	1885.94	36331.90	17.02
DCP - 015	210 IP 67 15% FINO	24.4	28.3	22.0	17684	2011.29	35860.42	9.90
DCP - 016	210 HE 67 15% FINO	23.9	26.9	22.0	18240	2089.78	36193.56	6.98
DCP - 017	210 IP 7 5% FINO	18.4	19.5	25.0	16782	1883.96	35846.30	9.19
DCP - 018	210 HE 7 5% FINO	21.5	22.0	26.0	16982	1912.20	36178.04	8.68
DCP - 019	210 IP 7 15% FINO	23.5	26.1	23.0	17610	2000.85	35724.90	3.23
DCP - 020	210 HE 7 15% FINO	23.7	25.7	23.0	17704	2014.12	36055.22	3.48
DCP - 021	210 IP 89 5% FINO	18.1	23.5	25.0	16364	1824.96	35685.38	11.64
DCP - 022	210 HE 89 5% FINO	20.9	24.3	24.0	16724	1875.78	36015.70	10.01
DCP - 023	210 IP 89 15% FINO	23.4	26.3	22.0	17090	1927.44	35579.50	6.40
DCP - 024	210 HE 89 15% FINO	24.9	26.3	22.0	17232	1947.49	35909.82	6.29
DCP - 025	210 IP 67 5% FINO	19.9	22.5	25.0	16088	1786.00	35998.76	14.28
DCP - 026	210 HE 67 5% FINO	22.8	24.3	24.0	16498	1843.87	36331.90	12.31
DCP - 027	210 IP 67 15% FINO	24.2	25.7	23.0	17430	1975.44	35860.42	7.54

CÓDIGO DE MEZCLA	DESCRIPCIÓN	Temperatura concreto (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad relativa (%)	Peso unitario (kg)	Densidad (kg/m3)	Densidad teórica (kg/m3)	Aire %
DCP - 028	210 HE 67 15% FINO	24.4	24.5	25.0	18532	2131.00	36193.56	5.01
DCP - 029	210 IP 7 5% FINO	23.7	24.9	24.0	17042	1920.67	35846.30	7.42
DCP - 030	210 HE 7 5% FINO	23.1	24.7	27.0	16926	1904.29	36178.04	9.05
DCP - 031	210 IP 7 15% FINO	26.2	26.1	23.0	17608	2000.56	35724.90	3.25
DCP - 032	210 HE 7 15% FINO	26.2	25.1	22.0	17986	2053.92	36055.22	4.28
DCP - 033	210 IP 89 5% FINO	18.3	22.5	26.0	16318	1818.46	35685.38	11.95
DCP - 034	210 HE 89 5% FINO	19.8	22.7	25.0	16362	1824.68	36015.70	12.46
DCP - 035	210 IP 89 15% FINO	21.6	23.5	25.0	17314	1959.06	35579.50	4.87
DCP - 036	210 HE 89 15% FINO	24.7	22.9	25.0	17140	1934.50	35909.82	6.92

## Anexo 5. Certificado de cemento IP y HE

### CERTIFICADO DE CALIDAD

CEMENTO  
**YURA**

### CEMENTO PORTLAND TIPO IP

#### REQUERIMIENTOS QUIMICOS:

	YURA	ASTM C595 NTP 334.090
Óxido de Magnesio, MgO, (%)	1.97	6.0 Máximo
Trióxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , (%)	1.78	4.0 Máximo
Pérdida por Ignición, (%)	2.46	5.0 Máximo

#### REQUERIMIENTOS FISICOS:

Peso Específico, (g/cm <sup>3</sup> )	2.76	No Especifico
Expansión en Autoclave, (%)	-0.03	0.30 Máximo
Tiempo de Fragado (Inicial)	205	45 - 420
Tiempo de Fragado (Final)	295	No Especifico
Contenido de Aire del mortero, (%)	3.66	12 Máximo
Superficie Específica Blaine, (cm <sup>2</sup> /gr)	5050	No Especifico
Finura Malla N° 325, (%)	3.58	No especifico

#### Resistencia a la Compresión, MPa, (Kgf/cm<sup>2</sup>)

Mínimo :

01 día	8.8 (89)	No Especifico
03 días	18.6 (190)	13.0 (133)
07 días	23.1 (236)	20.0 (204)
28 días	30.76 (314)	25.0 (255)

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de Julio del 2021 confirmando que este cemento cumple con las especificaciones de las normas técnicas ASTM C595 y NTP 334.090

Arequipa, 02 de Agosto 2021



  
Gonzalo Álvarez Cárdenas  
Jefe de Control de Calidad  
Yura S.A.

Planta: Carretera Yura Km. 26 - Arequipa  
Oficina comercial: Av. General Diez 527 - Arequipa  
Telf.: (51 54) 485060

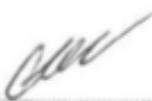
www.yura.com

CEMENTO PORTLAND TIPO HE

	YURA	ASTM C 1157 NTP 334.082
<b>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</b>		
Óxido de Magnesio, MgO, %	2.61	No Especifica
Trióxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , %	1.90	No Especifica
Pérdida por Ignición, %	1.99	No Especifica
<b>REQUERIMIENTOS FISICOS:</b>		
Peso Específico, g/cm <sup>3</sup>	2.94	No Especifica
Expansión en Autoclava, %	0.02	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos	165	45 - 420
Contenido de Aire del mortero, %	4.78	12 Máximo
Superficie Específica Blaine, cm <sup>2</sup> /g	4930	No Especifica
Finura malla N° 325, %	3.02	No Especifica
Expansión de la barra de mortero, 14 días, %	0.01	0.020 Máximo
Resistencia a la Compresión , MPa, (Kg-f/cm <sup>2</sup> )		Mínimo :
01 día	13.23 (135)	12.0 (122)
03 días	26.40 (269)	24.0 (245)
07 días	33.23 (339)	No Especifica -
28 días	Pendiente	No Especifica -

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de Julio del 2021 confirmando que este cemento cumple especificaciones de las normas ASTM C-1157 y NTP 334.082

Arequipa, 02 de Agosto 2021

  
Gonzalo Álvarez Cárdenas  
Jefe de Control de Calidad  
Yura S.A.



Planta: Carretera Yura Km. 26 - Arequipa  
Oficina comercial: Av. General Díez 527 - Arequipa  
Tel: (51 54) 495080

www.yura.com

## Anexo 6. Certificado de Aditivos Plastificante y Retardante



### CERTIFICADO DE CALIDAD

Ciudad de despacho	Lima - Perú
Producto	NEOPLAST 8500 HP
Lote	12600018
Fecha de fabricación	Jun-2021
Fecha de expiración	Jun-2022

Propiedad	Especificación		Lote real
Aspecto QSIPE.06.GU.003 Método visual	Líquido ámbar.		CONFORME
Método	Mínimo	Máximo	Resultado
Densidad (g/ml) - (24 ± 1 °C) QSIPE.06.GU.005 Método picnómetro	1.090	1.130	1.109
pH (pH-metro) - (24 ± 1 °C) QSIPE.06.GU.006 Método potenciométrico	4.80	6.80	5.68
% Sólidos (desecador a 110°C) QSIPE.06.GU.007 Desecador halógeno	50.70	54.70	52.06
INFRAROJO (factor de Correlación) QSIPE.06.GU.024 Análisis por espectroscopia infraroja FTIR	0.980000	1.000000	0.992390

Observaciones:
Visto los resultados reales comparados con los especificados, se aprueba el producto fabricado. La fecha de expiración es de 01 año en condiciones normales de almacenamiento.

Ing. Graciela Ramón Vicente  
Supervisor de Control de Calidad

QSI Perú S.A.  
Telf.: +51-1 710 4000

Av. República de Panamá 2577,  
La Victoria

contacto@qsi.pe

## CERTIFICADO DE CALIDAD

Ciudad de despacho	Lima - Perú
Producto	EUCCO WR 75
Lote	12700014
Fecha de fabricación	Jun-2021
Fecha de expiración	Jun-2022

Propiedad	Especificación		Lote real
Aspecto QSIPE.06.GU.003 Método visual	Líquido incoloro a amarillo tenue.		CONFORME
Método	Mínimo	Máximo	Resultado
Densidad (g/ml) (24 ± 1 °C) QSIPE.06.GU.005 Método picnómetro	1.15	1.17	1.16
pH (pH-metro) (24 ± 1 °C) QSIPE.06.GU.006 Método potenciométrico	6.00	8.00	7.49
% Sólidos (desecador a 110°C) QSIPE.06.GU.007 Desecador halógeno	30.00	32.00	30.99
INFRAROJO (factor de Correlación) QSIPE.06.GU.024 Análisis por espectroscopia infraroja FTIR	0.980000	1.000000	0.993997

Observaciones:
Visto los resultados reales comparados con los especificados, se aprueba el producto fabricado. La fecha de expiración es de 01 año en condiciones normales de almacenamiento.



**Ing. Graciela Ramón Vicente**  
Supervisor de Control de Calidad

## Anexo 7. Reportes de ensayos de agregados

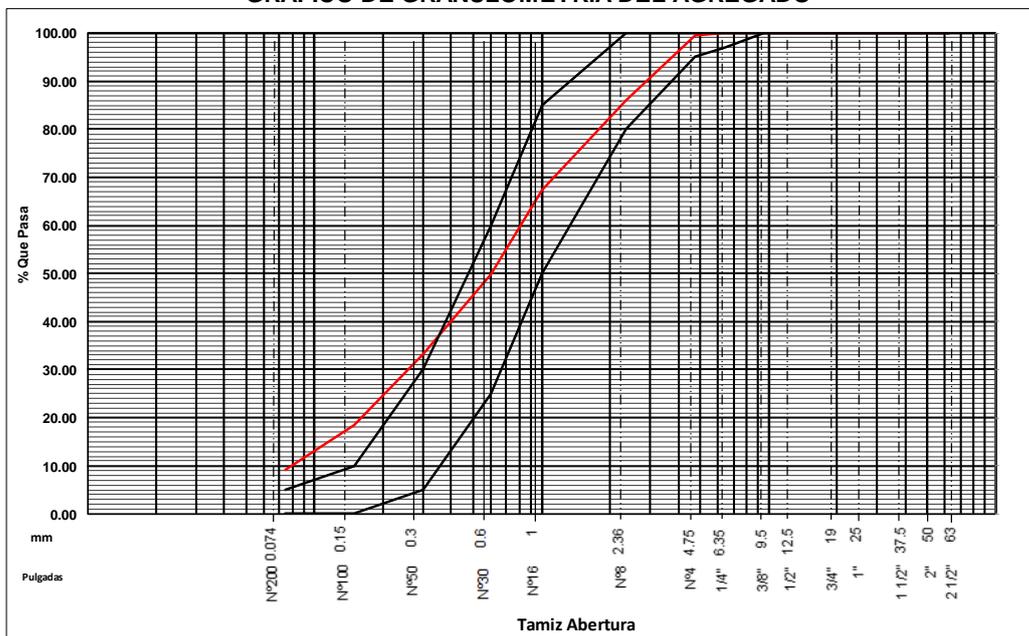


### GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

<b>MATERIAL :</b>	ARENA GRUESA	<b>MUESTRA No :</b>	
<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA	<b>FECHA DE MUESTREO :</b>	15/06/2021
<b>PROCEDENCIA:</b>	PLANTA VARIANTE	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	15/06/2021
<b>ANALIZADO POR:</b>	SUELLEN LOZA	<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	16/06/2021

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MAILLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037			
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	MODULO DE FINURA	2.46	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX NOM.		
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2618	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. COMPAC.	1885	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. SUELTO	1680	kg/m <sup>3</sup>
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	% ABSORCIÓN	2.10	%
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	% HUMEDAD	0.60	%
1/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	% MALLA < # 200	9.34	%
Nº 4	4.00	0.41	0.41	99.59	95-100	HUSO	ARENA	
Nº 8	134.00	13.62	14.02	85.98	80-100	<b>OBSERVACIONES:</b>		
Nº 16	184.00	18.70	32.72	67.28	50-85			
Nº 30	171.00	17.38	50.10	49.90	25-60			
Nº 50	164.00	16.67	66.77	33.23	5-30			
Nº 100	146.00	14.84	81.61	18.39	0-10			
Nº 200	92.00	9.35	90.96	9.04	0-5			
<Nº 200	89.00	9.04	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>984.00</b>	<b>100.00</b>						

**GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO**



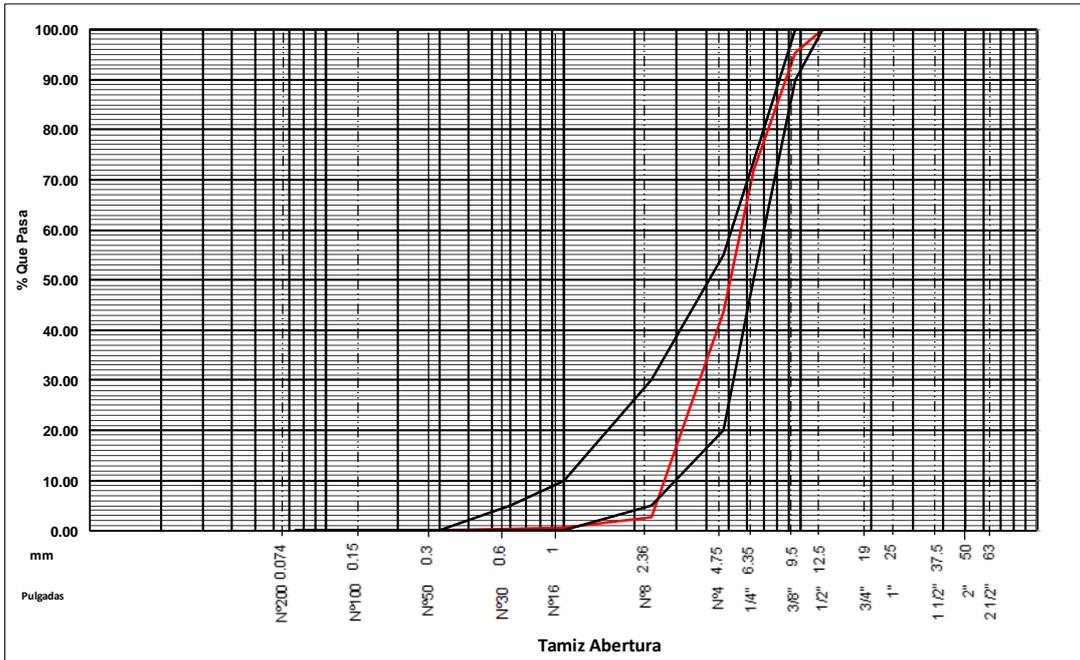


## GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

MATERIAL :	PIEDRA HUSO 89 CONFITILLO	MUESTRA No :	
CANTERA:	LA PODEROSA	FECHA DE MUESTREO :	17/06/2021
PROCEDENCIA:	PLANTA VARIANTE	FECHA DE INGRESO :	17/06/2021
ANALIZADO POR:	REYNA MACHACCA	FECHA DE ANÁLISIS :	18/06/2021

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037			
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	MODULO DE FINURA	5.57	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX. NOM.	3/8"	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2719	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. COMPAC.	1688	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. SUELTO	1524	kg/m <sup>3</sup>
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	% ABSORCIÓN	0.94	%
3/8"	64.20	4.51	4.51	95.49	90-100	% HUMEDAD	0.20	%
1/4"	338.20	23.77	28.28	71.72	-	% MALLA < # 200	0.83	%
Nº 4	401.60	28.23	56.51	43.49	20-55	HUSO	89	
Nº 8	580.10	40.77	97.29	2.71	5-30	OBSERVACIONES:		
Nº 16	30.10	2.12	99.40	0.60	0-10			
Nº 30	2.00	0.14	99.54	0.46	0-5			
Nº 50	6.50	0.46	100.00	0.00	-			
Nº 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>1422.70</b>	<b>100.00</b>						

**GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO**

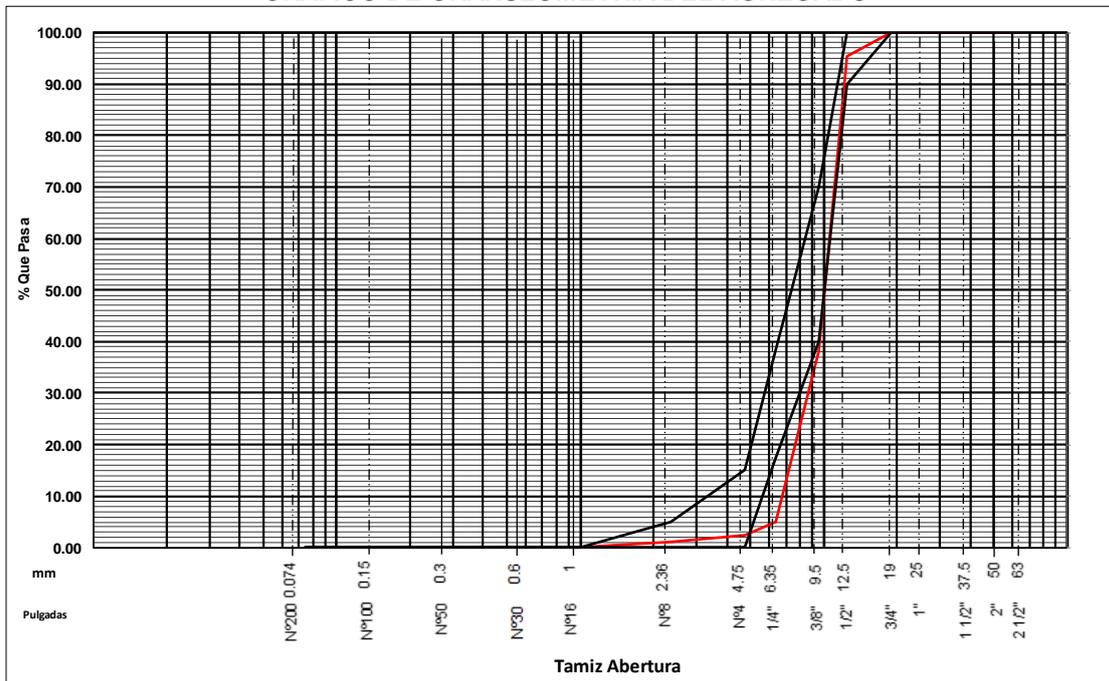


## GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

<b>MATERIAL :</b> PIEDRA HUSO 7	<b>MUESTRA No :</b> _____
<b>CANTERA:</b> LA PODEROSA	<b>FECHA DE MUESTREO :</b> 16/06/2021
<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA VARIANTE	<b>FECHA DE INGRESO :</b> 16/06/2021
<b>ANALIZADO POR:</b> SUELLEN LOZA	<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b> 17/06/2021

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037			
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	MODULO DE FINURA	6.28	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX. NOM.	1/2"	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2735	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO VOL. COMPAC.	1565	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	PESO VOL. SUELTO	1428	kg/m <sup>3</sup>
1/2"	636.00	14.46	14.46	95.46	90-100	% ABSORCIÓN	0.97	%
3/8"	1058.00	24.06	38.52	38.06	40-70	% HUMEDAD	0.36	%
1/4"	1412.00	32.11	70.62	4.92	-	% MALLA < # 200	0.64	%
Nº 4	867.00	19.71	90.34	2.33	0-15	HUSO	7	
Nº 8	375.00	8.53	98.86	1.14	0-5	<b>OBSERVACIONES:</b>		
Nº 16	50.00	1.14	100.00	0.00	-			
Nº 30	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 50	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>4398.00</b>	<b>100.00</b>						

### GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO

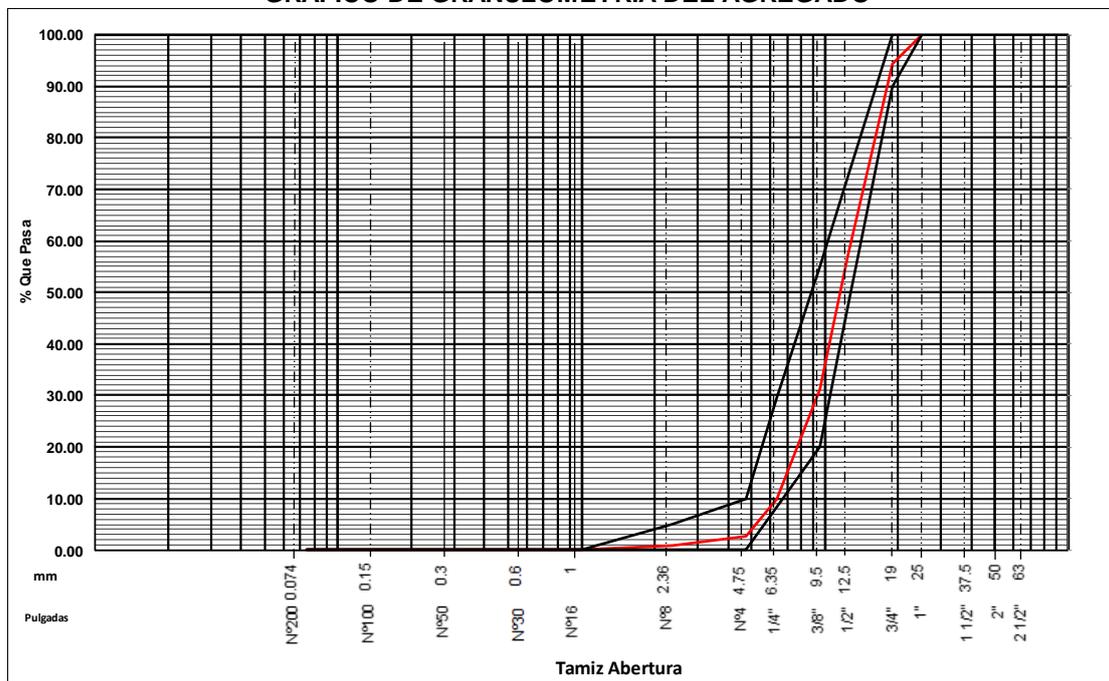


## GRANULOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO

<b>MATERIAL :</b> PIEDRA HUSO 67	<b>MUESTRA No :</b> _____
<b>CANTERA:</b> LA PODEROSA	<b>FECHA DE MUESTREO :</b> 16/06/2021
<b>PROCEDENCIA:</b> PLANTA VARIANTE	<b>FECHA DE INGRESO :</b> 16/06/2021
<b>ANALIZADO POR:</b> REYNA MACHACCA	<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b> 17/06/2021

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037			
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	MODULO DE FINURA	6.71	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	TAMAÑO MAX. NOM.	3/4"	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	PESO ESP. SSS	2750	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	PESO VOL. COMPAC.	1650	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	518.00	5.57	5.57	94.43	90-100	PESO VOL. SUELTO	1450	kg/m <sup>3</sup>
1/2"	3458.00	37.15	42.72	57.28	-	% ABSORCIÓN	0.88	%
3/8"	2424.00	26.04	68.77	31.23	20-55	% HUMEDAD	0.20	%
1/4"	1975.00	21.22	89.99	10.01	-	% MALLA < # 200	0.62	%
Nº 4	684.00	7.35	97.34	2.66	0-10	HUSO	67	
Nº 8	165.00	1.77	99.11	0.89	0-5	<b>OBSERVACIONES:</b>		
Nº 16	83.00	0.89	100.00	0.00	-			
Nº 30	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 50	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>9307.00</b>	<b>100.00</b>						

### GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO



## Anexo 8. Certificado de verificación de prensa hidráulica



Código de certificado

PRH-L-05-2020

**CONCRETOS SUPERMIX S.A.**

LABORATORIO DE METROLOGÍA

### CERTIFICADO DE VERIFICACIÓN

(Pág. 1 de 3)

**Fecha de verificación:** 05-12-2020  
**Equipo calibrado:** Máquina de compresión axial electro - hidráulica digital.  
**Fabricante:** AM3 MATEST S.P.A.  
**Modelo del indicador:** GM199554  
**Número de serie del indicador:** GM19554/AG/0018  
**Modelo de la prensa:** C089PN945  
**Número de serie de la prensa:** C089PN945/AG/0001  
**Capacidad:** 2200 KN  
**Identificación interna:** PRH - L - 05  
**Solicitante:** Laboratorio Gloria  
**Ubicación:** Av. Alfonso Ugarte N° 527 Arequipa - Arequipa - Arequipa.  
**Frecuencia de verificación:** Anual  
**Próxima fecha de verificación:** 05-12-2021

Este certificado de verificación es trazable a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El área de Metrología no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de verificación no es válido sin la firma del Sub Gerente del área de Control de Calidad.

Este certificado de verificación no podrá ser reproducido parcialmente excepto con autorización del área de Metrología.

Revisado:

Arequipa, 10 de Diciembre del 2020

CONCRETOS  
**SUPERMIX**  
Productos de Alta Resistencia  
ING. VICTOR POSTIGO CUBA  
CONTROL DE CALIDAD

CONCRETOS  
**SUPERMIX**  
Productos de Alta Resistencia  
ING. PATRICIA CARPIO SALAZAR  
Líder de Control de Calidad  
CIP. 106565

Concretos Supermix S.A.  
RUC: 20392965191

Carretera Variante de Uchumayo Km 5.5 Cerro Colorado - Arequipa  
T. (51 - 54) 599370 Línea gratuita: 0800 22 900

[www.supermix.com.pe](http://www.supermix.com.pe)  
[contactenos@supermix.com.pe](mailto:contactenos@supermix.com.pe)

**Procedimiento utilizado:** La verificación se realizó según el método C de la norma ASTM E4-16 “Standard Practices for Force Verification of Testing Machines”. El procedimiento consistió en la aplicación de dos series de cargas referenciales. En cada serie, para los diferentes valores leídos, se registraron las lecturas del patrón utilizado para la calibración.

**Declaración de patrones:**

- Celda de carga AEP transducers con indicador AEP transducers calibrado por CELDA E.I.R.L. con certificado CMC-062-2019.
- Termo higrómetro patrón Control Company con certificado emitido por Lo Justo S.A.C., con código del certificado de calibración TE – 1382 - 2020.

**Condiciones ambientales:**

	Temperatura °C	Humedad relativa (% HR)
<b>Inicial</b>	25.60	30.54
<b>Final</b>	27.73	25.07

**Resultados de la verificación**

LECTURA DEL INDICADOR (A)	Indicación de la Fuerza de la Celda patrón				Promedio (B)	Error Ep (%)	RPTBLD Rp (%)
	(Kgf)	SERIE 1	SERIE 2	ERROR 1 (%)			
10228	10317.3	10325.5	-0.88	-0.96	10321	-0.91	-0.08
20476	20674.4	20677.5	-0.97	-0.99	20676	-0.97	-0.01
30642	30931.6	30896.9	-0.95	-0.83	30914	-0.88	0.11
40788	41063.3	41073.5	-0.67	-0.70	41068	-0.68	-0.03
51067	51315.4	51328.6	-0.49	-0.51	51322	-0.50	-0.03
61243	61437.9	61447.1	-0.32	-0.33	61443	-0.32	-0.01
71461	71688.0	71702.2	-0.32	-0.34	71695	-0.33	-0.02
81658	81956.3	81976.7	-0.37	-0.39	81967	-0.38	-0.02
91804	92071.8	92077.9	-0.29	-0.30	92075	-0.29	-0.01
102062	102216.8	102231.0	-0.15	-0.17	102224	-0.16	-0.01

**NOTAS SOBRE LA CALIBRACION**

1.-Ep y Rp con el error porcentual y la repetibilidad definidos en la norma citada:

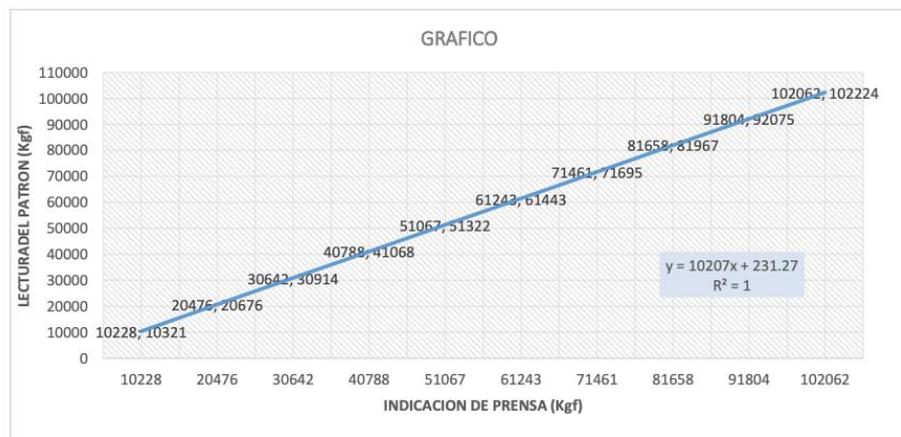
$$Ep = ((A-B/B)) * 100; Rp = \text{Error (2)} - \text{Error (1)}$$

2.-la norma exige que Ep y Rp no excedan el 1.0%

3.-coeficiente de correlación:  $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste:  $Y = 10207X + 231.27$ ;

dónde: X = lectura del indicador; Y = fuerza promedio (kgf).



**Notas y aclaraciones:**

- Se colocó una etiqueta de color gris con el logo de Supermix S.A., en señal de su verificación; indicando el código interno del equipo y la próxima fecha de verificación.



## Anexo 10. Informe de calidad ensayo compresión (3, 7 y 14 días)



INFORME DE CALIDAD  
LABORATORIO DE CONCRETO  
ENSAYO: COMPRESION SIMPLE  
NORMA ASTM: C - 39 / 339.034:2015

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0375 - 2021

Nº	DESCRIPCION	$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm2)	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	9-7-21	12-7-21	3	9261	51.31	44.98
2		210	9-7-21	12-7-21	3	6960	38.66	
3		210	9-7-21	16-7-21	7	8004	44.34	48.42
4		210	9-7-21	16-7-21	7	9439	52.50	
5		210	9-7-21	23-7-21	14	8372	46.57	49.42
6		210	9-7-21	23-7-21	14	9448	52.27	
7	21 MPa IP 67 15%	210	9-7-21	12-7-21	3	16964	94.35	91.28
8		210	9-7-21	12-7-21	3	15044	88.21	
9		210	9-7-21	16-7-21	7	20098	111.20	93.60
10		210	9-7-21	16-7-21	7	13863	75.99	
11		210	9-7-21	23-7-21	14	25045	138.38	123.26
12	210	9-7-21	23-7-21	14	19467	108.13		
13	21 MPa HE 67 5%	210	9-7-21	12-7-21	3	25242	139.84	150.95
14		210	9-7-21	12-7-21	3	29251	162.05	
15		210	9-7-21	16-7-21	7	31133	172.02	159.14
16		210	9-7-21	16-7-21	7	26331	146.26	
17		210	9-7-21	23-7-21	14	38710	215.31	210.83
18	210	9-7-21	23-7-21	14	37249	206.36		
19	21 MPa HE 67 15%	210	9-7-21	12-7-21	3	26080	143.91	138.23
20		210	9-7-21	12-7-21	3	23863	132.55	
21		210	9-7-21	16-7-21	7	35453	196.15	200.72
22		210	9-7-21	16-7-21	7	37153	205.29	
23		210	9-7-21	23-7-21	14	38360	212.24	222.52
24		210	9-7-21	23-7-21	14	41967	232.81	

  
**CONCRETOS SUPERMIX**  
 Productos de Alta Resistencia  
 ING. PATRICIA CARPIO SALAZAR  
 Líder de Control de Calidad  
 CIP. 106565

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0376 - 2021

Nº	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 7 5%	210	12-7-21	15-7-21	3	6167	34.17	48.11
2		210	12-7-21	15-7-21	3	11171	62.05	
3		210	12-7-21	19-7-21	7	12051	66.76	74.36
4		210	12-7-21	19-7-21	7	14735	81.98	
5		210	12-7-21	26-7-21	14	13988	77.60	86.50
6		210	12-7-21	26-7-21	14	17299	95.58	
7	21 MPa IP 7 15%	210	12-7-21	15-7-21	3	17127	95.26	87.15
8		210	12-7-21	15-7-21	3	14267	79.04	
9		210	12-7-21	19-7-21	7	18074	100.13	117.20
10		210	12-7-21	19-7-21	7	24269	134.27	
11		210	12-7-21	26-7-21	14	21367	118.84	127.79
12		210	12-7-21	26-7-21	14	24648	136.73	
13	21 MPa HE 7 5%	210	12-7-21	15-7-21	3	15098	88.51	87.15
14		210	12-7-21	15-7-21	3	15443	85.78	
15		210	12-7-21	19-7-21	7	18763	104.22	130.24
16		210	12-7-21	19-7-21	7	28278	156.25	
17		210	12-7-21	26-7-21	14	22315	123.95	130.96
18		210	12-7-21	26-7-21	14	24902	137.96	
19	21 MPa HE 7 15%	210	13-7-21	16-7-21	3	29687	164.47	147.50
20		210	13-7-21	16-7-21	3	23625	130.71	
21		210	13-7-21	20-7-21	7	22440	123.99	126.58
22		210	13-7-21	20-7-21	7	24006	133.17	
23		210	13-7-21	27-7-21	14	24753	137.13	170.62
24		210	13-7-21	27-7-21	14	36890	204.10	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0377 - 2021

Nº	DESCRIPCION	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 89 5%	210	14-7-21	17-7-21	3	14294	79.19	86.62
2		210	14-7-21	17-7-21	3	17021	94.05	
3		210	14-7-21	21-7-21	7	23020	132.52	116.35
4		210	14-7-21	21-7-21	7	18131	100.18	
5		210	14-7-21	28-7-21	14	21678	120.10	116.13
6		210	14-7-21	28-7-21	14	20218	112.16	
7	21 MPa IP 89 15%	210	14-7-21	17-7-21	3	14979	82.87	93.36
8		210	14-7-21	17-7-21	3	18744	103.84	
9		210	14-7-21	21-7-21	7	18251	101.24	118.92
10		210	14-7-21	21-7-21	7	24720	136.59	
11		210	14-7-21	28-7-21	14	32900	182.27	157.18
12		210	14-7-21	28-7-21	14	23781	132.10	
13	21 MPa HE 89 5%	210	14-7-21	17-7-21	3	18610	103.37	85.75
14		210	14-7-21	17-7-21	3	12281	68.13	
15		210	14-7-21	21-7-21	7	23733	131.48	124.46
16		210	14-7-21	21-7-21	7	21113	117.43	
17		210	14-7-21	28-7-21	14	26928	148.99	144.48
18		210	14-7-21	28-7-21	14	25199	139.97	
19	21 MPa HE 89 15%	210	14-7-21	17-7-21	3	21921	121.92	133.71
20		210	14-7-21	17-7-21	3	26262	145.49	
21		210	14-7-21	21-7-21	7	23174	128.72	141.86
22		210	14-7-21	21-7-21	7	28015	155.00	
23		210	14-7-21	28-7-21	14	32110	178.60	183.12
24		210	14-7-21	28-7-21	14	33782	187.65	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0378 - 2021

Nº	DESCRIPCION	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm2)	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	15-7-21	18-7-21	3	6511	36.07	42.39
2		210	15-7-21	18-7-21	3	8802	48.70	
3		210	15-7-21	22-7-21	7	8171	45.27	44.02
4		210	15-7-21	22-7-21	7	7731	42.77	
5		210	15-7-21	29-7-21	14	8329	46.14	45.42
6		210	15-7-21	29-7-21	14	8037	44.70	
7	21 MPa IP 67 15%	210	15-7-21	18-7-21	3	12104	67.06	101.76
8		210	15-7-21	18-7-21	3	24566	136.46	
9		210	15-7-21	22-7-21	7	17763	98.41	118.12
10		210	15-7-21	22-7-21	7	24945	137.83	
11		210	15-7-21	29-7-21	14	23855	131.81	120.70
12		210	15-7-21	29-7-21	14	19754	109.58	
13	21 MPa HE 67 5%	210	15-7-21	18-7-21	3	22742	125.66	108.79
14		210	15-7-21	18-7-21	3	16548	91.92	
15		210	15-7-21	22-7-21	7	38624	214.83	135.40
16		210	15-7-21	22-7-21	7	10089	55.97	
17		210	15-7-21	29-7-21	14	41396	229.94	151.49
18		210	15-7-21	29-7-21	14	13113	73.03	
19	21 MPa HE 67 15%	210	15-7-21	18-7-21	3	18313	101.86	104.91
20		210	15-7-21	18-7-21	3	19514	107.97	
21		210	15-7-21	22-7-21	7	18404	102.36	165.89
22		210	15-7-21	22-7-21	7	41410	229.41	
23		210	15-7-21	29-7-21	14	42956	238.29	211.33
24		210	15-7-21	29-7-21	14	33322	184.36	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0379 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm2)	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 7 5%	210	16-7-21	19-7-21	3	19322	107.19	87.13
2		210	16-7-21	19-7-21	3	12122	67.07	
3		210	16-7-21	23-7-21	7	14687	81.37	103.28
4		210	16-7-21	23-7-21	7	22569	125.20	
5		210	16-7-21	30-7-21	14	24677	136.71	
6		210	16-7-21	30-7-21	14	21017	116.74	
7	21 MPa IP 7 15%	210	16-7-21	19-7-21	3	20625	114.26	102.82
8		210	16-7-21	19-7-21	3	16538	91.38	
9		210	16-7-21	23-7-21	7	28839	159.56	152.74
10		210	16-7-21	23-7-21	7	26305	145.92	
11		210	16-7-21	30-7-21	14	23867	132.57	
12		210	16-7-21	30-7-21	14	40742	225.41	
13	21 MPa HE 7 5%	210	16-7-21	19-7-21	3	26741	148.15	121.98
14		210	16-7-21	19-7-21	3	17294	95.81	
15		210	16-7-21	23-7-21	7	24605	136.67	162.66
16		210	16-7-21	23-7-21	7	34141	188.64	
17		210	16-7-21	30-7-21	14	26582	147.46	
18		210	16-7-21	30-7-21	14	40238	222.33	
19	21 MPa HE 7 15%	210	16-7-21	19-7-21	3	22924	127.34	114.70
20		210	16-7-21	19-7-21	3	18447	102.06	
21		210	16-7-21	23-7-21	7	41770	232.33	182.38
22		210	16-7-21	23-7-21	7	23905	132.43	
23		210	16-7-21	30-7-21	14	26042	143.89	
24		210	16-7-21	30-7-21	14	44185	245.11	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0380 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 89 5%	210	20-7-21	23-7-21	3	12070	66.87	66.48
2		210	20-7-21	23-7-21	3	11960	66.08	
3		210	20-7-21	27-7-21	7	15289	84.48	91.32
4		210	20-7-21	27-7-21	7	17648	98.16	
5		210	20-7-21	3-8-21	14	16266	90.35	102.42
6		210	20-7-21	3-8-21	14	20639	114.49	
7	21 MPa IP 89 15%	210	20-7-21	23-7-21	3	15175	84.07	81.96
8		210	20-7-21	23-7-21	3	14357	79.85	
9		210	20-7-21	27-7-21	7	25060	138.83	122.88
10		210	20-7-21	27-7-21	7	19275	106.92	
11		210	20-7-21	3-8-21	14	20807	115.42	142.53
12		210	20-7-21	3-8-21	14	30702	169.64	
13	21 MPa HE 89 5%	210	20-7-21	23-7-21	3	16222	90.23	83.99
14		210	20-7-21	23-7-21	3	14055	77.76	
15		210	20-7-21	27-7-21	7	26664	147.72	129.28
16		210	20-7-21	27-7-21	7	19954	110.84	
17		210	20-7-21	3-8-21	14	22035	122.07	131.88
18		210	20-7-21	3-8-21	14	25472	141.68	
19	21 MPa HE 89 15%	210	20-7-21	23-7-21	3	15974	88.61	106.98
20		210	20-7-21	23-7-21	3	22684	125.34	
21		210	20-7-21	27-7-21	7	23235	129.06	125.43
22		210	20-7-21	27-7-21	7	22014	121.80	
23		210	20-7-21	3-8-21	14	25635	142.39	128.60
24		210	20-7-21	3-8-21	14	20749	114.80	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0381 - 2021

Nº	DESCRIPCION	$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm2)	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	21-7-21	24-7-21	3	8324	46.12	35.56
2		210	21-7-21	24-7-21	3	4502	25.01	
3		210	21-7-21	28-7-21	7	8984	49.77	62.23
4		210	21-7-21	28-7-21	7	13519	74.70	
5		210	21-7-21	4-8-21	14	16088	94.49	89.80
6		210	21-7-21	4-8-21	14	15385	85.12	
7	21 MPa IP 67 15%	210	21-7-21	24-7-21	3	12170	67.51	83.20
8		210	21-7-21	24-7-21	3	17873	96.89	
9		210	21-7-21	28-7-21	7	23125	128.62	144.46
10		210	21-7-21	28-7-21	7	28896	160.30	
11		210	21-7-21	4-8-21	14	32776	182.54	149.77
12		210	21-7-21	4-8-21	14	21118	116.99	
13	21 MPa HE 67 5%	210	21-7-21	24-7-21	3	19834	109.59	106.37
14		210	21-7-21	24-7-21	3	18619	103.15	
15		210	21-7-21	28-7-21	7	24131	134.22	124.93
16		210	21-7-21	28-7-21	7	20903	115.65	
17		210	21-7-21	4-8-21	14	22155	122.90	128.73
18		210	21-7-21	4-8-21	14	24224	134.56	
19	21 MPa HE 67 15%	210	21-7-21	24-7-21	3	20904	112.48	109.67
20		210	21-7-21	24-7-21	3	19289	106.86	
21		210	21-7-21	28-7-21	7	28532	158.07	185.57
22		210	21-7-21	28-7-21	7	38411	213.08	
23		210	21-7-21	4-8-21	14	37484	208.21	189.53
24		210	21-7-21	4-8-21	14	30922	170.86	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0382 - 2021

Nº	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 7 5%	210	22-7-21	25-7-21	3	14055	77.66	74.94
2		210	22-7-21	25-7-21	3	13036	72.22	
3		210	22-7-21	29-7-21	7	18380	101.56	110.71
4		210	22-7-21	29-7-21	7	21578	119.86	
5		210	22-7-21	5-8-21	14	21217	117.54	114.71
6		210	22-7-21	5-8-21	14	20088	111.88	
7	21 MPa IP 7 15%	210	22-7-21	25-7-21	3	12577	69.77	85.13
8		210	22-7-21	25-7-21	3	18093	100.50	
9		210	22-7-21	29-7-21	7	21477	119.14	133.48
10		210	22-7-21	29-7-21	7	26717	147.82	
11		210	22-7-21	5-8-21	14	26535	146.81	151.97
12		210	22-7-21	5-8-21	14	28250	157.13	
13	21 MPa HE 7 5%	210	22-7-21	25-7-21	3	21247	117.55	120.67
14		210	22-7-21	25-7-21	3	22315	123.79	
15		210	22-7-21	29-7-21	7	19538	108.67	135.41
16		210	22-7-21	29-7-21	7	29270	162.16	
17		210	22-7-21	5-8-21	14	24835	137.59	153.10
18		210	22-7-21	5-8-21	14	30357	168.62	
19	21 MPa HE 7 15%	210	22-7-21	25-7-21	3	26243	145.39	153.56
20		210	22-7-21	25-7-21	3	29232	161.73	
21		210	22-7-21	29-7-21	7	41547	231.09	206.58
22		210	22-7-21	29-7-21	7	32910	182.08	
23		210	22-7-21	5-8-21	14	49194	272.90	233.46
24		210	22-7-21	5-8-21	14	34931	194.03	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0383 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 89 5%	210	26-7-21	29-7-21	3	12223	67.72	70.50
2		210	26-7-21	29-7-21	3	13247	73.29	
3		210	26-7-21	2-8-21	7	22952	127.49	107.49
4		210	26-7-21	2-8-21	7	15835	87.50	
5		210	26-7-21	9-8-21	14	31085	172.21	120.85
6		210	26-7-21	9-8-21	14	12558	69.48	
7	21 MPa IP 89 15%	210	26-7-21	29-7-21	3	20725	114.97	131.29
8		210	26-7-21	29-7-21	3	26573	147.60	
9		210	26-7-21	2-8-21	7	23307	128.95	139.67
10		210	26-7-21	2-8-21	7	27038	150.39	
11		210	26-7-21	9-8-21	14	28987	161.23	184.08
12		210	26-7-21	9-8-21	14	37302	206.93	
13	21 MPa HE 89 5%	210	26-7-21	29-7-21	3	13199	73.41	102.29
14		210	26-7-21	29-7-21	3	23708	131.17	
15		210	26-7-21	2-8-21	7	20390	113.41	127.34
16		210	26-7-21	2-8-21	7	25466	141.27	
17		210	26-7-21	9-8-21	14	33245	184.18	201.51
18		210	26-7-21	9-8-21	14	39605	218.84	
19	21 MPa HE 89 15%	210	26-7-21	29-7-21	3	28868	159.72	139.61
20		210	26-7-21	29-7-21	3	21485	119.50	
21		210	26-7-21	2-8-21	7	31042	171.52	176.84
22		210	26-7-21	2-8-21	7	32838	182.16	
23		210	26-7-21	9-8-21	14	40910	226.34	205.27
24		210	26-7-21	9-8-21	14	33073	184.20	

## Anexo 11. Certificados de calidad ensayos de compresión (28 días)



**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**  
**ENSAYO: COMPRESION SIMPLE**  
**NORMA ASTM: C - 39 / 339.034:2015**

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1701 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	9-7-21	6-8-21	28	7640	42.44	69.17
2	21 MPa IP 67 5%	210	9-7-21	6-8-21	28	17332	95.89	
3	21 MPa IP 67 15%	210	9-7-21	6-8-21	28	23197	128.51	182.24
4	21 MPa IP 67 15%	210	9-7-21	6-8-21	28	42706	235.97	
5	21 MPa HE 67 5%	210	9-7-21	6-8-21	28	39696	219.34	213.36
6	21 MPa HE 67 5%	210	9-7-21	6-8-21	28	37434	207.39	
7	21 MPa HE 67 15%	210	9-7-21	6-8-21	28	47393	262.56	239.99
8	21 MPa HE 67 15%	210	9-7-21	6-8-21	28	39299	217.43	
9	21 MPa IP 7 5%	210	12-7-21	9-8-21	28	20275	112.32	105.75
10	21 MPa IP 7 5%	210	12-7-21	9-8-21	28	17854	99.17	
11	21 MPa IP 7 15%	210	12-7-21	9-8-21	28	20132	111.38	129.17
12	21 MPa IP 7 15%	210	12-7-21	9-8-21	28	26492	146.96	
13	21 MPa HE 7 5%	210	12-7-21	9-8-21	28	33221	184.78	170.09
14	21 MPa HE 7 5%	210	12-7-21	9-8-21	28	27977	155.40	
15	21 MPa HE 7 15%	210	13-7-21	10-8-21	28	33978	188	173.86
16	21 MPa HE 7 15%	210	13-7-21	10-8-21	28	28711	159	
17	21 MPa IP 89 5%	210	14-7-21	11-8-21	28	21693	120	128.78
18	21 MPa IP 89 5%	210	14-7-21	11-8-21	28	24734	137	
19	21 MPa IP 89 15%	210	14-7-21	11-8-21	28	28599	159	164.73
20	21 MPa IP 89 15%	210	14-7-21	11-8-21	28	30750	171	
21	21 MPa HE 89 5%	210	14-7-21	11-8-21	28	26085	144	148.00
22	21 MPa HE 89 5%	210	14-7-21	11-8-21	28	27342	152	
23	21 MPa HE 89 15%	210	14-7-21	11-8-21	28	28405	157	188.69
24	21 MPa HE 89 15%	210	14-7-21	11-8-21	28	39558	220	

  
**CONCRETOS SUPERMIX**  
 Productos de Alta Resistencia  
**ING. PATRICIA CARPIO SALAZAR**  
 Líder de Control de Calidad  
 CIP. 106565

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1702 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	15-7-21	12-8-21	28	11267	62.42	59.23
2	21 MPa IP 67 5%	210	15-7-21	12-8-21	28	10142	56.04	
3	21 MPa IP 67 15%	210	15-7-21	12-8-21	28	38686	214.32	151.36
4	21 MPa IP 67 15%	210	15-7-21	12-8-21	28	15935	88.40	
5	21 MPa HE 67 5%	210	15-7-21	12-8-21	28	39783	221.27	200.87
6	21 MPa HE 67 5%	210	15-7-21	12-8-21	28	32531	180.46	
7	21 MPa HE 67 15%	210	15-7-21	12-8-21	28	38795	214.64	216.00
8	21 MPa HE 67 15%	210	15-7-21	12-8-21	28	39129	217.35	
9	21 MPa IP 7 5%	210	16-7-21	13-8-21	28	27780	154.51	135.44
10	21 MPa IP 7 5%	210	16-7-21	13-8-21	28	21060	116.37	
11	21 MPa IP 7 15%	210	16-7-21	13-8-21	28	43230	239.81	211.98
12	21 MPa IP 7 15%	210	16-7-21	13-8-21	28	33283	184.15	
13	21 MPa HE 7 5%	210	16-7-21	13-8-21	28	36224	201.21	194.50
14	21 MPa HE 7 5%	210	16-7-21	13-8-21	28	33762	187.78	
15	21 MPa HE 7 15%	210	16-7-21	13-8-21	28	51297	284.94	224.05
16	21 MPa HE 7 15%	210	16-7-21	13-8-21	28	29414	163.17	
17	21 MPa IP 89 5%	210	20-7-21	17-8-21	28	27071	149.97	135.63
18	21 MPa IP 89 5%	210	20-7-21	17-8-21	28	21865	121.29	
19	21 MPa IP 89 15%	210	20-7-21	17-8-21	28	28213	155.89	142.90
20	21 MPa IP 89 15%	210	20-7-21	17-8-21	28	23417	129.90	
21	21 MPa HE 89 5%	210	20-7-21	17-8-21	28	32210	178.44	143.99
22	21 MPa HE 89 5%	210	20-7-21	17-8-21	28	19667	109.53	
23	21 MPa HE 89 15%	210	20-7-21	17-8-21	28	21832	120.63	143.18
24	21 MPa HE 89 15%	210	20-7-21	17-8-21	28	29955	165.73	

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1703 - 2021

Nº	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (dias)	CARGA (kgf)	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA PROMEDIO
1	21 MPa IP 67 5%	210	21-7-21	18-8-21	28	17292	95.55	97.90
2	21 MPa IP 67 5%	210	21-7-21	18-8-21	28	18143	100.25	
3	21 MPa IP 67 15%	210	21-7-21	18-8-21	28	22378	124.30	182.75
4	21 MPa IP 67 15%	210	21-7-21	18-8-21	28	43537	241.20	
5	21 MPa HE 67 5%	210	21-7-21	18-8-21	28	27333	152.03	140.29
6	21 MPa HE 67 5%	210	21-7-21	18-8-21	28	23174	128.55	
7	21 MPa HE 67 15%	210	21-7-21	18-8-21	28	32037	177.25	191.88
8	21 MPa HE 67 15%	210	21-7-21	18-8-21	28	37227	206.51	
9	21 MPa IP 7 5%	210	22-7-21	19-8-21	28	23479	130.59	131.66
10	21 MPa IP 7 5%	210	22-7-21	19-8-21	28	23958	132.73	
11	21 MPa IP 7 15%	210	22-7-21	19-8-21	28	27311	151.50	156.40
12	21 MPa IP 7 15%	210	22-7-21	19-8-21	28	29037	161.29	
13	21 MPa HE 7 5%	210	22-7-21	19-8-21	28	27898	154.15	158.04
14	21 MPa HE 7 5%	210	22-7-21	19-8-21	28	29308	161.94	
15	21 MPa HE 7 15%	210	22-7-21	19-8-21	28	43183	240.18	238.90
16	21 MPa HE 7 15%	210	22-7-21	19-8-21	28	42892	237.62	
17	21 MPa IP 89 5%	210	26-7-21	23-8-21	28	25251	139.52	146.79
18	21 MPa IP 89 5%	210	26-7-21	23-8-21	28	27809	154.06	
19	21 MPa IP 89 15%	210	26-7-21	23-8-21	28	33742	187.92	191.44
20	21 MPa IP 89 15%	210	26-7-21	23-8-21	28	35191	194.96	
21	21 MPa HE 89 5%	210	26-7-21	23-8-21	28	38448	212.72	210.29
22	21 MPa HE 89 5%	210	26-7-21	23-8-21	28	37420	207.86	
23	21 MPa HE 89 15%	210	26-7-21	23-8-21	28	39901	220.47	218.22
24	21 MPa HE 89 15%	210	26-7-21	23-8-21	28	38931	215.96	

## Anexo 12. Certificados de ensayos a flexión



**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**  
 Método de ensayo para determinar el esfuerzo de flexión del concreto (utilizando una viga simplemente soportada con cargas en los tercios de la luz)  
**NORMA ASTM: C - 78**

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1704 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (MPa)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	DISTANCIA SUP. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	DISTANCIA INF. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	CARGA (N)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	21 MPa IP 67 5%	21	9-7-21	16-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	13588	1.812	1.40	14.27
2	21 MPa IP 67 5%	21	15-7-21	22-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	7480	0.997		
3	21 MPa IP 67 5%	21	21-7-21	28-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	10420	1.389		
4	21 MPa IP 67 15%	21	9-7-21	16-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	25868	3.449	3.13	31.89
5	21 MPa IP 67 15%	21	15-7-21	22-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	21531	2.871		
6	21 MPa IP 67 15%	21	21-7-21	28-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	22964	3.062		
7	21 MPa HE 67 5%	21	9-7-21	16-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	16060	2.141	2.03	20.69
8	21 MPa HE 67 5%	21	15-7-21	22-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	16184	2.158		
9	21 MPa HE 67 5%	21	21-7-21	28-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	13401	1.787		
10	21 MPa HE 67 15%	21	9-7-21	16-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	28242	3.766	3.56	36.29
11	21 MPa HE 67 15%	21	15-7-21	22-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	26380	3.517		
12	21 MPa HE 67 15%	21	21-7-21	28-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	25449	3.393		
13	21 MPa IP 67 5%	21	9-7-21	6-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	19087	2.545	2.10	21.38
14	21 MPa IP 67 5%	21	15-7-21	12-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	11692	1.559		
15	21 MPa IP 67 5%	21	21-7-21	18-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	16398	2.186		
16	21 MPa IP 67 15%	21	9-7-21	6-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	34338	4.578	3.81	38.84
17	21 MPa IP 67 15%	21	15-7-21	12-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	26506	3.534		
18	21 MPa IP 67 15%	21	21-7-21	18-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	24848	3.313		
19	21 MPa HE 67 5%	21	9-7-21	6-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	17925	2.390	2.72	27.74
20	21 MPa HE 67 5%	21	15-7-21	12-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	23670	3.156		
21	21 MPa HE 67 5%	21	21-7-21	18-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	19615	2.615		
22	21 MPa HE 67 15%	21	9-7-21	6-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	34640	4.619	4.88	49.80
23	21 MPa HE 67 15%	21	15-7-21	12-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	35419	4.723		
24	21 MPa HE 67 15%	21	21-7-21	18-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	39814	5.309		

  
**CONCRETOS SUPERMIX**  
 Productos de Alta Resistencia  
**ING. PATRICIA CARPIO SALAZAR**  
 Líder de Control de Calidad  
 CIP. 106565

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1705 - 2021

Nº	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (MPa)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	DISTANCIA SUP. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	DISTANCIA INF. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	CARGA (N)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	21 MPa IP 7.5%	21	12-7-21	19-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	20988	2.798	2.59	26.44
2	21 MPa IP 7.5%	21	16-7-21	23-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	19595	2.613		
3	21 MPa IP 7.5%	21	22-7-21	29-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	17746	2.366		
4	21 MPa IP 7.15%	21	12-7-21	19-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	24912	3.322	3.48	35.46
5	21 MPa IP 7.15%	21	16-7-21	23-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	27215	3.629		
6	21 MPa IP 7.15%	21	22-7-21	29-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	26126	3.483		
7	21 MPa HE 7.5%	21	12-7-21	19-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	19501	2.600	3.02	30.77
8	21 MPa HE 7.5%	21	16-7-21	23-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	24952	3.327		
9	21 MPa HE 7.5%	21	22-7-21	29-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	23437	3.125		
10	21 MPa HE 7.15%	21	12-7-21	20-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	25618	3.416	3.66	37.29
11	21 MPa HE 7.15%	21	16-7-21	23-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	28675	3.823		
12	21 MPa HE 7.15%	21	22-7-21	29-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	27978	3.730		
13	21 MPa IP 7.5%	21	12-7-21	9-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	26207	3.494	3.43	35.02
14	21 MPa IP 7.5%	21	16-7-21	13-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	25464	3.395		
15	21 MPa IP 7.5%	21	22-7-21	19-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	25610	3.415		
16	21 MPa IP 7.15%	21	12-7-21	9-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	33253	4.434	4.45	45.41
17	21 MPa IP 7.15%	21	16-7-21	13-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	33860	4.515		
18	21 MPa IP 7.15%	21	22-7-21	19-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	33077	4.410		
19	21 MPa HE 7.5%	21	12-7-21	9-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	35211	4.695	4.01	40.90
20	21 MPa HE 7.5%	21	16-7-21	13-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	27902	3.720		
21	21 MPa HE 7.5%	21	22-7-21	19-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	27134	3.618		
22	21 MPa HE 7.15%	21	12-7-21	10-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	34893	4.652	4.89	49.89
23	21 MPa HE 7.15%	21	16-7-21	13-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	36436	5.125		
24	21 MPa HE 7.15%	21	22-7-21	19-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	36744	4.899		

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : CC- SPX - 1706 - 2021

N°	DESCRIPCION	f <sub>c</sub> (MPa)	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	ANCHO (mm)	ESPESOR (mm)	DISTANCIA SUP. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	DISTANCIA INF. DE PUNTOS DE APOYO (mm)	CARGA (N)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO (Mpa)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )
1	21 MPa IP 89 5%	21	14-7-21	21-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	18571	2.476	2.28	23.21
2	21 MPa IP 89 5%	21	20-7-21	27-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	16478	2.197		
3	21 MPa IP 89 5%	21	26-7-21	2-8-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	16158	2.154		
4	21 MPa IP 89 15%	21	14-7-21	21-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	23742	3.166	3.16	32.27
5	21 MPa IP 89 15%	21	20-7-21	27-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	24894	3.319		
6	21 MPa IP 89 15%	21	26-7-21	2-8-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	22580	3.008		
7	21 MPa HE 89 5%	21	14-7-21	21-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	21482	2.864	2.95	30.04
8	21 MPa HE 89 5%	21	20-7-21	27-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	24241	3.232		
9	21 MPa HE 89 5%	21	26-7-21	2-8-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	20557	2.741		
10	21 MPa HE 89 15%	21	14-7-21	21-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	27367	3.649	3.76	38.31
11	21 MPa HE 89 15%	21	20-7-21	27-7-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	29493	3.932		
12	21 MPa HE 89 15%	21	26-7-21	2-8-21	7	150.00	150.00	150.00	450.00	27671	3.689		
13	21 MPa IP 89 5%	21	14-7-21	11-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	23992	3.159	2.86	29.18
14	21 MPa IP 89 5%	21	20-7-21	17-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	20008	2.668		
15	21 MPa IP 89 5%	21	26-7-21	23-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	20992	2.759		
16	21 MPa IP 89 15%	21	14-7-21	11-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	27834	3.711	3.95	40.24
17	21 MPa IP 89 15%	21	20-7-21	17-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	31513	4.202		
18	21 MPa IP 89 15%	21	26-7-21	23-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	29433	3.924		
19	21 MPa HE 89 5%	21	14-7-21	11-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	26524	3.537	3.39	34.58
20	21 MPa HE 89 5%	21	20-7-21	17-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	26529	3.537		
21	21 MPa HE 89 5%	21	26-7-21	23-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	23251	3.100		
22	21 MPa HE 89 15%	21	14-7-21	11-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	30978	4.130	4.44	45.27
23	21 MPa HE 89 15%	21	20-7-21	17-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	35310	4.708		
24	21 MPa HE 89 15%	21	26-7-21	23-8-21	28	150.00	150.00	150.00	450.00	33995	4.479		

## Anexo 13. Informe de calidad ensayos de permeabilidad



**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**  
 Ensayo para determinar la permeabilidad de concreto permeable con permeámetro simple de cabeza

ACI 522R - 10

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO

**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECÁNICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA

**UBICACIÓN** : AREQUIPA

**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0384 - 2021

N°	DESCRIPCION	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	ALTURA (mm)	TIEMPO (s)	A (mm)	PERMEABILIDAD K (mm/s)	PERMEABILIDAD PROMEDIO (mm/s)
1	21 MPa IP 67 5%	9-7-21	26-8-21	150	13.62	192.00	14.10	14.39
2	21 MPa IP 67 5%	15-7-21	26-8-21	150	13.30	192.00	14.44	
3	21 MPa IP 67 5%	21-7-21	26-8-21	150	13.12	192.00	14.63	
4	21 MPa IP 67 15%	9-7-21	26-8-21	150	70.60	192.00	2.72	2.73
5	21 MPa IP 67 15%	15-7-21	26-8-21	150	70.92	192.00	2.71	
6	21 MPa IP 67 15%	21-7-21	26-8-21	150	69.60	192.00	2.76	
7	21 MPa HE 67 5%	9-7-21	26-8-21	150	10.50	192.00	18.29	18.33
8	21 MPa HE 67 5%	15-7-21	26-8-21	150	10.43	192.00	18.41	
9	21 MPa HE 67 5%	21-7-21	26-8-21	150	10.49	192.00	18.30	
10	21 MPa HE 67 15%	9-7-21	26-8-21	150	18.60	192.00	10.32	10.34
11	21 MPa HE 67 15%	15-7-21	26-8-21	150	18.39	192.00	10.44	
12	21 MPa HE 67 15%	21-7-21	26-8-21	150	18.70	192.00	10.27	
13	21 MPa IP 7 5%	12-7-21	27-8-21	150	21.13	192.00	9.09	9.27
14	21 MPa IP 7 5%	16-7-21	27-8-21	150	20.72	192.00	9.27	
15	21 MPa IP 7 5%	22-7-21	27-8-21	150	20.33	192.00	9.44	
16	21 MPa IP 7 15%	12-7-21	27-8-21	150	55.32	192.00	3.47	3.47
17	21 MPa IP 7 15%	16-7-21	27-8-21	150	55.47	192.00	3.46	
18	21 MPa IP 7 15%	22-7-21	27-8-21	150	55.16	192.00	3.46	
19	21 MPa HE 7 5%	12-7-21	27-8-21	150	26.17	192.00	6.82	6.87
20	21 MPa HE 7 5%	16-7-21	27-8-21	150	27.90	192.00	6.88	
21	21 MPa HE 7 5%	22-7-21	27-8-21	150	27.80	192.00	6.91	
22	21 MPa HE 7 15%	13-7-21	27-8-21	150	64.27	192.00	2.99	2.99
23	21 MPa HE 7 15%	16-7-21	27-8-21	150	64.40	192.00	2.98	
24	21 MPa HE 7 15%	22-7-21	27-8-21	150	64.12	192.00	2.99	
25	21 MPa IP 89 5%	14-7-21	28-7-21	150	100.10	192.00	1.92	1.93
26	21 MPa IP 89 5%	20-7-21	28-7-21	150	99.17	192.00	1.94	
27	21 MPa IP 89 5%	26-7-21	28-7-21	150	99.92	192.00	1.92	
28	21 MPa IP 89 15%	14-7-21	28-7-21	150	107.89	192.00	1.78	1.80
29	21 MPa IP 89 15%	20-7-21	28-7-21	150	106.50	192.00	1.80	
30	21 MPa IP 89 15%	26-7-21	28-7-21	150	106.05	192.00	1.81	
31	21 MPa HE 89 5%	14-7-21	28-7-21	150	68.86	192.00	2.79	2.79
32	21 MPa HE 89 5%	20-7-21	28-7-21	150	68.87	192.00	2.79	
33	21 MPa HE 89 5%	26-7-21	28-7-21	150	68.49	192.00	2.80	
34	21 MPa HE 89 15%	14-7-21	28-7-21	150	74.37	192.00	2.58	2.59
35	21 MPa HE 89 15%	20-7-21	28-7-21	150	74.07	192.00	2.59	
36	21 MPa HE 89 15%	26-7-21	28-7-21	150	73.92	192.00	2.60	



## Anexo 14. Informe de calidad ensayo tasa de infiltración



**CERTIFICADO DE CALIDAD**  
**LABORATORIO DE CONCRETO**  
 Ensayo estandar para determinar la tasa de infiltración en concreto permeable in situ  
**NORMA ASTM C1701 - 17**

**SOLICITA** : SUELLEN S. LOZA DELGADO  
**OBRA** : TESIS - INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO, GRANULOMETRIAS DE AGREGADO FINO Y GRUESO EN PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS EN CONCRETO PERMEABLE, AREQUIPA  
**UBICACIÓN** : AREQUIPA  
**CERTIFICADO** : IC- SPX - 0385 - 2021

Nº	DESCRIPCION	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ENSAYO	TIEMPO (s)	TIEMPO PROMEDIO (s)	AGUA (kg)	DIAMETRO ANILLO (mm)	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/h)
1	21 MPa IP 67.5%	9-7-21	31-8-21	66.05	65.4	12.0	299.00	9409.42
2	21 MPa IP 67.5%	15-7-21	31-8-21	64.90				
3	21 MPa IP 67.5%	21-7-21	31-8-21	65.21				
4	21 MPa IP 67.15%	9-7-21	31-8-21	418.72	419.2	12.0	299.00	1467.76
5	21 MPa IP 67.15%	15-7-21	31-8-21	419.70				
6	21 MPa IP 67.15%	21-7-21	31-8-21	419.11				
7	21 MPa HE 67.5%	9-7-21	31-8-21	148.58	148.2	12.0	299.00	4208.94
8	21 MPa HE 67.5%	15-7-21	31-8-21	144.79				
9	21 MPa HE 67.5%	21-7-21	31-8-21	145.37				
10	21 MPa HE 67.15%	9-7-21	31-8-21	397.68	398.0	12.0	299.00	1553.58
11	21 MPa HE 67.15%	15-7-21	31-8-21	392.31				
12	21 MPa HE 67.15%	21-7-21	31-8-21	398.07				
13	21 MPa IP 7.5%	12-7-21	1-9-21	274.58	275.5	12.0	299.00	2233.19
14	21 MPa IP 7.5%	16-7-21	1-9-21	278.32				
15	21 MPa IP 7.5%	22-7-21	1-9-21	273.61				
16	21 MPa IP 7.15%	12-7-21	1-9-21	447.42	448.9	12.0	299.00	1378.66
17	21 MPa IP 7.15%	16-7-21	1-9-21	444.70				
18	21 MPa IP 7.15%	22-7-21	1-9-21	448.63				
19	21 MPa HE 7.5%	12-7-21	1-9-21	229.34	228.5	12.0	299.00	2602.56
20	21 MPa HE 7.5%	16-7-21	1-9-21	226.51				
21	21 MPa HE 7.5%	22-7-21	1-9-21	229.65				
22	21 MPa HE 7.15%	13-7-21	1-9-21	425.00	423.7	12.0	299.00	1452.04
23	21 MPa HE 7.15%	16-7-21	1-9-21	421.89				
24	21 MPa HE 7.15%	22-7-21	1-9-21	424.25				
25	21 MPa IP 89.5%	14-7-21	1-9-21	117.68	118.2	12.0	299.00	5298.73
26	21 MPa IP 89.5%	20-7-21	1-9-21	115.02				
27	21 MPa IP 89.5%	26-7-21	1-9-21	115.77				
28	21 MPa IP 89.15%	14-7-21	1-9-21	507.04	506.7	12.0	299.00	1214.14
29	21 MPa IP 89.15%	20-7-21	1-9-21	505.38				
30	21 MPa IP 89.15%	26-7-21	1-9-21	507.79				
31	21 MPa HE 89.5%	14-7-21	1-9-21	68.55	67.4	12.0	299.00	9132.41
32	21 MPa HE 89.5%	20-7-21	1-9-21	66.19				
33	21 MPa HE 89.5%	26-7-21	1-9-21	67.37				
34	21 MPa HE 89.15%	14-7-21	1-9-21	122.61	121.6	12.0	299.00	5059.62
35	21 MPa HE 89.15%	20-7-21	1-9-21	120.27				
36	21 MPa HE 89.15%	26-7-21	1-9-21	121.92				

Nota: Los ensayos se realizaron conforme a norma en paneles elaborados en laboratorio.



## Anexo 15. Panel fotográfico



Muestreo de agregados



Cuarteo de los agregados



Homogenización del agregado



Ensayo de peso unitario suelto



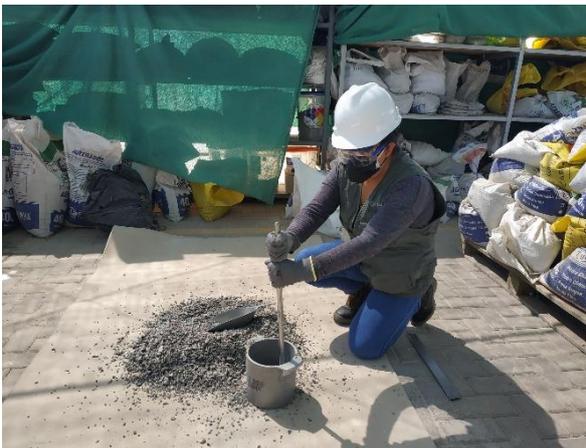
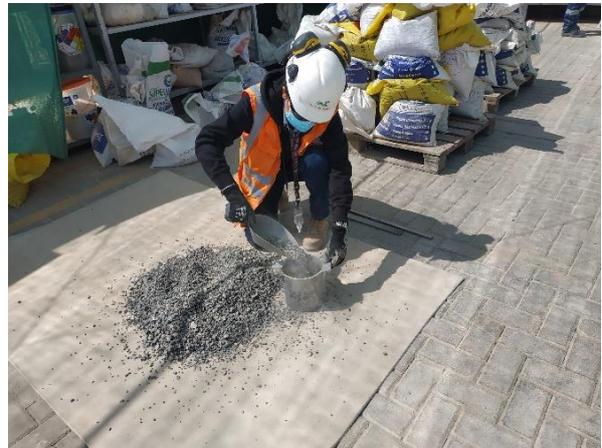
Peso unitario del agregado fino



Peso unitario compactado del agregado fino



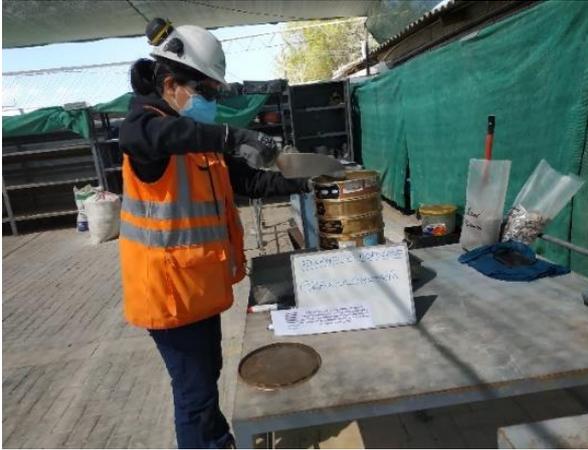
Peso unitario suelto del agregado grueso



Peso unitario compactado agregado grueso



Ensayo de granulometrías



Granulometría del agregado grueso



Secado de muestras



Pesado de muestras



Ensayo malla 200



Ensayo de Absorción



Ensayo malla 200



Secado de muestra malla 200



Peso sumergido



Trompo para las mezclas



Concreto permeable fresco



Prueba de consolidación



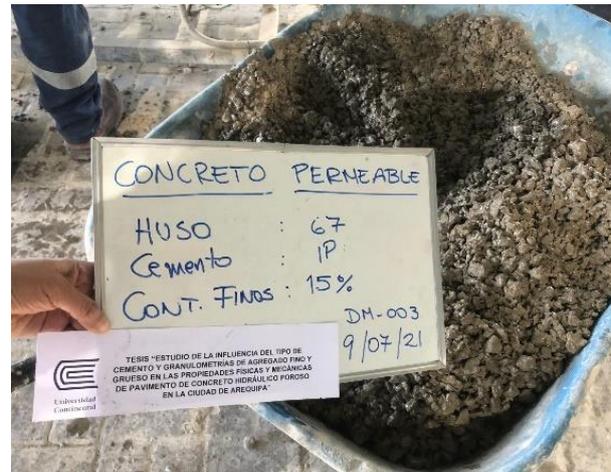
Muestra de concreto fresco



Concreto en olla para peso unitario



Ensayo de temperatura del concreto fresco



Muestras de diferentes diseños de concreto permeable



Elaboración de especímenes



Enrasado de probetas



Probetas cilíndricas y vigas en cámara de curado inicial



Desmolde de especímenes viga



Desmolde de especímenes cilíndricos



Poza de curado



Colocación de especímenes en poza



Curado final de las probetas y vigas





Equipos para ensayos de resistencia (compresión y flexión)



Probetas rotuladas, preparadas para ensayo a compresión



Testigo previo a su ensayo



Testigo ensayado huso 89



Testigos ensayados huso 67



Probetas ensayadas



Ensayo de flexión a especímenes tipo viga



Rotura de vigas rectangulares ensayo resistencia a la flexion



Ensayo de permeabilidad



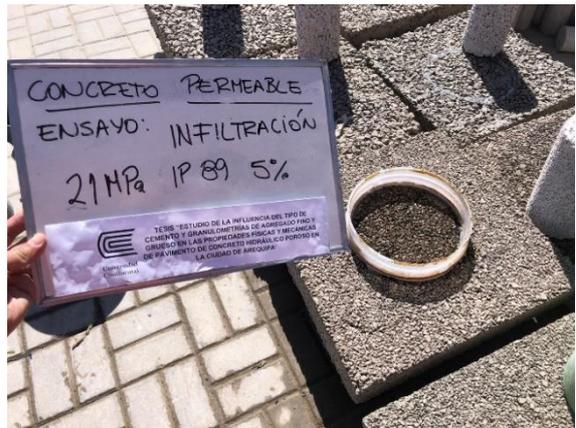
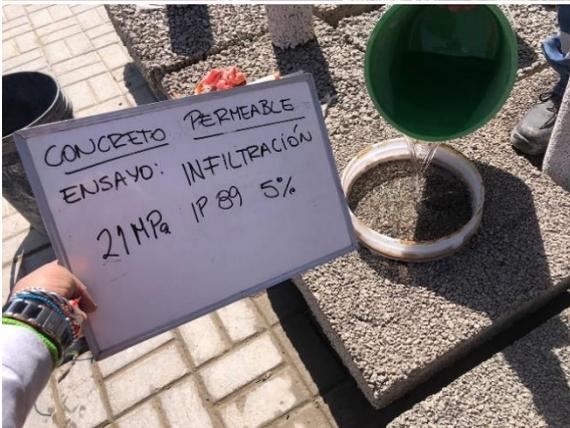
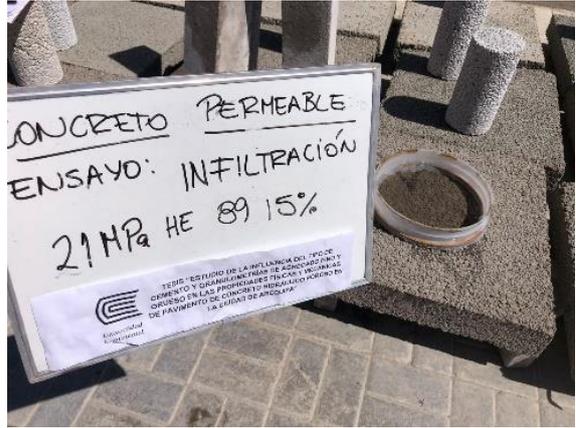
Ensayo de permeabilidad a testigo



Prehumectación para ensayo de infiltración



Losas de concreto poroso



Ensayo para determinar la tasa de infiltración



Funcionalidad del concreto poroso