

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

“INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGUA POTABLE POR AGUA RESIDUAL TRATADA COMO AGUA DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$  EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA, 2025”

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

**AUTOR:**

Bach. JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ

**ASESOR:**

Dr. Ing. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMIREZ

CAJAMARCA – PERU

2026

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Julissa Milagros Sarmiento Ortiz
2. DNI: 72752324  
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
3. Asesor: Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramirez  
Facultad: Ingeniería Civil
4. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
5. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
6. Título de Trabajo de Investigación: "INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGUA POTABLE POR AGUA RESIDUAL TRATADA COMO AGUA DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO DE F'C = 210 KG/CM<sup>2</sup> EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA, 2025"
7. Fecha de evaluación: 23 de Marzo 2026
8. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
9. Porcentaje de Informe de Similitud: 12%
10. Código Documento: trn:oid:::3117:570351000
11. Resultado de la Evaluación de Similitud: 12%  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 24 de Marzo 2026

	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258801 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 24/03/2026 11:21:15-0500</p>
<hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b> <b>Nombres y Apellidos:</b> <b>Hermes Roberto Mosqueira Ramirez</b> <b>DNI No 26673916</b></p>	<hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



## SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

### ACTA N° 0148-2026

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que, a los **veintiocho días del mes de mayo de 2026**, siendo las dieciséis horas (04:00 p.m.) en la Sala de Sustentaciones (Edificio 4A – Segundo Piso) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

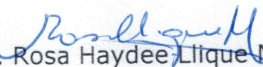
Presidente : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.  
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.  
Secretario : M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.

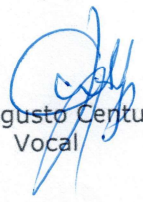
Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis **INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGUA POTABLE POR AGUA RESIDUAL TRATADA COMO AGUA DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO DE  $f'c = 210 \text{ KG/CM}^2$  EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA, 2025**, presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil **JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ**, asesorado por el Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, para la obtención del Título Profesional.

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante, debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

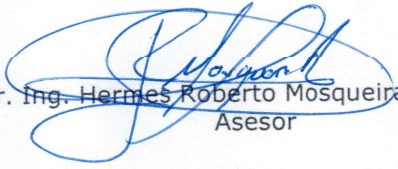
EVALUACIÓN PRIVADA : .....<sup>06</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN PÚBLICA : .....<sup>12</sup>..... PTS.  
EVALUACIÓN FINAL : .....<sup>18</sup>..... PTS     **Dieciocho** (En letras)

En consecuencia, se lo declara **APROBADA** con el calificativo de **Dieciocho (18)** acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las **Diecisiete** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

  
Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.  
Presidente

  
Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.  
Vocal

  
M.Cs. Ing. Marco Antonio Silva Silva.  
Secretario

  
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez.  
Asesor

Copyright © 2026 by  
Julissa Milagros Sarmiento Ortiz  
Todos los derechos reservados

## DEDICATORIA

*A María, Auxilium Christianorum.*

*“En los peligros, en las angustias, en las dudas, piensa en María, invoca a María.*

*Si Ella te tiende su mano, no caerás; si te protege, nada tendrás que temer; no te fatigarás, si es tu guía; llegarás felizmente al puerto, si Ella te ampara”*

*San Bernardo*

*A mi amada madre, Rosario.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, suma y eterna Sabiduría, que me ha sostenido con su gracia a lo largo de toda la carrera y ha dispuesto cuanto ha sido necesario para la realización de este trabajo de investigación. Sin Él, nada hubiera podido hacer. Y a la Santísima Virgen María, a quien consagro humildemente este trabajo, pues, con maternal ternura, ha allanado este camino, haciéndolo suave y ligero.

A mi madre, quien, con su cariño, esfuerzo, dedicación y apoyo constante, ha sido un ejemplo invaluable a lo largo de mi formación profesional y en mi vida personal, así como una de mis principales motivaciones para alcanzar mis metas.

A mi asesor, el Ing. Roberto Mosqueira, por sus valiosos consejos, orientación, acompañamiento y disposición para guiarme a lo largo del desarrollo de esta tesis. Sus conocimientos y experiencia contribuyeron significativamente a esta investigación.

Al Ing. Tito Didio y al personal que labora en la PTAR de Cajabamba, por su interés en la investigación y brindarme acceso a las instalaciones; su colaboración permitió la ejecución de este estudio. Asimismo, al Ing. César Placencia y a los encargados la PTAR en PROREGIÓN, por permitir la realización de esta investigación en la planta.

A Edith Salinas, por su enorme colaboración en el desarrollo del trabajo de campo en Cajabamba. A los compañeros que compartieron sus conocimientos, sugerencias e ideas, y que ofrecieron su asistencia para esta investigación; así como a los amigos que me ayudaron en la realización de los trámites.

A mi jefa y compañeros de trabajo de la DPN de Sunass, por el apoyo, comprensión y flexibilidad que me han brindado durante la elaboración de esta investigación, contribuyendo así a su culminación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.3. Hipótesis de la Investigación .....	3
1.4. Justificación de la Investigación .....	3
1.5. Alcances o Delimitación de la Investigación.....	4
1.6. Limitaciones.....	5
1.7. Objetivos .....	5
1.7.1. Objetivo General.....	5
1.7.2. Objetivos Específicos.....	5
1.8. Descripción del Contenido .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	8
2.2. Bases Teóricas.....	12
2.2.1. Concreto.....	12
2.2.2. Propiedades del Concreto.....	12
2.2.2.1. Propiedades en Estado Fresco .....	12
2.2.2.2. Propiedades en Estado Endurecido.....	14
2.2.3. Agua de Mezcla para Concreto .....	16
2.2.4. Agua Residual Tratada.....	16
2.2.5. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales.....	17
2.2.6. Agua Residual Tratada como Agua de Mezcla para Concreto .....	18
2.2.7. Influencia del Uso de Agua Residual Tratada en las Propiedades del Concreto ...	20

2.2.7.1.	Efectos en el Concreto en Estado Fresco.....	20
2.2.7.2.	Efectos en el Concreto en Estado Endurecido.....	21
2.3.	Definición de Términos Básicos .....	23
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		24
3.1.	Ubicación Geográfica de la Investigación .....	24
3.1.1.	Ubicación Geográfica del Laboratorio.....	25
3.1.2.	Ubicación Geográfica de la Cantera .....	25
3.1.3.	Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....	26
3.2.	Periodo de Estudio .....	28
3.3.	Metodología de la Investigación .....	29
3.3.1.	Enfoque, Tipo, Nivel y Método de Investigación .....	29
3.3.2.	Población de Estudio.....	30
3.3.3.	Muestra.....	30
3.3.4.	Unidad de Análisis .....	31
3.4.	Variables .....	31
3.4.1.	Variable Independiente .....	31
3.4.2.	Variable Dependiente.....	31
3.5.	Procedimiento .....	32
3.5.1.	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados .....	32
3.5.1.1.	Análisis Granulométrico.....	32
3.5.1.2.	Tamaño Máximo Nominal.....	32
3.5.1.3.	Material más Fino que pasa la Malla N° 200 .....	33
3.5.1.4.	Peso Específico y Absorción .....	33
3.5.1.5.	Peso Unitario .....	35
3.5.1.6.	Contenido de Humedad .....	36
3.5.1.7.	Resistencia a la Abrasión.....	37
3.5.2.	Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada .....	37
3.5.2.1.	Determinación de pH.....	38

3.5.2.2.	Sólidos Totales .....	38
3.5.2.3.	Materia Orgánica .....	38
3.5.2.4.	Cloruros .....	38
3.5.2.5.	Sulfatos .....	39
3.5.2.6.	Álcalis.....	39
3.5.2.7.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	39
3.5.2.8.	Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	40
3.5.2.9.	Aceites y Grasas .....	40
3.5.2.10.	Coliformes Termotolerantes .....	40
3.5.3.	Diseño de Mezcla.....	40
3.5.4.	Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada .....	45
3.5.5.	Elaboración de las Probetas de Concreto .....	45
3.5.6.	Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	46
3.5.6.1.	Peso Unitario del Concreto Fresco .....	46
3.5.6.2.	Ensayo de Asentamiento (slump) .....	46
3.5.7.	Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.....	47
3.5.7.1.	Peso Unitario del Concreto Endurecido .....	47
3.5.7.2.	Resistencia a la Compresión.....	47
3.6.	Presentación de Resultados .....	49
3.6.1.	Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados .....	49
3.6.2.	Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada .....	49
3.6.3.	Diseño de Mezclas .....	50
3.6.4.	Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	51
3.6.4.1.	Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco .....	51
3.6.4.2.	Asentamiento .....	51
3.6.5.	Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.....	52
3.6.5.1.	Peso Unitario del Concreto en Estado Endurecido.....	52
3.6.5.2.	Resistencia a la Compresión.....	52

3.6.6. Influencia de la Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada .....	54
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	57
4.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados .....	57
4.2. Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada .....	59
4.3. Diseño de Mezcla de Concreto .....	59
4.4. Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	60
4.4.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco .....	60
4.4.2. Asentamiento.....	61
4.5. Propiedades del Concreto en Estado Fresco .....	62
4.5.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Endurecido .....	62
4.5.2. Resistencia a la Compresión del Concreto.....	63
4.5.3. Influencia de la Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada .....	66
4.6. Contraste de Hipótesis.....	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
5.1. Conclusiones .....	70
5.2. Recomendaciones.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	72
ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación del distrito de Cajabamba .....	24
<b>Figura 2</b> Ubicación de la cantera .....	26
<b>Figura 3</b> Ubicación de la PTAR Lanla .....	27
<b>Figura 4</b> Componentes de la PTAR Lanla.....	28
<b>Figura 5</b> Peso unitario en estado fresco según porcentaje de sustitución de ART .....	51
<b>Figura 6</b> Asentamiento (slump) según el porcentaje de sustitución de ART .....	51
<b>Figura 7</b> Peso unitario en estado endurecido según porcentaje de sustitución de ART .....	52
<b>Figura 8</b> Resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución de ART .....	53
<b>Figura 9</b> Evolución de la resistencia a la compresión según la edad de las probetas.....	53
<b>Figura 10</b> Interacción entre el porcentaje de ART sustituido y la edad de curado.....	55
<b>Figura 11</b> Efecto promedio de la sustitución de ART en la resistencia a la compresión .....	56
<b>Figura 12</b> Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 01.....	80
<b>Figura 13</b> Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 02.....	81
<b>Figura 14</b> Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 03.....	82
<b>Figura 15</b> Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 01 .....	86
<b>Figura 16</b> Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 02 .....	87
<b>Figura 17</b> Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 03 .....	88
<b>Figura 18</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 7 días).....	115
<b>Figura 19</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 14 días).....	117
<b>Figura 20</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 28 días).....	119
<b>Figura 21</b> Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 7 días).....	121
<b>Figura 22</b> Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 14 días).....	123
<b>Figura 23</b> Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 28 días).....	125
<b>Figura 24</b> Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 7 días).....	127
<b>Figura 25</b> Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 14 días).....	129
<b>Figura 26</b> Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 28 días).....	131
<b>Figura 27</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 7 días).....	133
<b>Figura 28</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 14 días).....	135
<b>Figura 29</b> Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 28 días).....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Requisitos de desempeño del agua para concreto .....	18
<b>Tabla 2</b>	Límites químicos opcionales de agua para concreto .....	19
<b>Tabla 3</b>	Georeferenciación del LEM - UNC .....	25
<b>Tabla 4</b>	Georeferenciación de la cantera .....	25
<b>Tabla 5</b>	Georeferenciación de la PTAR.....	26
<b>Tabla 6</b>	Distribución de las muestras a ensayar.....	31
<b>Tabla 7</b>	Relación entre la resistencia requerida y la resistencia de diseño .....	41
<b>Tabla 8</b>	Contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y TMN .....	41
<b>Tabla 9</b>	Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento.....	42
<b>Tabla 10</b>	Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	43
<b>Tabla 11</b>	Propiedades de los agregados fino y grueso .....	49
<b>Tabla 12</b>	Propiedades del agua residual tratada de la PTAR Lanla.....	49
<b>Tabla 13</b>	Peso de los materiales por m <sup>3</sup> .....	50
<b>Tabla 14</b>	Peso de los materiales por m <sup>3</sup> corregidos por humedad .....	50
<b>Tabla 15</b>	Resistencia a la compresión promedio obtenida en los ensayos .....	52
<b>Tabla 16</b>	Resultados del modelo ANOVA factorial.....	54
<b>Tabla 17</b>	Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 7 días .....	54
<b>Tabla 18</b>	Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 14 días .....	54
<b>Tabla 19</b>	Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 28 días .....	55
<b>Tabla 20</b>	Resumen del modelo OLS.....	55
<b>Tabla 21</b>	Coefficientes estimados mediante OLS.....	56
<b>Tabla 22</b>	Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01 .....	80
<b>Tabla 23</b>	Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02 .....	81
<b>Tabla 24</b>	Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03 .....	82
<b>Tabla 25</b>	Peso específico y absorción del agregado fino.....	83
<b>Tabla 26</b>	Peso específico del agua potable .....	83
<b>Tabla 27</b>	Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado fino .....	83
<b>Tabla 28</b>	Peso unitario suelto seco del agregado fino .....	84
<b>Tabla 29</b>	Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado fino .....	84
<b>Tabla 30</b>	Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado fino .....	84
<b>Tabla 31</b>	Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado fino .....	85
<b>Tabla 32</b>	Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01 .....	86
<b>Tabla 33</b>	Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02 .....	87
<b>Tabla 34</b>	Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03 .....	88

<b>Tabla 35</b> Peso específico y absorción del agregado grueso.....	89
<b>Tabla 36</b> Peso específico del agua potable .....	89
<b>Tabla 37</b> Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado grueso.....	89
<b>Tabla 38</b> Peso unitario suelto seco del agregado grueso .....	90
<b>Tabla 39</b> Peso unitario seco compactado del agregado grueso.....	90
<b>Tabla 40</b> Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso .....	90
<b>Tabla 41</b> Contenido de humedad del agregado grueso.....	91
<b>Tabla 42</b> Resistencia a la abrasión del agregado grueso .....	91
<b>Tabla 43</b> Peso específico del agua potable de la ciudad de Cajabamba .....	92
<b>Tabla 44</b> Peso específico del agua combinada ( 25% de ART y 75% de AP) .....	92
<b>Tabla 45</b> Peso específico del agua combinada (50% de ART y 50% de AP) .....	92
<b>Tabla 46</b> Peso específico del agua residual tratada de la PTAR Lanla .....	92
<b>Tabla 47</b> Resultados del ensayo de resistencia de la mezcla de prueba .....	95
<b>Tabla 48</b> Resultados del ensayo de resistencia de la mezcla de prueba corregida .....	96
<b>Tabla 49</b> Asentamiento de la mezcla patrón y con sustitución de ART.....	109
<b>Tabla 50</b> Resistencia a la compresión (100% agua potable, 7 días).....	109
<b>Tabla 51</b> Resistencia a la compresión (100% agua potable, 14 días).....	109
<b>Tabla 52</b> Resistencia a la compresión (100% agua potable, 28 días).....	110
<b>Tabla 53</b> Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 7 días) .....	110
<b>Tabla 54</b> Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 14 días) .....	110
<b>Tabla 55</b> Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 28 días) .....	111
<b>Tabla 56</b> Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 7 días) .....	111
<b>Tabla 57</b> Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 14 días) .....	111
<b>Tabla 58</b> Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 28 días) .....	112
<b>Tabla 59</b> Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 7 días) .....	112
<b>Tabla 60</b> Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 14 días) .....	112
<b>Tabla 61</b> Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 28 días) .....	113
<b>Tabla 62</b> Deformación unitaria (100% de agua potable, 7 días) .....	114
<b>Tabla 63</b> Deformación unitaria (100% de agua potable, 14 días) .....	116
<b>Tabla 64</b> Deformación unitaria (100% de agua potable, 28 días) .....	118
<b>Tabla 65</b> Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 7 días).....	120
<b>Tabla 66</b> Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 14 días).....	122
<b>Tabla 67</b> Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 28 días).....	124
<b>Tabla 68</b> Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 7 días).....	126
<b>Tabla 69</b> Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 14 días).....	128

<b>Tabla 70</b> Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 28 días).....	130
<b>Tabla 71</b> Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 7 días).....	132
<b>Tabla 72</b> Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 14 días).....	134
<b>Tabla 73</b> Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 28 días).....	136

## RESUMEN

La presente investigación evaluó la influencia de la sustitución parcial y total del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en un concreto de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Cajabamba, considerando la limitada disponibilidad de agua potable para cubrir la demanda poblacional. Se comparó la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua potable y con sustituciones del 25 %, 50 % y 100 % de agua residual tratada, a edades de 7, 14 y 28 días. Asimismo, se determinó la consistencia de las mezclas mediante el ensayo de asentamiento. El agua residual empleada provino de la PTAR Lanla y presentó concentraciones de cloruros, sulfatos, álcalis, pH, sólidos suspendidos y materia orgánica dentro de los límites recomendados por la NTP 339.088. Los resultados mostraron que la incorporación de agua residual tratada incrementó el asentamiento del concreto hasta en 0.84 pulgadas. A los 28 días, las sustituciones del 25%, 50% y 100% ocasionaron reducciones en la resistencia a la compresión de 2.4%, 7.3% y 8.4%, respectivamente. En todos los casos, las reducciones fueron inferiores al 10% en comparación con la muestra patrón y se superó la resistencia de diseño. Se concluyó que el agua residual tratada proveniente de la PTAR Lanla constituye una alternativa técnicamente viable para la elaboración de concreto de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Cajabamba.

**Palabras clave:** Concreto, resistencia a la compresión, asentamiento, agua residual tratada, ART.

## ABSTRACT

This research evaluated the influence of partially and completely replacing potable water with treated wastewater as mixing water in concrete with a compressive strength ( $f_c$ ) of 210 kg/cm<sup>2</sup> in the city of Cajabamba, considering the limited availability of potable water to meet the population's demand. The compressive strength of concrete made with potable water and with 25%, 50%, and 100% treated wastewater substitutions was compared at 7, 14, and 28 days. The consistency of the mixtures was also determined using the slump test. The wastewater used came from the Lanla Wastewater Treatment Plant and had chloride, sulfate, alkali, pH, suspended solids, and organic matter concentrations within the limits recommended by NTP 339.088. The results showed that the incorporation of treated wastewater increased the concrete slump by up to 0.84 inches. At 28 days, the 25%, 50%, and 100% substitutions resulted in reductions in compressive strength of 2.4%, 7.3%, and 8.4%, respectively. In all cases, the reductions were less than 10% compared to the control sample, and the design strength was exceeded. It was concluded that treated wastewater from the Lanla Wastewater Treatment Plant is a technically viable alternative for producing concrete with a compressive strength of  $f_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> in the city of Cajabamba.

**Keywords:** Concrete, compressive strength, slump, treated wastewater, TWW.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizado y su fabricación es una de las actividades que demanda más agua (Asadollahfardi et al., 2016), se estima que representa alrededor del 1.7% del consumo mundial de agua (Miller et al., 2018). Así se tiene que para elaborar 1 metro cúbico de concreto se necesitan mínimamente 800 litros agua, de los cuales 500 se emplean en la mezcla misma y 300 para la limpieza de los camiones mixer (Yahyaei et al., 2021).

Lo usual es que para producir concreto se utilice agua potable, puesto que no necesita de análisis químicos ni ensayos, se sabe que si es apta para el consumo humano no contiene impurezas que puedan afectar negativamente el desempeño del concreto. Sin embargo, el agua potable cumple con procesos y estándares de calidad estrictos porque está destinada primordialmente al consumo humano, muchos de estos requisitos no son necesarios para elaborar concreto. Por lo que usar indiscriminadamente el agua potable como agua de mezcla no contribuye a mejorar la calidad del concreto que se produce, pero si constituye un desperdicio y un uso irracional de un recurso cada vez más escaso en las ciudades.

La limitada disponibilidad de agua potable es un problema global que también afecta a la ciudad de Cajabamba, donde el 16% de los hogares no tiene acceso al servicio de agua potable y durante los meses de estiaje la cantidad de agua captada y tratada en la

Planta de Tratamiento solo permite brindar 12 horas al día de agua potable a la población<sup>1</sup>. Aun cuando la producción de agua potable ni siquiera cubre la demanda para uso doméstico de la ciudad, una parte importante de esta producción se destina al mezclado del concreto; a saber, el 76.7% de las construcciones en la ciudad de Cajabamba usa agua potable como agua de mezcla<sup>2</sup>.

Este problema se agrava con el pasar del tiempo a causa del crecimiento poblacional que experimenta la ciudad de Cajabamba (alrededor del 1.01% anual<sup>3</sup>), que, por un lado, aumenta la demanda de agua potable y la presión sobre los recursos hídricos, y por otro, intensifica la urbanización y con ello las actividades de construcción (las licencias de construcción se incrementaron en 540% entre 2017 y 2021<sup>4</sup>). En los últimos años la expansión de la construcción ha provocado que la demanda de concreto se acreciente, esto a su vez genera mayor presión sobre las fuentes hídricas y sobre la infraestructura de tratamiento y distribución del agua potable, debido a que es este recurso el que se utiliza por lo general en todos los procesos constructivos y en particular en la elaboración de concreto. Esta situación ha evidenciado la necesidad de que se exploren fuentes alternativas para sustituir total o parcialmente el agua potable como agua de mezcla.

Paralelamente la ciudad de Cajabamba cuenta con dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, que generan grandes volúmenes continuos de agua residual tratada, que no son reutilizados eficientemente y terminan siendo descargados a los cuerpos de agua. Estas aguas residuales tratadas podrían ser potencialmente reinsertadas en el proceso productivo al reutilizarse en la elaboración de concreto. Sin embargo, no existen

---

<sup>1</sup> Informe N.º 118-2022-SUNASS-ODS-CAJ-ESP

<sup>2</sup> Este dato se obtuvo de la aplicación de una encuesta, los resultados de esta y su ficha técnica pueden consultarse en el Anexo A.

<sup>3</sup> Sistema de Información Distrital para la Gestión Pública - INEI

<sup>4</sup> Sistema de Información Distrital para la Gestión Pública - INEI

estudios específicos que evalúen esta alternativa en condiciones locales y brinden evidencia técnica sobre cómo estas aguas podrían afectar el comportamiento del concreto.

En este contexto, se hace imperativo investigar la influencia de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en las propiedades mecánicas del concreto, en especial en la resistencia a la compresión, para determinar si es una alternativa viable que puede contribuir a reducir el consumo de agua potable en la elaboración de concreto en la ciudad de Cajabamba.

## **1.2. Formulación del Problema**

¿En cuánto influye de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión de un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajabamba?

## **1.3. Hipótesis de la Investigación**

La sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajabamba no reduce la resistencia a la compresión.

## **1.4. Justificación de la Investigación**

La presente investigación es relevante porque contribuye a generar conocimiento para comprender el efecto de la inclusión de agua residual tratada como agua de mezcla en las propiedades del concreto. En especial en la resistencia a la compresión que es la variable más importante en base a la cual la normativa establece si se acepta o no un tipo de agua para mezclar concreto. En consecuencia, este estudio aporta evidencia de si el uso de agua residual tratada como sustituto del agua potable en la elaboración de concreto es viable, de modo que se reduzca el uso de agua potable en actividades distintas al

consumo humano promoviendo un uso más eficiente y se impulse la implementación de prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

### **1.5. Alcances o Delimitación de la Investigación**

La investigación centró específicamente en el efecto en la resistencia a la compresión de la sustitución del agua potable por agua residual tratada para mezclar concreto. Se enfocó en el concreto con una resistencia de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , utilizado comúnmente en la construcción en la ciudad de Cajabamba. Se establecieron comparaciones en la resistencia a las edades de curado de 7, 14 y 28 días, sustituyendo porcentajes de 25%, 50% y 100% del agua de mezcla por agua residual tratada proveniente de la PTAR Lanla de la ciudad de Cajabamba.

En estado fresco, el análisis se enfocó principalmente en el asentamiento, sin determinar la temperatura de la mezcla para los distintos porcentajes de sustitución de agua potable por agua residual tratada. Asimismo, no se evaluaron los efectos de esta sustitución en la durabilidad, permeabilidad u otras propiedades del concreto a largo plazo, ni su aplicación o desempeño en condiciones reales de obra.

El estudio incluyó la caracterización del agua residual tratada utilizada, considerando sus parámetros físicos y químicos. No obstante, se desarrolló empleando exclusivamente cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo y un único tipo de agregados provenientes de la cantera Palo Amarillo, ubicada en la provincia de Cajabamba. En consecuencia, los resultados obtenidos se delimitan a los materiales y condiciones en las cuales se desarrolló la investigación.

## **1.6. Limitaciones**

No se determinó el tiempo de fraguado por la ausencia de los equipos necesarios en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC para realizar el ensayo de acuerdo con la NTP 339.082 y la inexistencia de otros laboratorios que tuvieran equipos calibrados para la realización de dicho ensayo.

El peso específico del agua potable y combinada no fue determinado mediante instrumentos especializados, como un densímetro, por lo que la precisión de las mediciones estuvo condicionada por la cantidad mínima de peso que las balanzas disponibles en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC pudieron detectar o mostrar. Esto implica que variaciones de peso muy pequeñas podrían no haber sido registradas durante el proceso de medición.

## **1.7. Objetivos**

### ***1.7.1. Objetivo General***

Evaluar la influencia de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión de un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajabamba.

### ***1.7.2. Objetivos Específicos***

- Identificar las características físicas y químicas del agua residual tratada de la PTAR Lanla de Cajabamba.
- Comparar el asentamiento en estado fresco del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agua residual tratada de la PTAR Lanla de Cajabamba, frente al

elaborado con agua potable, empleando niveles de sustitución del 25%, 50% y 100%.

- Comparar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agua residual tratada de la PTAR Lanla de Cajabamba y el elaborado con agua potable, empleando niveles de sustitución del 25%, 50% y 100%.

## 1.8. Descripción del Contenido

**Capítulo I: Introducción.** Se describe la situación que da origen al problema de investigación, la hipótesis que se pretendió comprobar, los alcances o delimitación del estudio, las principales limitaciones que se encontraron, así como los objetivos generales y específicos de la investigación.

**Capítulo II: Marco Teórico.** Cita los antecedentes internacionales, nacionales y locales más relevantes encontrados sobre el tema de estudio, muestra los fundamentos teóricos de la investigación y define los principales términos básicos utilizados.

**Capítulo III: Materiales y métodos.** Se describen los materiales y métodos empleados, el espacio temporal del estudio, el tipo, nivel y método de investigación aplicado, la población de estudio, se realiza el cálculo de la muestra y se detalla el procedimiento seguido para la obtención de datos. Además, presentan todos los resultados obtenidos mediante los ensayos.

**Capítulo IV: Análisis y discusión de resultados.** Contiene el análisis y la discusión de los principales hallazgos reportados en los resultados, así como su contraste con los resultados de otras investigaciones y con los requisitos y criterios establecidos en las normas correspondientes.

**Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.** Presenta las conclusiones a las que se llegó de acuerdo con los objetivos planteados en el estudio y las recomendaciones para futuras investigaciones vinculados al tema de investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

##### *Internacionales*

Micheal & Salam (2024) en la investigación denominada “*Fiabilidad del uso de aguas residuales tratadas secundaria y terciariamente en la mezcla y curado del hormigón*” realizada en la ciudad de El Shorouk en Egipto, estudiaron el efecto sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de emplear aguas residuales tratadas secundaria y terciariamente para la mezcla y el curado del hormigón. Se empleó para la mezcla de control 100% de agua potable y para las muestras de tratamiento combinaciones de 25%, 50% y 100% de agua residual tratada, se utilizó el mismo tipo de agua para el curado. Los resultados que se obtuvieron fueron que el tiempo de fraguado inicial y final de las muestras elaboradas con agua residual tratada aumentó en alrededor de 1%, que la resistencia a la compresión cumplió los límites establecidos pues no fue inferior en más de 10% de las muestras de control, que las muestras presentaron una menor resistencia al ataque de sulfatos pues se aumentó considerable de la expansión lineal en las mezclas elaboradas con agua residual tratada. Los autores concluyeron que es seguro emplear aguas residuales tratadas para la elaboración y curado de concreto, solo se debe tener precauciones adicionales en caso de su uso en entornos que contengan sulfatos.

Deldar et al. (2024) en el estudio titulado “*Evaluación de los impactos de las aguas residuales tratadas en las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del hormigón*” realizado en la ciudad de Gazimağusa en Chipre, publicado por la revista Iraní de Ciencia y Tecnología, ejecutaron ensayos de trabajabilidad, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión, densidad, porosidad, absorción de agua, valor de pH y pruebas de corrosión acelerada empleando voltaje impreso para determinar los impactos del uso de agua residual tratada en la elaboración y curado de concreto. Obtuvieron que la resistencia a la compresión y a la tracción a los 7 días para las muestras de tratamiento tuvo una reducción menor al 10% de la obtenida en las muestras de control cumpliendo con los límites establecidos por la ASTM C1602, y que a los 6 meses de curado la resistencia a la compresión y tracción se incrementa llegando casi a igualar a la de las muestras de control. Aunque los autores también encontraron tasas de corrosión más altas, una aparición más temprana de grietas y una mayor pérdida de masa de las barras de refuerzo en las muestras de tratamiento, concluyeron que el agua residual tratada se puede emplear para elaborar y curar el concreto, siempre que se tomen precauciones cuando el concreto pudiera estar expuesto a entornos agresivos.

### ***Nacionales***

De La Borda et. al (2024) en el estudio denominado “*Nuevo diseño de concreto  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> con aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento del distrito de Canta - Lima para uso en veredas y sardineles*”, evaluaron si el agua residual tratada de la PTAR de Canta podía emplearse en la elaboración de concreto de  $f'c=175$  kg/cm<sup>2</sup> para la construcción de veredas y sardineles. Los ensayos de laboratorio dieron como resultado que el agua residual tratada de la PTAR de Canta cumple con los límites máximos permitidos de cloruros, materia orgánica, sólidos en suspensión, pH, alcalinidad y sulfatos en el agua. Y la resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días fueron cercanas

a la resistencia de la muestra realizada con agua potable. La resistencia a la compresión a los 28 días supero en 4% a la resistencia a la compresión obtenida en la muestra patrón. Los autores concluyeron que es viable emplear aguas residuales tratadas para elaborar concreto para veredas y sardineles.

Espinoza Condor (2023) en la investigación titulada “*Determinación del desempeño y propiedades físicas de concreto con resistencia  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup> elaboradas con aguas residuales tratadas de la PTAR Pucayacu para minimizar el uso de agua potable en la producción de concreto en la carretera Pasco – La Quinua 2023*”, estudió las propiedades del concreto, como la resistencia a la compresión, densidad, porosidad, absorción de agua y durabilidad, utilizando aguas residuales tratadas de la PTAR Pucayacu en comparación con agua potable. Los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días de edad del concreto. Los resultados indicaron que no hubo diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre las muestras elaboradas con agua residual tratada y aquellas elaboradas con agua potable. Sin embargo, el concreto producido con agua residual tratada presentó una mayor densidad, menor porosidad y absorción, además de una mayor durabilidad en comparación con el concreto convencional. Además, el autor calculó que el costo de producción por metro cúbico de concreto utilizando agua residual tratada fue inferior en 3.15 soles en comparación con el concreto producido con agua potable. El autor concluyó que el uso de agua residual tratada proveniente de la PTAR Pucayacu representa una alternativa viable y sostenible para la producción de concreto con una resistencia a la compresión de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

Flores Villa & Peñares Crispin (2022) en el estudio denominado “*Evaluación de concreto armado con resistencia 280 kg/cm<sup>2</sup> con aguas residuales tratadas de la PTAR ACLARA y la implementación de microorganismos en elementos estructurales (vigas y columnas) para minimizar el alto uso de agua potable en la producción del concreto en*

*la región de Ica*”, evaluaron los efectos en el concreto en estado fresco y endurecido de reemplazar el agua potable como agua de mezcla, por agua residual tratada de la PTAR ACLARA en Ica y agua residual con un aditivo bacteriano (*Bacillus subtilis*). Se realizaron ensayos de asentamiento y resistencia a la compresión. Los autores hallaron que con relación a la muestra patrón la resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días se incrementó en 28%, 14% y 24% respectivamente, por su parte la resistencia a la flexión se incrementó en 2% y la permeabilidad se redujo. Los autores concluyeron que el agua residual de la PTAR ACLARA es apta para ser utilizada como agua de mezcla pues no solamente no perjudica las propiedades del concreto elaborado a partir de ella, sino que incluso las mejora.

### ***Locales***

Pinedo Ruiz (2018) en el estudio “*Resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua residual tratada proveniente de la PTAR del distrito de La Encañada – Cajamarca - 2018*”, analizó el efecto de utilizar agua residual tratada de la PTAR del distrito de La Encañada para la elaboración de concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , a las edades de 7, 14 y 28 días. Los datos se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio que incluyeron granulometría, contenido de humedad, ensayo de peso unitario, peso específico, absorción, ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso y fino, así como pruebas de compresión realizadas en 36 probetas cilíndricas. El autor encontró que las mezclas elaboradas con agua residual tratada cumplen con los estándares establecidos por la Norma Técnica Peruana, y aunque se produce una disminución de la resistencia a la compresión esta es inferior al 10% en comparación con la muestra patrón (7.21%). Por lo tanto, el autor concluyó que el agua residual tratada de la PTAR de La Encañada es adecuada para la elaboración de concreto.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Concreto**

La mezcla del cemento, agregado grueso, arena y agua, se denomina concreto (Claisse, 2016). Por lo que básicamente el concreto se puede definir como un material compuesto por cemento hidráulico, agregados (arena y grava o piedra triturada) y agua, que puede incluir aditivos, fibras y materiales cementantes complementarios (ACI CT-18, 2018).

### **2.2.2. Propiedades del Concreto**

Las propiedades del concreto son aquellas características físicas, mecánicas y reológicas que determinan el comportamiento de la mezcla de concreto durante su transición del estado plástico al sólido y determinan su capacidad para cumplir los requerimientos fundamentales en estado fresco y endurecido exigidos para su uso.

#### **2.2.2.1. Propiedades en Estado Fresco**

El concreto en estado fresco es aquel recién mezclado que aún no ha iniciado su fraguado. El concreto en este estado debe poderse transportar, manipular y colocar dentro de los encofrados y fluir alrededor del acero de manera fácil y sin segregarse (Neville, 2013). Las principales propiedades del concreto en estado fresco se describen a continuación:

- **Trabajabilidad**

Se refiere a la propiedad del concreto fresco que determina la facilidad con que este puede mezclarse, colocarse, consolidarse y acabarse de manera homogénea (ACI CT-18, 2018). Es decir, es la cantidad de esfuerzo o trabajo que se necesita para manejar una

masa de concreto fresco con la menor pérdida de homogeneidad de la mezcla (ASTM C403, 2023). Lamentablemente, no existe alguna prueba directa o correlación con otra variable que pueda proporcionar una medición aceptable de la trabajabilidad de una mezcla (Neville, 2013) .

- **Consistencia y asentamiento**

La consistencia y asentamiento son dos conceptos que están relacionados. La consistencia denota la estabilidad de forma de una sustancia o la facilidad con la que una sustancia puede fluir. De tal modo que, se define como la capacidad del concreto recién mezclado para fluir y se mide por el asentamiento (Neville, 2013). A su vez, el asentamiento, en inglés *slump*, es un indicador de la consistencia del concreto que señala el grado de fluidez de una mezcla. Se mide por el desplazamiento vertical de la masa de concreto luego de retirar un molde tónico (cono de Abrams). En condiciones de laboratorio el asentamiento muestra una relación directamente proporcional al contenido de agua de la mezcla e inversamente proporcional a la resistencia del concreto ya endurecido. No obstante en campo la relación con la resistencia no se ha demostrado de manera consistente (ASTM C403, 2023).

- **Tiempo de Fraguado**

Es el periodo durante el cual, a causa de la formación de los productos de la hidratación, como el silicato de calcio hidratado, la mezcla de concreto pasa de un estado fluido a uno rígido (Kosmatka et al., 2002). Es importante distinguir el fraguado del endurecimiento, el endurecimiento alude a la ganancia de resistencia de una mezcla ya fraguada (Neville, 2013).

Existen dos tiempos de fraguado. El primero es el tiempo de fraguado inicial que es el periodo desde que el cemento y el agua entran en contacto hasta que la mezcla alcanza una resistencia a la penetración de 500 psi (3.5 Mpa) (ASTM C403, 2023), luego de pasar ese umbral el concreto ya no se puede manejar, vibrar o terminar adecuadamente. El segundo es el tiempo que transcurre desde el momento en que el cemento entra en contacto con el agua hasta que la mezcla alcanza una resistencia a la penetración de 4000 psi (27.6 Mpa) (ASTM C403, 2023) y pierde completamente su plasticidad empezando a ganar resistencia como un sólido.

#### **2.2.2.2. Propiedades en Estado Endurecido**

El concreto en estado endurecido es aquel en el cual se ha terminado el proceso de fraguado y se ha formado su estructura interna final, iniciado así su comportamiento sólido. Las propiedades del concreto en estado endurecido influyen en su capacidad estructural, durabilidad y desempeño. Las principales propiedades en estado endurecido se presentan a continuación:

- **Resistencia a la compresión**

La resistencia es la cualidad del concreto de resistir esfuerzos sin fallar. A menudo la aparición de fisuras señala una falla, no obstante, hay que considerar que el concreto presenta microfisuras internas incluso antes de ser sometido a fuerzas externas. Por lo que es más preciso definir la resistencia como el esfuerzo necesario para provocar la fractura del concreto y es equivalente al grado de falla en que el esfuerzo aplicado alcanza su máximo valor. En los ensayos de resistencia a la tensión la falla sucede cuando la probeta se fractura, en cambio en los ensayos de resistencia a la compresión la falla puede producirse sin que se observe la fractura externa, basta que las fisuras internas estén tan

avanzadas que la probeta sea incapaz de resistir una carga mayor sin fracturarse (Mehta & Monteiro, 2001).

En la práctica el concreto no solo está sometido al esfuerzo de compresión sino también a esfuerzos cortantes y de tracción en dos o más direcciones, sin embargo, la mayoría de los elementos de concreto son diseñados para aprovechar su resistencia a la compresión la cual es mayor a sus otros tipos de resistencia. Además, por lo general la resistencia a la compresión es la propiedad que se especifica tanto para el diseño como para el control de calidad del concreto, debido a que los ensayos de compresión uniaxial son fáciles de realizar. Por estas razones la resistencia a la compresión a los 28 días es universalmente aceptada como un índice general de la resistencia del concreto (Mehta & Monteiro, 2001).

- **Durabilidad**

La durabilidad está relacionada a la vida útil del concreto y está influenciada por el ambiente al que está expuesto. Se define como la capacidad que tiene el concreto de resistir la exposición a factores ambientales de la intemperie, ataques químicos, abrasión, o a algún otro elemento que pueda producir su deterioro. Cuando el concreto tiene durabilidad es capaz de mantener su forma, calidad, y capacidad de servicio inicial después de exponerse a su entorno ambiental. Sin embargo, el concreto como cualquier otro material no es completamente durable, las propiedades de sus materiales cambian a lo largo del tiempo como consecuencia de su interacción con su entorno. El final de la vida útil del concreto se produce cuando sus propiedades se han deteriorado a tal punto que su uso se vuelve inseguro o antieconómico (Mehta & Monteiro, 2001).

### ***2.2.3. Agua de Mezcla para Concreto***

También llamada agua de amasado o agua dosificada es la cantidad de agua que está presente en la masa de concreto recién mezclada sin considerar el agua absorbida por los agregados (ACI CT-18, 2018). El agua de mezcla incluye el agua directamente agregada, el agua libre en los agregados (la humedad superficial menos el agua absorbida) y de ser el caso el agua contenida en los aditivos. La función esencial del agua en la mezcla es reaccionar químicamente con el cemento de tal modo que produzca la hidratación de este y proporcione la trabajabilidad necesaria para su colocación. Químicamente, el agua de mezcla es responsable de la formación del gel de hidrato de silicato de calcio (C-S-H) que influye en la resistencia del concreto y físicamente, condiciona la permeabilidad del concreto endurecido debido a que el agua que no reacciona ocupa un volumen que deja un vacío (poros capilares) (Claisse, 2016).

### ***2.2.4. Agua Residual Tratada***

El agua residual tratada es el efluente resultante de un proceso o un conjunto de procesos diseñados para reducir o eliminar los contaminantes del agua que ha sido utilizada en diversas actividades humanas o procesos económicos, como el comercio, la industria, la agricultura, entre otras y que a causa de ese uso ha sido contaminada perdiendo su calidad original, hasta que se logren alcanzar estándares específicos de calidad que permitan su reutilización o vertimiento en los cuerpos de agua o el ambiente de manera segura (Metcalf & Eddy, Inc., 2003). Ahora bien, en los últimos años en la normativa internacional (ISO 24513, 2019) el concepto de agua residual tratada ha ido evolucionando hacia el concepto de agua regenerada que incide más en que el agua residual tratada no es un residuo sino un recurso que puede ser aprovechado en el riego, la industria, la recarga de acuíferos, etc. (ISO 20670, 2023).

Para que el agua se considere tratada se tienen que evaluar las características del efluente respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que mide el contenido de materia orgánica biodegradable, los Sólidos Suspendedos Totales (SST) que miden las partículas que pueden ser retenidas en filtros de precisión y los indicadores microbiológicos como la cantidad de coliformes termotolerantes (APHA et al., 2012).

#### ***2.2.5. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales***

De acuerdo con Metcalf & Eddy, Inc. (2003) y la Water Environment Federation (2017) el nivel de tratamiento depende del grado de eliminación de contaminantes que se alcance con los procesos de tratamiento, existiendo hasta tres niveles de tratamiento:

- **Tratamiento primario:** Se basa principalmente en procesos de sedimentación, es decir, en la separación física de los contaminantes por acción de la gravedad. Mediante el tratamiento primario se eliminan los sólidos suspendidos y la materia orgánica gruesa (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).
- **Tratamiento secundario:** Comprende el uso de procesos biológicos como lodos activados o filtros percoladores. Mediante el tratamiento secundario se elimina la materia orgánica biodegradable disuelta y los sólidos coloidales los cuales son sometidos a oxidación microbológica (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).
- **Tratamiento terciario o avanzado:** Utiliza procesos fisicoquímicos como la filtración de membrana, la desinfección UV y la oxidación avanzada. Mediante el tratamiento terciario se eliminan los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, los contaminantes trazas como los metales pesados y los contaminantes patógenos que pueden persistir en el tratamiento secundario (Metcalf & Eddy, Inc., 2003).

### 2.2.6. *Agua Residual Tratada como Agua de Mezcla para Concreto*

La producción de concreto es una de las actividades que más demanda agua. Lo crítico es que, a pesar del contexto de cambio climático y escasez de agua en muchas ciudades, lo usual es que se utilice agua potable en la fabricación de concreto. Esta situación ha llevado a que se exploren fuentes alternativas para sustituir total o parcialmente el agua potable como agua de mezcla (Asadollahfardi et al., 2016).

Almeida & Tonetti (2024) mencionan que durante los últimos años se ha estado evaluando la factibilidad de usar fuentes de agua que no ofrezcan la calidad suficiente para el consumo humano como agua de mezcla, principalmente aguas residuales domésticas e industriales tratadas secundaria y terciariamente. Usar agua residual tratada como agua de mezcla tiene mucho potencial debido a que es una fuente de agua continua en ciudades con gran cantidad de población donde hay mucha presión sobre los recursos hídricos por el crecimiento urbano y diversas investigaciones han demostrado que se puede producir concreto de propiedades aceptables con dichas aguas (Almeida & Tonetti, 2023).

**Tabla 1**

*Requisitos de desempeño del agua para concreto*

<b>Parámetro</b>	<b>ASTM C1602 (EE. UU.)</b>	<b>EN 1008 (Europa)</b>	<b>NTP 339.088 (Perú)</b>
Resistencia a la compresión	≥ 90 % respecto al agua de control	≥ 90 % respecto al agua de control	≥ 90 % respecto al agua de control
Tiempo de fraguado	-1:00 h a +1:30 h	Desviación máx. 25 % y fraguado inicial ≥1h fraguado final ≤ 12 h	-1:00 h a +1:30 h

*Nota.* Resumen propio a partir de las normas indicadas.

Evidentemente el uso de agua residual tratada como agua de mezcla requiere que esta cumpla los estándares de calidad en cuanto a desempeño y límites químicos

establecidos en las normas para fuentes de agua no potables. En ese sentido, la norma más utilizada internacionalmente es la ASTM C1602 que brinda los requisitos que debe cumplir el agua no potable para ser aceptada como agua de mezcla. Esta norma señala que el uso de agua residual tratada se debe evaluar en función a los resultados de pruebas de resistencia a la compresión a los 7 días y el tiempo de fraguado. Además, brinda límites químicos opcionales que la agua residual tratada debería cumplir. Por su parte, la norma europea EN 1008 establece límites más riguroso para sulfatos e impone restricciones para otras sustancias que la norma norteamericana no contempla. En tanto que NTP 339.088 recoge prácticamente los mismos estándares que la ASTM C1602.

Los requisitos de desempeño requeridos se muestran en la Tabla 1 mientras que los límites químicos opcionales se presentan en la Tabla 2. El hecho de que sean opcionales significa que la prelación la tienen los requisitos de desempeño, si por ejemplo se cumplen los límites químicos y no se alcanza la resistencia el agua debe ser rechazada.

**Tabla 2**

*Límites químicos opcionales de agua para concreto*

<b>Parámetro</b>	<b>ASTM C1602 (EE. UU.)</b>	<b>EN 1008 (Europa)</b>	<b>NTP 339.088 (Perú)</b>
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	500 ppm (pretensado) 1000 ppm (reforzado)	500 mg/L (pretensado) 1000 mg/L (reforzado) 4500 mg/L (sin refuerzo)	500 ppm (pretensado) 1000 ppm (reforzado)
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	3000 ppm	2000 mg/L	3000 ppm
Sólidos totales	50000 ppm	No especifica valor único	50000 ppm
Álcalis (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	600 ppm	Solo si hay agregados reactivos < 1500 mg/L	600 ppm
pH	No especifica límite	≥ 4.5	No especifica límite

*Nota.* Resumen propio a partir de las normas indicadas.

### ***2.2.7. Influencia del Uso de Agua Residual Tratada en las Propiedades del Concreto***

Como se ha mencionado anteriormente el agua residual tratada dependiendo del nivel de tratamiento que se le haya dado puede contener materia orgánica, cloruros y sulfatos que pueden interferir en la hidratación del cemento y en la formación de los productos de la reacción. Por lo que la introducción de agua residual tratada en el agua de mezcla puede afectar las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido, no obstante, de acuerdo con Kosmatka et al. (2002) cuando el agua residual tratada es adecuadamente tratada el efecto sobre las propiedades del concreto elaborado con ella es mínimo.

#### **2.2.7.1. Efectos en el Concreto en Estado Fresco**

En estado fresco, el agua residual tratada puede modificar propiedades como la trabajabilidad, la consistencia y el tiempo de fraguado.

- **Tiempo de fraguado**

Según Peighambarzadeh et al. (2020) cuando se emplea agua residual tratada como agua de mezcla el tiempo de fraguado inicial se incrementa en 62 minutos y el tiempo de fraguado final en 30 minutos. Esto se debe a que el fraguado inicial y la resistencia temprana dependen de la hidratación del silicato tricálcico  $C_3S$  (alita), como refiere Young (1976) este proceso es sensible a las impurezas del agua residual tratada sobre todo cuando la reacción del  $C_3S$  se empieza a acelerar y se produce la nucleación junto con la formación de cristales de hidróxido de calcio (CH), la materia orgánica disuelta en el agua residual tratada puede matar estos núcleos quedándose absorbida en la superficie de los mismos impidiendo que sigan creciendo y ocasionando que la reacción se ralentice. Por esta razón dependiendo de la cantidad de materia orgánica que contenga el agua residual tratada se puede retrasar el tiempo de fraguado del concreto.

- **Trabajabilidad y asentamiento (Slump)**

El uso de agua residual tratada influye directamente en la trabajabilidad de la mezcla, las investigaciones reportan resultados mixtos según el nivel de tratamiento del agua usada. Por un lado, investigaciones que usaron aguas tratadas secundaria o terciariamente reportaron que el asentamiento se incrementó ligeramente (Micheal & Salam, 2024) o incluso que se produjeron variaciones no significativas (Abushanab & Alnahhal, 2021). Por otro lado, investigaciones donde se usaron aguas con una gran cantidad de sólidos suspendidos como la de Elsayed et al. (2022) y Bouaich et al. (2022) hallaron que el uso de agua residual tratada redujo el asentamiento hasta en 29% esto según Deldar et al. (2024) a causa de que se produce una mayor absorción de agua por los sólidos disueltos en ella.

La trabajabilidad puede ser afectada no solo por la demanda hídrica de los sólidos suspendidos finos sino también por la presencia de cloruros en el agua residual tratada que pueden reaccionar con el  $C_3S$  formando sal de Friedel lo que puede reducir la fluidez de la mezcla.

#### **2.2.7.2. Efectos en el Concreto en Estado Endurecido**

De acuerdo con Yao et al. (2022) el uso de agua residual tratada como agua de mezcla no genera la formación de nuevos compuestos químicos en el concreto, los productos siguen siendo calcita, portlandita, etringita y silicato de calcio hidratado (C-S-H), lo que si hace el agua residual tratada es cambiar la distribución y el tamaño de estos productos dentro de la microestructura formada en el concreto endurecido, lo que tiene efectos principalmente en la resistencia y la durabilidad.

- **Resistencia a la compresión**

Varios estudios como el de Elsayed et al. (2022) han determinado que el concreto elaborado con agua residual tratada puede alcanzar una resistencia a la compresión igual o incluso superior a la del fabricado con agua potable. Deldar et al. (2024) menciona que este hecho se genera por el efecto de relleno de poros, que consiste en que a medida que se desarrolla la hidratación los sólidos disueltos y suspendidos en el agua residual tratada se sitúan en los poros capilares de la pasta de cemento reduciendo así el volumen de estos y haciendo más densa la microestructura del concreto.

A pesar de que la presencia de cloruros y la alcalinidad puede hacer que los concretos en los que se use agua residual tratada tengan mayores valores de resistencia a edad tempranas, esta situación puede cambiar a edades tardías debido a que las impurezas presentes en el agua residual tratada pueden no terminar de integrarse químicamente en los cristales C-S-H y consecuentemente producir microfisuras internas o inestabilidades volumétricas que terminen reduciendo la resistencia a largo plazo hasta en un 10% respecto al concreto elaborado con agua potable (Nasserlshariati et al., 2021).

- **Durabilidad**

Aunque la evaluación de la durabilidad excede los alcances de la presente investigación a modo de referencia es importante señalar que el uso del agua residual tratada puede acelerar la degradación química y física del concreto. Por un lado, la inclusión de agua residual tratada como agua de mezcla puede incrementar el riesgo de corrosión en las estructuras de concreto armado cuando la presencia de cloruros es muy alta y llega a destruir la capa pasivante del acero de refuerzo, sin embargo, el agua residual tratada por lo general tiene una concentración de cloruros menor a los 500 ppm. Por otro lado, la presencia de otros iones sulfatos y una alta porosidad inicial en algunos casos

podría permitir el ingreso de cloruros externos incrementando así el riesgo de corrosión (Nasserlshariati et al., 2021). Aun así, si se realiza un adecuado control de calidad los efectos en la durabilidad pueden ser mínimos.

### 2.3. Definición de Términos Básicos

- **Agua combinada:** Es la mezcla o combinación de dos o más fuentes de agua para la producción de concreto (NTP 339.088, 2024).
- **Agua de mezcla:** Es la cantidad de agua que está presente en la masa de concreto recién mezclada sin considerar el agua absorbida por los agregados (ACI CT-18, 2018)
- **Agua potable:** Es el agua que es apta para el consumo humano (NTP 339.088, 2024).
- **Agua residual tratada (ART):** Es el agua que ya ha tenido un uso doméstico, comercial, industrial u algún otro que ha modificado su calidad inicial, por lo cual se la somete a procesos de tratamiento físicos, químicos y biológicos con el objetivo de eliminar elementos contaminantes y que cumpla estándares que permitan su reutilización o su vertimiento seguro a los cuerpos de agua (UNESCO, 2017).
- **Concreto:** Es el material compuesto por cemento hidráulico, agregados y agua, que puede incluir aditivos, fibras y materiales cementantes complementarios (ACI CT-18, 2018).
- **Resistencia a la compresión:** Es la capacidad máxima que tiene el concreto para soportar cargas axiales aplicadas a su superficie antes de fracturarse (ACI 318, 2020).

## CAPÍTULO III

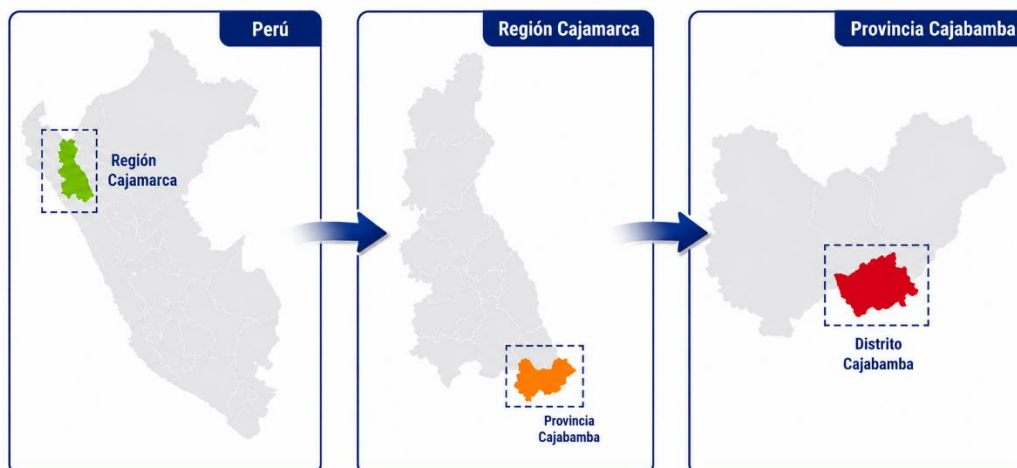
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación Geográfica de la Investigación

La presente investigación fue contextualizada geográficamente en la ciudad de Cajabamba, razón por la cual el agua potable y el agua residual tratada usadas en la elaboración del concreto se obtuvieron de dicha ciudad. Asimismo, los agregados provinieron de las canteras que abastecen al sector de construcción de la ciudad de Cajabamba y que se ubican en el distrito de Cachachi. Tanto el agua como los agregados fueron trasladados desde Cajabamba hasta el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC donde se realizaron los ensayos.

**Figura 1**

*Ubicación de la investigación*



*Nota.* Elaboración propia en ArcGIS

### 3.1.1. Ubicación Geográfica del Laboratorio

Los ensayos de la investigación fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Diaz” de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca. El cual se encuentra ubicado en la Av. Atahualpa N° 1050 del distrito, provincia y departamento de Cajamarca, cuyas coordenadas se indican en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Georeferenciación del LEM - UNC*

Punto	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
LEM - UNC	776626.27	9207006.53	7°10'02.1"S	78°29'43.3"W

*Nota.* Coordenadas registradas durante la ejecución de los ensayos.

### 3.1.2. Ubicación Geográfica de la Cantera

Los agregados utilizados en esta investigación provinieron de la Cantera Palo Amarillo, localizada en la zona de Tabacal del distrito de Cachachi, Provincia de Cajabamba, Departamento de Cajamarca.

**Tabla 4**

*Georeferenciación de la cantera*

Cantera	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
Palo Amarillo	813163.04	9165139.76	7°32'36.9"S	78°09'44.7"W

*Nota.* Coordenadas registradas durante la visita para la obtención de los agregados.

## Figura 2

### Ubicación de la cantera



*Nota.* La imagen fue obtenida de Google Earth

### 3.1.3. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El agua residual tratada que se empleó en esta investigación tuvo su origen en el efluente de la PTAR Lanla localizada en la zona Ojos de Lanla, del distrito de Cajabamba, Provincia de Cajabamba, Departamento de Cajamarca.

#### Tabla 5

##### Georeferenciación de la PTAR

PTAR	Coordenadas UTM		Coordenadas Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
Lanla	824728.17	9155697.71	7°37'41.50"S	78° 3'25.65"W

*Nota.* Coordenadas registradas durante las visitas técnicas.

### Figura 3

#### Ubicación de la PTAR Lanla



*Nota.* La imagen fue obtenida de Google Earth

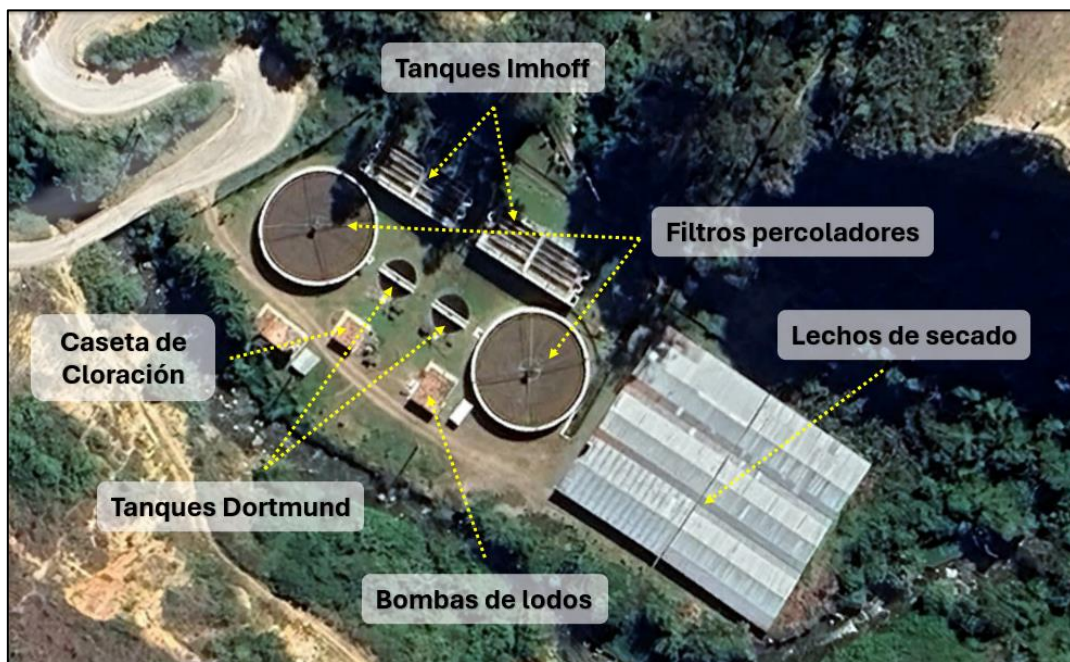
La PTAR Lanla brinda un nivel de tratamiento secundario a las aguas residuales que capta. En principio la planta proporciona un pretratamiento mediante una recámara de reja fina donde se retienen los sólidos de gran tamaño, seguidamente el agua residual recibe un tratamiento primario al ser conducida hacia dos tanques Imhoff cada uno de los cuales tiene en la parte superior una cámara de sedimentación donde los sólidos caen por acción de la gravedad y en la parte inferior una cámara de digestión donde se acumula el lodo que se ha separado del líquido y se digiere en forma anaerobia.

El tratamiento biológico se produce cuando el agua pre clarificada es conducida hacia dos filtros percoladores donde el agua se rocía a través de molinetes hidráulicos sobre una capa microorganismos para que estos se alimenten de la materia orgánica disuelta en el agua y esta percole hacia la parte baja, este es un proceso aerobio que aprovecha la circulación del aire.

Luego el agua se conduce hacia dos tanques Dortmund los cuales son sedimentadores secundarios donde el agua clarificada se queda en la parte superior mientras los flóculos biológicos se asientan en el fondo para ser purgados, después el agua tratada fluye hacia un tanque de cloración en el cual se inyecta cloro al flujo para desinfectarlo. Finalmente, el agua residual tratada es vertida al río Lanla.

**Figura 4**

*Componentes de la PTAR Lanla*



*Nota.* Imagen tomada de Google Earth con anotaciones propias.

En la planta también existen lechos de secado donde se vierten los lodos que se generan en el proceso de tratamiento para que se conviertan en abono seco, el cual es distribuido gratuitamente a los agricultores de la zona.

### 3.2. Periodo de Estudio

El presente estudio se desarrolló entre los meses de julio y octubre de 2025 en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC.

### **3.3. Metodología de la Investigación**

#### ***3.3.1. Enfoque, Tipo, Nivel y Método de Investigación***

##### ***Enfoque***

La investigación tiene un enfoque cualitativo porque se obtuvieron datos numéricos a través de ensayos para evaluar el efecto de sustituir el agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión de un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajabamba.

##### ***Tipo***

Este estudio es de tipo aplicativo, ya que busca evaluar la influencia de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión del concreto, con el fin de abordar el problema del uso ineficiente de agua potable en su elaboración. Asimismo, aporta evidencia que permite promover alternativas más sostenibles en la producción de concreto.

##### ***Nivel***

La investigación es correlacional, ya que su objetivo fue identificar la relación que existe entre el porcentaje de reemplazo de agua potable por agua residual tratada y la resistencia a la compresión del concreto. No solo describe variables, sino que analiza si las variaciones en la resistencia se asocian con variaciones en el porcentaje de agua residual tratada sustituido.

##### ***Método***

En este estudio se empleó el método experimental pues se manipuló deliberadamente el agua de mezcla para analizar cómo afectó la sustitución del agua potable con agua residual tratada a la resistencia a la compresión del concreto y esta

manipulación se realizó mediante situaciones controladas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNC.

### 3.3.2. Población de Estudio

La población de estudio estuvo compuesta por el total de probetas cilíndricas de concreto de resistencia de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  que se elaboraron.

### 3.3.3. Muestra

Para determinar el tamaño de muestra se empleó la siguiente ecuación.

$$n = \left( \frac{Z \times \sigma}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

Z: El valor Z de la distribución normal para el nivel de confianza dado.

$\sigma$ : Desviación estándar.

E: Error máximo admisible ( $\text{kg/cm}^2$ )

Se consideró un nivel de confianza de 95%, por lo tanto, el valor  $Z=1.96$ . Como no se conocía la desviación estándar, tomando en cuenta los valores recomendados por la Guía ACI 209.2R de acuerdo con el grado de control de calidad del concreto, se asumió un valor de  $45.5 \text{ kg/cm}^2$  (valor promedio entre un control de calidad bueno y pobre). Además, se calculó el error máximo admisible (que en la formula usada es un error absoluto) para un error relativo de 5% siendo  $E= 210 \text{ kg/cm}^2 \times 0.05= 10.5 \text{ kg/cm}^2$ .

$$n = \left( \frac{1.96 \times 45.5}{10.5} \right)^2$$

$$n = 72.13 \approx 72 \text{ probetas}$$

El número de probetas de la muestra resultante se agrupó en tandas de acuerdo con el porcentaje de sustitución de agua residual tratada y la edad a la que serían ensayadas tal como se presenta en la Tabla 6. Tanto el número de probetas de la muestra como el criterio de agrupación cumplen con lo establecido en la NTP 339.034, la cual especifica que, como mínimo, se deben ensayar en el laboratorio tres probetas por cada lote de concreto para garantizar que la muestra sea representativa.

**Tabla 6**

Distribución de las muestras a ensayar

<b>Edades</b>	<b>Patrón (100% AP)</b>	<b>Sustitución 25% ART</b>	<b>Sustitución 50% ART</b>	<b>Sustitución 100% ART</b>
7 días	6 und	6 und	6 und	6 und
14 días	6 und	6 und	6 und	6 und
28 días	6 und	6 und	6 und	6 und
<b>Total</b>	<b>18 und</b>	<b>18 und</b>	<b>18 und</b>	<b>18 und</b>

*Nota.* AP: agua potable y ART: agua residual tratada

### **3.3.4. Unidad de Análisis**

La unidad de análisis es la resistencia a la compresión del concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> elaborado con agua residual tratada.

## **3.4. Variables**

### **3.4.1. Variable Independiente**

Es el agua residual tratada de la PTAR de Cajabamba.

### **3.4.2. Variable Dependiente**

Resistencia a la compresión del concreto de  $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup>.

## **3.5. Procedimiento**

### **3.5.1. *Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados***

Las muestras de los agregados se extrajeron de la cantera Palo Amarillo de conformidad con lo establecido en la NTP 400.010 y luego se redujeron según las indicaciones contenidas en la NTP 400.043 empleando el método del cuarteo.

#### **3.5.1.1. Análisis Granulométrico**

El ensayo de análisis granulométrico se realizó siguiendo las disposiciones establecidas en la NTP 400.012, para lo cual se hicieron pasar muestras de agregado fino y grueso seco, con pesos de 1.5 kg y 5 kg respectivamente<sup>5</sup>, a través de la serie de tamices ordenados en función al tamaño de sus aberturas desde las más grandes a las más pequeñas agitando los tamices de forma manual. Luego las partículas retenidas en cada malla se pesaron y con ese peso retenido se calculó el porcentaje que pasa y se elaboró la curva granulométrica de cada uno de los agregados.

#### **3.5.1.2. Tamaño Máximo Nominal**

Se halló de acuerdo con lo indicado en la NTP 400.011, por lo que a partir del análisis granulométrico se determinó el Tamaño Máximo (TM) como el tamiz con la abertura más pequeña que dejó pasar toda la muestra y luego el Tamaño Máximo Nominal (TMN) como el tamiz con la abertura más pequeña que empieza a retener entre el 5% y el 10% de la muestra.

---

<sup>5</sup> Siendo de acuerdo con la NTP 400.012 el peso mínimo de la muestra de 300 g para el agregado fino y de 5 kg para el agregado grueso de TMN = 3/4".

### 3.5.1.3. Material más Fino que pasa la Malla N° 200

El procedimiento se realizó de acuerdo con la NTP 400.018, se lavó la muestra seca para que las partículas finas queden suspendidas y esa agua pasarla a través del tamiz N°200 para retener las partículas más grandes que ese tamiz y una vez secadas en el horno calcular su peso. El material más fino se calculó a partir de la siguiente formula:

$$A = \left( \frac{B - C}{B} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

A: Porcentaje de material más fino que pasa por el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado.

B: Peso seco de la muestra original, en gramos (g).

C: Peso seco de la muestra después de lavada y secada, en gramos (g).

### 3.5.1.4. Peso Específico y Absorción

Se realizó siguiendo la NTP 400.021 en el caso del agregado grueso el procedimiento inició preparando la muestra y secándola en el horno, después se sumergió en agua 24 horas para saturarla, luego se secó la superficie del agregado con un paño y se pesó, posteriormente se puso la muestra en una canastilla, se la sumergió y pesó dentro del agua, por último, se obtuvo el peso de esta muestra secada en el horno. Los pesos específicos y la absorción se calcularon empleando las siguientes fórmulas:

- Peso específico de masa:

$$Pe_m = \frac{A}{B - C} \quad (3)$$

- Peso específico de masa SSS:

$$Pe_{SSS} = \frac{B}{B - C} \quad (4)$$

- Peso específico aparente:

$$Pe_a = \frac{A}{A - C} \quad (5)$$

- Absorción (%):

$$Abs (\%) = \left[ \frac{B - A}{A} \right] \times 100 \quad (6)$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el horno (g).

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (SSS) en el aire (g).

C: Peso sumergida en agua (g).

Por su parte en concordancia con la NTP 400.022 para el agregado fino el procedimiento consistió en saturar la muestra en agua por 24 horas, dispersar la muestra para que se seque en el aire hasta que se llegará a la condición SSS lo que se comprobó usando un cono, cuando el cono se retiró y el agregado se desmoronó, una vez en esa condición se pesó. Luego se colocó 500 g en una fiola y se llenó con agua hasta el menisco, se pesó tanto la fiola con la muestra más el agua como la fiola solo con agua y por último se pesó la muestra secada en el horno.

Los pesos específicos y la absorción se calcularon empleando las siguientes fórmulas:

- Peso específico de masa:

$$Pe_m = \frac{A}{B + S - C} \quad (7)$$

- Peso específico de masa SSS:

$$Pe_{SSS} = \frac{S}{B + S - C} \quad (8)$$

- Peso específico aparente:

$$Pe_a = \frac{A}{B + A - C} \quad (9)$$

- Absorción (%):

$$Abs (\%) = \left[ \frac{S - A}{A} \right] \times 100 \quad (10)$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el horno (g).

B: Peso de la fiola con agua (g).

C: Peso de la fiola con muestra y agua (g).

S: Peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco (g).

### 3.5.1.5. Peso Unitario

Siguiendo la NTP 400.017 el procedimiento consistió en llenar un molde con el agregado seco fino o grueso según fuera el caso y determinar el peso unitario restando el peso del molde vacío del peso molde más el agregado. Para determinar el peso unitario suelto se vertió el agregado desde una altura de hasta 5 cm hasta que el molde se llenó y luego se enrasó. Mientras que para obtener el peso unitario compactado el agregado se colocó dentro del molde en tres capas cada una de las cuales fue compactada con 25 golpes mediante una varilla. Para los cálculos se emplearon las siguientes fórmulas:

- Peso específico del agua ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$P_e = \frac{A - B}{C} \quad (11)$$

- Factor del recipiente ( $m^{-3}$ ):

$$F = \frac{Pe}{V - T} \quad (12)$$

- Densidad de masa (peso unitario) ( $kg/m^3$ ):

$$M = (G - T) \times F \quad (13)$$

Donde:

A: Peso de la fiola con agua (kg)

B: Peso de la fiola vacía (kg)

C: Volumen de la fiola ( $m^3$ )

V: Peso del recipiente lleno de agua (kg).

T: Peso del recipiente vacío (kg).

G: Peso del recipiente más el agregado (kg).

### 3.5.1.6. Contenido de Humedad

El procedimiento siguiendo la NTP 339.185 consistió en secar una muestra de agregado fino o grueso según corresponda en el horno hasta que ya no presente humedad. Luego se pesó la muestra fría para obtener el peso de la muestra seca. La fórmula que se empleó para calcular el contenido de humedad fue la siguiente:

$$p = 100 \times \left( \frac{W - D}{D} \right) \quad (14)$$

Donde:

p: Contenido de humedad total evaporable de la muestra (%).

W: Peso de la muestra húmeda (g).

D: Peso de la muestra seca (g).

### 3.5.1.7. Resistencia a la Abrasión

Tal como lo establece la NTP 400.019, el procedimiento consistió en colocar una muestra de agregado grueso seca, que cumpliera con la gradación especificada en la referida norma para su correspondiente tamaño máximo nominal, con unas esferas de acero como carga abrasiva en la maquina Los Ángeles y se hizo girar el tambor de esta 500 revoluciones. Luego el material que salió de la maquina se pasó por la malla N°12, se lavó y se dejó secar al horno para hallar su peso seco y así encontrar la pérdida de masa. Se usó la siguiente fórmula:

$$Perdida = \left[ \frac{W_i - W_f}{W_i} \right] \times 100 \quad (15)$$

Donde:

Pérdida: Porcentaje de desgaste o degradación (%).

$W_i$ : Peso original de la muestra de ensayo (g).

$W_f$ : Peso final de la muestra ensayada, retenida en el tamiz N° 12, después de lavada y secada al horno (g).

### 3.5.2. Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada

La toma de muestras del agua residual tratada se realizó siguiendo la NTP 339.088, las muestras se colocaron en envases de polietileno y vidrio totalmente limpios sin dejar vacíos que pudieran alterar la composición del agua y se cerraron herméticamente para evitar su contaminación. La muestras fueron trasladadas en un recipiente acondicionado para evitar variaciones térmicas.

Los ensayos para determinar las características físicas y químicas del agua residual tratada no fueron realizados directamente, sino que se llevaron a cabo mediante

la contratación de los servicios especializados de dos laboratorios externos: Hurteco S.R.L y el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca.

#### **3.5.2.1. Determinación de pH**

Este ensayo se realizó mediante potenciometría siguiendo la NTP 339.073, para lo cual se usó un electrodo calibrado con soluciones de pH conocido. El electrodo se introdujo en la muestra y el potencial eléctrico generado entre el electrodo indicador y el de referencia se convirtió en unidades de pH.

#### **3.5.2.2. Sólidos Totales**

El ensayo se llevó a cabo en concordancia con la ASTM C1603, en principio se separaron los sólidos de la muestra usando un método gravimétrico, que consistió en someter la muestra a filtración y después secar el residuo retenido por el filtro de fibra de vidrio hasta masa constante. La concentración de sólidos se calculó como la diferencia de peso entre el filtro final e inicial expresada con relación al volumen de la muestra.

#### **3.5.2.3. Materia Orgánica**

El ensayo se ejecutó de acuerdo con el método colorimétrico señalado en la NTP 339.072, para ello se añadió una solución de hidróxido de sodio a la muestra para extraer las impurezas orgánicas, luego se dejó reposar la muestra por 24 horas durante las cuales se formó un líquido sobrenadante, después se comparó el color de este líquido con un vidrio con una escala de referencia.

#### **3.5.2.4. Cloruros**

El ensayo se realizó en concordancia con la NTP 339.076, por lo que se empleó el método de titulación volumétrica, que consistió en que a una parte de la muestra filtrada

se le agregara cromato de potasio, luego se añadió gota a gota nitrato de plata hasta que la muestra cambió de color a rojo ladrillo y el ion cloruro se precipitó en forma de cloruro de plata, por último, se calculó la concentración de iones cloruro mediante estequiometria.

#### **3.5.2.5. Sulfatos**

El ensayo se llevó a cabo siguiendo la NTP 339.074, por lo que se calentó una parte de la muestra filtrada hasta su punto de ebullición y se le añadió cloruro de bario, luego se dejó que el precipitado se asiente, después el precipitado se filtró, lavo con agua destilada, y calcinó a 800°C. Por último, el residuo se pesó para determinar la cantidad de sulfatos.

#### **3.5.2.6. Álcalis**

El ensayo se ejecutó de acuerdo con lo señalado por la ASTM C114, para lo cual se filtró y acidificó la muestra, luego con un equipo calibrado con soluciones estándar de concentraciones conocidas, se midió la intensidad de emisión de longitudes de onda de cada elemento, los resultados se convirtieron mediante estequiometria a sus óxidos equivalentes permitiendo el cálculo del álcali total.

#### **3.5.2.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

El ensayo se llevó a cabo siguiendo lo indicado en la norma SMEWW 5210 B, por lo que la muestra fue incubada en condiciones oscuras durante 5 días a temperatura controlada, para que los microorganismos presentes en la muestra oxidaran la materia orgánica biodegradable. La DBO se determinó midiendo la cantidad de oxígeno disuelto al inicio y el final del procedimiento.

### **3.5.2.8. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El ensayo se realizó conforme a la norma SMEWW 5220 D, por lo cual la DQO se midió mediante la oxidación de la materia orgánica de la muestra empleando un agente oxidante y un medio ácido. Se estimó la carga orgánica susceptible de oxidación química mediante un procedimiento normalizado en el cual la cantidad de oxígeno consumido se determinó colorimétricamente y se expresó como oxígeno equivalente.

### **3.5.2.9. Aceites y Grasas**

El ensayo se ejecutó siguiendo la norma EPA Method 1664 Rev. B, por lo que se utilizó n-hexano para extraer los compuestos orgánicos no polares de la muestra, después de realizar múltiples lavados con n-hexano, este solvente se filtró y evaporó en un sistema de destilación. El residuo tras un secado final se pesó y cuantificó gravimétricamente.

### **3.5.2.10. Coliformes Termotolerantes**

El ensayo se realizó de acuerdo con la norma SMEWW 9221 E, consistió en fermentar alícuotas de la muestra en múltiples tubos en medios selectivos, luego se produjo la incubación a una temperatura elevada y la liberación de gas se usó como criterio de positividad. Para la medición se empleó el Número Más Probable (NMP) por volumen de muestra siguiendo las tablas estadísticas que el método establece.

### **3.5.3. *Diseño de Mezcla***

El diseño de mezcla se realizó empleando el método del módulo de fineza de la combinación de agregados. Se usaron como parámetros de diseño las propiedades obtenidas en los ensayos de laboratorio para los agregados y el agua, así como las propiedades del Cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo contenidas en su ficha técnica.

## Paso 1: Características de la mezcla de concreto

- Se calculó la resistencia promedio requerida  $f'_{cr}$ , considerando una relación de 1.15 (Tabla 7) entre la resistencia requerida y la de diseño puesto que el concreto iba a ser elaborado en el laboratorio con buenas condiciones de control.

**Tabla 7**

*Relación entre la resistencia requerida y la resistencia de diseño*

Condición de la Ejecución en Obra	Relación Aproximada $f'_{cr}/f_c$
Excelentes	1.15
Intermedias	1.20 a 1.25
Corrientes	1.35 a 1.60

*Nota.* Tomado de Lezama Leiva (2013)

- Se consideró un asentamiento de 3 a 4 pulgadas puesto que se necesitaba una consistencia plástica y una adecuada trabajabilidad.
- Se determinó que el concreto no iba a tener algún tipo de exposición y que no se necesitaba incorporar aire.

## Paso 2: Contenido de agua

- En la Tabla 8 se hallaron los litros de agua necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto considerando el asentamiento requerido y el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.

**Tabla 8**

*Contenido de agua y aire para diferentes asentamientos y TMN*

Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"
1" a 2"	207	199	190	179	166
3" a 4"	228	216	205	193	181
6" a 7"	243	228	216	202	190
<b>Aire atrapado (%)</b>	3	2.5	2	1.5	1

*Nota.* Adaptada de la Guía ACI 211.1 (2022)

- Luego a partir de la Tabla 9 realizando una interpolación se determinó la relación agua-cemento para la resistencia promedio requerida calculada anteriormente.

**Tabla 9**

*Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua-cemento*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Concreto sin aire incorporado</b>	<b>Concreto con aire incorporado</b>
450	0.38	
400	0.43	
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

*Nota.* Adaptada de la Norma ACI 211.1 (2022)

### **Paso 3: Porcentaje de aire atrapado**

- El contenido de aire atrapado también se obtuvo de la Tabla 8 de acuerdo con el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.

### **Paso 4: Cantidad de cemento**

- La cantidad de cemento se calculó dividiendo la cantidad de agua entre la relación agua-cemento y seguidamente el factor cemento dividiendo la cantidad de cemento necesaria entre el peso estándar de una bolsa de cemento (42.5 kg).

### **Paso 5: Calculo de vacíos**

- Se halló el porcentaje de vacíos del agregado grueso para determinar si existe un porcentaje de vacíos por corregir esto debido a que la Tabla 10 se elaboró para un agregado con un contenido de vacíos de 35%, por lo que por cada variación de 5% se debe corregir el módulo de la combinación de agregados en 0.1.

**Tabla 10***Módulo de fineza de la combinación de agregados*

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Factor cemento			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

*Nota.* Tomado de Lezama Leiva (2013)**Paso 6: Cantidad de agregados**

- Mediante una interpolación se calculó el módulo de fineza de la combinación de agregados a partir de la Tabla 10, considerando el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso y el factor cemento.
- Se corrigió el módulo de fineza de la combinación de agregados con el criterio del porcentaje de vacíos anteriormente descrito.
- Se calculó el porcentaje de agregado fino mediante la siguiente formula:

$$AF = \frac{MF_g - MF_c}{MF_g - MF_f} \quad (16)$$

Donde:

MF<sub>f</sub>: Módulo de fineza del agregado fino.MF<sub>g</sub>: Módulo de fineza del agregado grueso.MF<sub>c</sub>: Módulo de la combinación de agregados.

AF: Porcentaje del agregado fino en relación con el volumen total del agregado.

### **Paso 7: Peso de los materiales**

- Se determinó el volumen absoluto de la pasta y el volumen absoluto de los agregados.  
Con el porcentaje de los agregados se hallaron los volúmenes del agregado fino y grueso.
- Se calcularon los pesos de los materiales utilizando los pesos específicos.

### **Paso 8: Peso de los materiales húmedos**

- Se realizó la corrección por humedad de los agregados.
- Se encontró la cantidad de agua aportada por los agregados fino y grueso.
- Se determinó el agua efectiva.
- Se hallaron los pesos húmedos de los materiales.

### **Paso 9: Mezcla de prueba**

Se elaboraron 3 probetas de prueba con agua potable del laboratorio para validar el diseño, las cuales fueron ensayadas a los 3 días. La resistencia a la compresión promedio de las 3 probetas se proyectó a 28 días usando la ecuación (A-17) de la norma ACI 209.2R:

$$f_{cmt} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28} \quad (17)$$

Donde:

$f_{cmt}$ : Resistencia a la compresión promedio a los t días

$f_{cm28}$ : Resistencia a la compresión promedio a los 28 días

t: es la edad del concreto en días.

a y b: son constantes

Como la resistencia predicha para los 28 días superó significativamente la resistencia de diseño, se realizó el ajuste de la relación a/c empleando las ecuaciones formuladas por Powers (1958):

$$R = 2380 X^3 \quad (18)$$

$$X = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + \frac{a}{c}} \quad (19)$$

Donde:

R: Resistencia a la compresión.

X: relación gel/espacio

$\alpha$ : grado de hidratación del concreto

Con la nueva relación a/c se ajustó el diseño repitiendo los pasos del 4 en adelante y las proporciones obtenidas fueron usadas para la mezcla patrón.

#### ***3.5.4. Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada***

A partir del volumen ocupado por el agua en la mezcla y considerando los porcentajes de sustitución planteados en la presente investigación de 25%, 50% y 100% se obtuvieron los volúmenes de reemplazo, después usando los pesos específicos se calcularon las cantidades de agua residual tratada que debían sustituirse.

#### ***3.5.5. Elaboración de las Probetas de Concreto***

Se elaboraron probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm siguiendo lo señalado por la NTP 339.183. El concreto se colocó en tres capas cada una de las cuales se chuceo con 25 golpes con una varilla, luego de compactar cada capa se golpeó el molde suavemente con un martillo de goma para que no quedará aire atrapado, finalmente las probetas se enrazaron.

### **3.5.6. Propiedades del Concreto en Estado Fresco**

#### **3.5.6.1. Peso Unitario del Concreto Fresco**

Se realizó en concordancia a lo establecido por la NTP 339.046, para lo cual en principio se determinó en volumen y el peso del recipiente, luego se llenó dicho recipiente con la mezcla fresca en tres capas cada una de las cuales se compactó con 25 golpes de una varilla, después se golpearon los laterales del recipiente con un mazo de goma para que no quedaran vacíos y se enrazó, finalmente se determinó el peso. Para los cálculos se empleó la siguiente fórmula:

$$PU_f = (W_c - W_m) \times F \quad (20)$$

Donde:

PU<sub>f</sub>: Peso unitario del concreto (kg/m<sup>3</sup>)

W<sub>c</sub>: Peso del recipiente lleno de concreto (kg)

W<sub>m</sub>: Peso del recipiente vacío (kg)

F: Factor del recipiente de medida (1/ m<sup>3</sup>)

#### **3.5.6.2. Ensayo de Asentamiento (slump)**

El ensayo de asentamiento se llevó a cabo de acuerdo con lo establecido por la NTP 339.035. Empleando el Cono de Abrams, se colocaron tres capas de concreto dentro del él, cada capa se golpeó con 25 golpes en espiral con una varilla y una vez lleno se enrazó. Luego se levantó el cono verticalmente y se midió la medida desde la parte superior del molde hasta el centro del concreto asentado, ese valor medido es el asentamiento o slump.

### 3.5.7. *Propiedades del Concreto en Estado Endurecido*

#### 3.5.7.1. **Peso Unitario del Concreto Endurecido**

El peso unitario del concreto endurecido se realizó siguiendo la NTP 339.034. Para ello se pesaron las probetas en una balanza y se registraron dichos pesos, después se midieron las longitudes de las probetas, y el diámetro se determinó mediante el promedio de los dos diámetros medidos en ángulos rectos a media altura de las probetas. Por último, el peso se halló usando la siguiente fórmula:

$$PU_d = \frac{W}{V} \quad (21)$$

Donde:

PU<sub>d</sub>: Peso unitario del concreto endurecido (kg/m<sup>3</sup>)

W: Peso de la probeta (kg)

V: Volumen de la probeta a partir de las dimensiones promedio (m<sup>3</sup>),  $V = \frac{\pi \times d^2 \times L}{4}$ .

#### 3.5.7.2. **Resistencia a la Compresión**

Para la determinación de la resistencia a la compresión se usaron especímenes cilíndricos de 150 mm x 300 mm, los cuales se ensayaron a las edades de 7, 14 y 28 días siguiendo la norma NTP 339.034. Para comenzar se midió el diámetro promedio y la longitud de cada probeta. Seguidamente se colocaron la probetas en almohadillas de neopreno para que estuvieran centradas y perpendiculares a la carga. Luego se aplicó una carga axial continua en una máquina universal de la marca Alfred J. Amsler a una velocidad de 2.4 kg/cm<sup>2</sup>/s hasta que los especímenes fallaron. La resistencia a la compresión (f<sub>c</sub>) fue calculada dividiendo la carga máxima alcanzada entre el área

transversal de los especímenes cilíndricos, además se identificó el tipo de falla ocurrida en cada probeta.

El análisis de la resistencia a la compresión a diferentes edades permitió caracterizar el desarrollo mecánico del concreto y establecer la tendencia de ganancia resistente durante el periodo de curado. La evaluación de la carga máxima, el área efectiva de contacto y el modo de falla de cada espécimen contribuyó a validar la confiabilidad de los resultados experimentales, asegurando que las condiciones de ensayo fueran consistentes con los lineamientos normativos aplicables. De esta manera, los valores de  $f'_c$  obtenidos constituyeron un indicador representativo del desempeño mecánico del concreto y permitieron sustentar técnicamente la comparación entre las mezclas evaluadas.

### 3.6. Presentación de Resultados

#### 3.6.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

**Tabla 11**

*Propiedades de los agregados fino y grueso*

Propiedades	Unidad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Tamaño máximo nominal		--	3/4"
Peso específico de masa	g/m <sup>3</sup>	2.589	2.576
Peso específico sss	g/m <sup>3</sup>	2.642	2.603
Peso específico aparente	g/m <sup>3</sup>	2.734	2.649
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1560.934	1372.731
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1759.188	1529.018
Contenido de Humedad	%	0.256	0.681
Absorción	%	2.041	1.067
Módulo de fineza		2.66	7.43
Abrasión	%	---	31.96
Partículas que pasa la malla N° 200	%	2.667	0.200

*Nota.* Valores obtenidos mediante ensayos de laboratorio.

#### 3.6.2. Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada

**Tabla 12**

*Propiedades del agua residual tratada de la PTAR Lanla*

Parámetro	Unidad	Concentración	Método	Límite Tolerable	Referencia
pH	--	7.80	NTP 339.073	6.0 - 8.0	McCoy (1978)
Cloruros (Cl <sup>-1</sup> )	ppm	69.20	NTP 339.076	1000.00	NTP 339.088
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	ppm	81.70	NTP 339.074	3000.00	NTP 339.088
Álcalis (Na <sub>2</sub> O+0.65K <sub>2</sub> O)	ppm	600.00	ASTM C 114-23	600.00	NTP 339.088
Sólidos totales	ppm	820.00	ASTM C1602	50000.00	NTP 339.088
Materia Orgánica	ppm	310.00	NTP 339.072	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	56.50	EPA Method 1664 Rev. B.	--	--
Coliformes Termotolerantes	MP/100mL	<1.8*	SMEWW 9221 E	--	--
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	176.00	SMEWW 5210 B	--	--
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	366.03	SMEWW 5220 D	--	--

*Nota.* \*Significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra.

### 3.6.3. Diseño de Mezclas

**Tabla 13**

*Peso de los materiales por m<sup>3</sup>*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Patrón</b>	<b>25% ART</b>	<b>50% ART</b>	<b>100% ART</b>
Cemento	kg	288.732	288.732	288.732	288.732
Agua potable	lts	205.000	153.750	102.500	---
Agua residual tratada	lts	---	51.250	102.500	205.000
Agregado grueso	kg	827.941	827.941	827.941	827.941
Agregado fino	kg	931.238	931.238	931.238	931.238

*Nota.* Obtenidos del diseño mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

**Tabla 14**

*Peso de los materiales por m<sup>3</sup> corregidos por humedad*

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Patrón</b>	<b>25% ART</b>	<b>50% ART</b>	<b>100% ART</b>
Cemento	kg	288.732	288.732	288.732	288.732
Agua potable	lts	224.818	168.614	112.409	---
Agua residual tratada	lts	---	56.205	112.409	224.818
Agregado grueso	kg	833.582	833.582	833.582	833.582
Agregado fino	kg	933.620	933.620	933.620	933.620

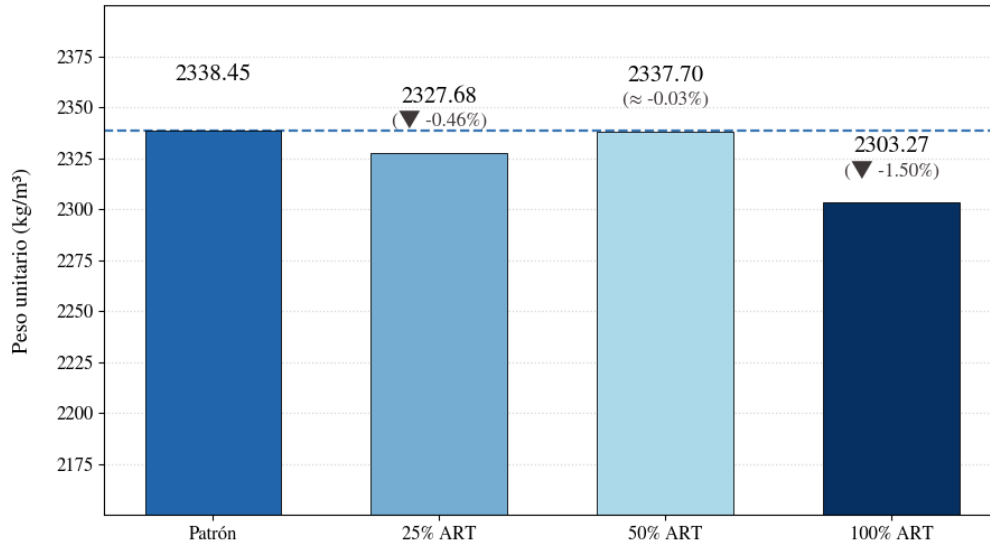
*Nota.* Obtenidos del diseño mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados.

### 3.6.4. Propiedades del Concreto en Estado Fresco

#### 3.6.4.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco

**Figura 5**

*Peso unitario en estado fresco según porcentaje de sustitución de ART*

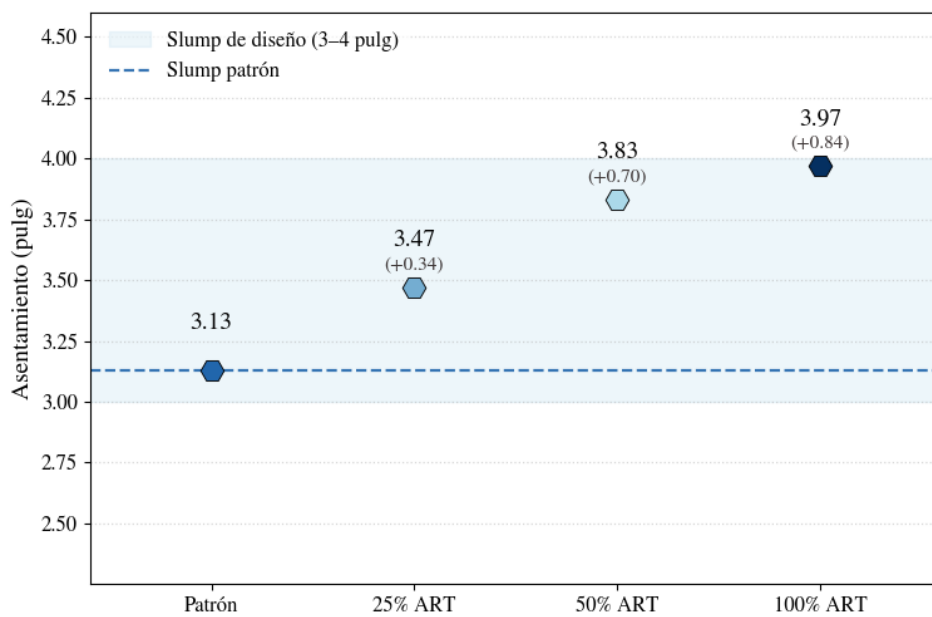


*Nota.* ART: agua residual tratada

#### 3.6.4.2. Asentamiento

**Figura 6**

*Asentamiento (slump) según el porcentaje de sustitución de ART*



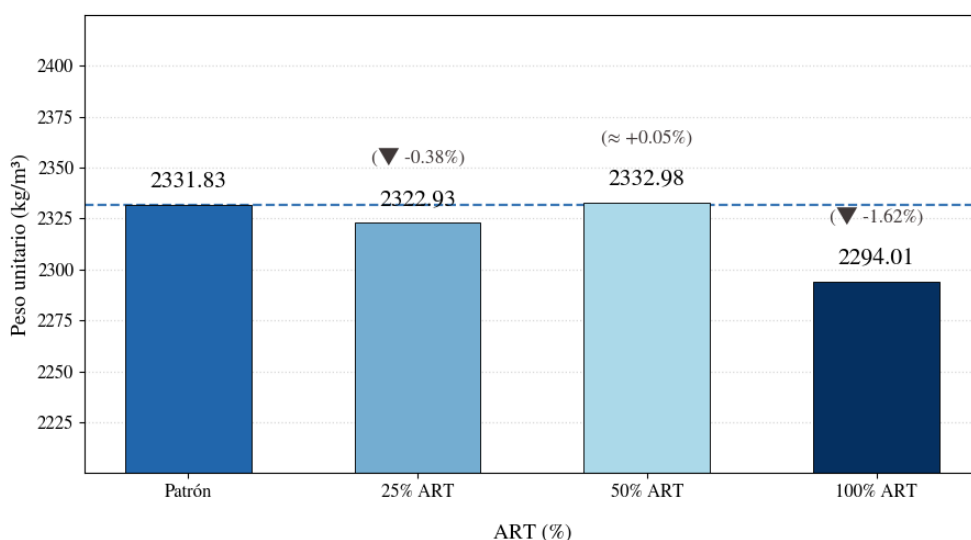
*Nota.* ART: agua residual tratada

### 3.6.5. Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

#### 3.6.5.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Endurecido

**Figura 7**

*Peso unitario en estado endurecido según porcentaje de sustitución de ART*



*Nota.* ART: agua residual tratada

#### 3.6.5.2. Resistencia a la Compresión

**Tabla 15**

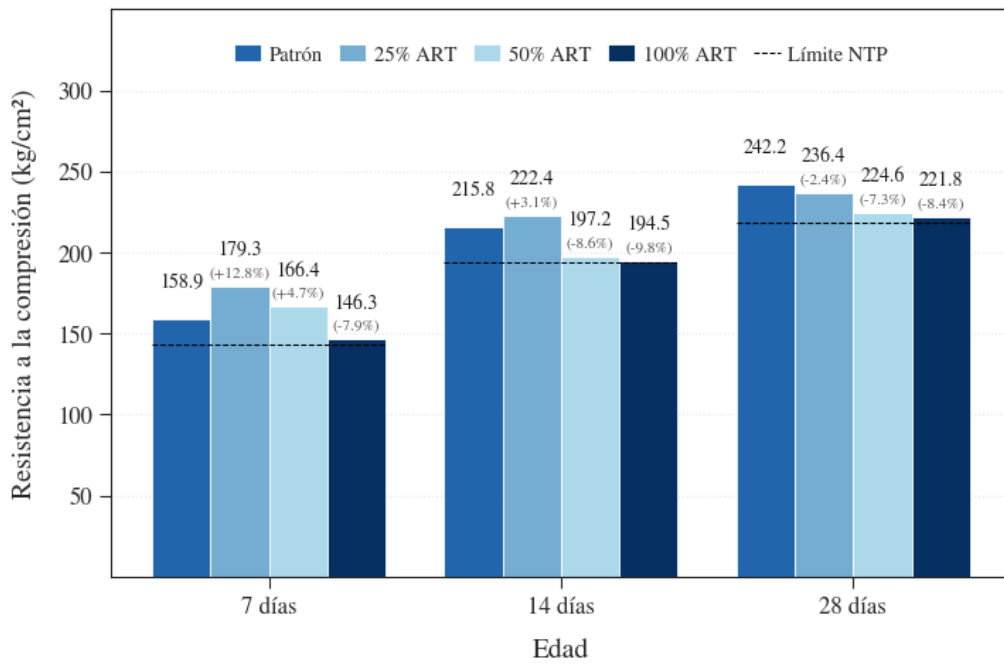
*Resistencia a la compresión promedio obtenida en los ensayos*

Diseño	7 días		14 días		28 días	
	f'c (kg/cm2)	% obtenido	f'c (kg/cm2)	% obtenido	f'c (kg/cm2)	% obtenido
Patrón	158.935	75.684%	215.754	102.740%	242.196	115.332%
25 % ART	179.321	85.391%	222.435	105.922%	236.437	112.589%
50% ART	166.398	79.237%	197.215	93.912%	224.598	106.952%
100% ART	146.313	69.673%	194.503	92.620%	221.795	105.617%

*Nota.* ART: agua residual tratada

**Figura 8**

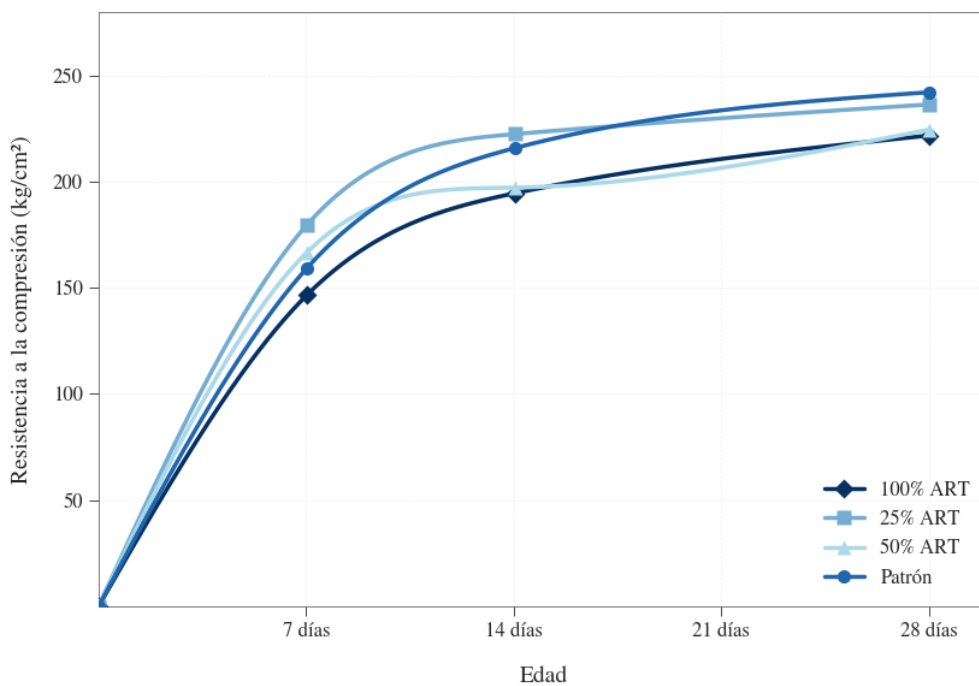
*Resistencia a la compresión según el porcentaje de sustitución de ART*



*Nota.* ART: agua residual tratada

**Figura 9**

*Evolución de la resistencia a la compresión según la edad de las probetas*



*Nota.* ART: agua residual tratada

### 3.6.6. Influencia de la Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada

**Tabla 16**

*Resultados del modelo ANOVA factorial*

Variable	sc	gl	F	p-valor
% ART	6544.188	3	365.010	0.000
Edad	58087.734	2	4859.868	0.000
% ART x Edad	1969.374	6	54.922	0.000
Error	358.576	60		

*Nota.* Resultados obtenidos mediante la estimación en Python.

**Tabla 17**

*Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 7 días*

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de medias	p-valor ajustado	IC 95% inf	IC 95% sup	Significancia
0% ART	25% ART	20.386	0.0000	16.251	24.522	*
0% ART	50% ART	7.463	0.0003	3.327	11.598	*
0% ART	100% ART	-12.623	0.0000	-16.758	-8.487	*
25% ART	50% ART	-12.923	0.0000	-17.059	-8.788	*
25% ART	100% ART	-33.009	0.0000	-37.144	-28.873	*
50% ART	100% ART	-20.085	0.0000	-24.221	-15.950	*

*Nota.* \* Diferencias significativas según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 18**

*Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 14 días*

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de medias	p-valor ajustado	IC 95% inf	IC 95% sup	Significancia
0% ART	25% ART	6.681	0.0015	2.419	10.943	*
0% ART	50% ART	-18.540	0.0000	-22.802	-14.278	*
0% ART	100% ART	-21.252	0.0000	-25.514	-16.990	*
25% ART	50% ART	-25.220	0.0000	-29.482	-20.959	*
25% ART	100% ART	-27.933	0.0000	-32.194	-23.671	*
50% ART	100% ART	-2.712	0.3110	-6.974	1.550	

*Nota.* \* Diferencias significativas según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 19**

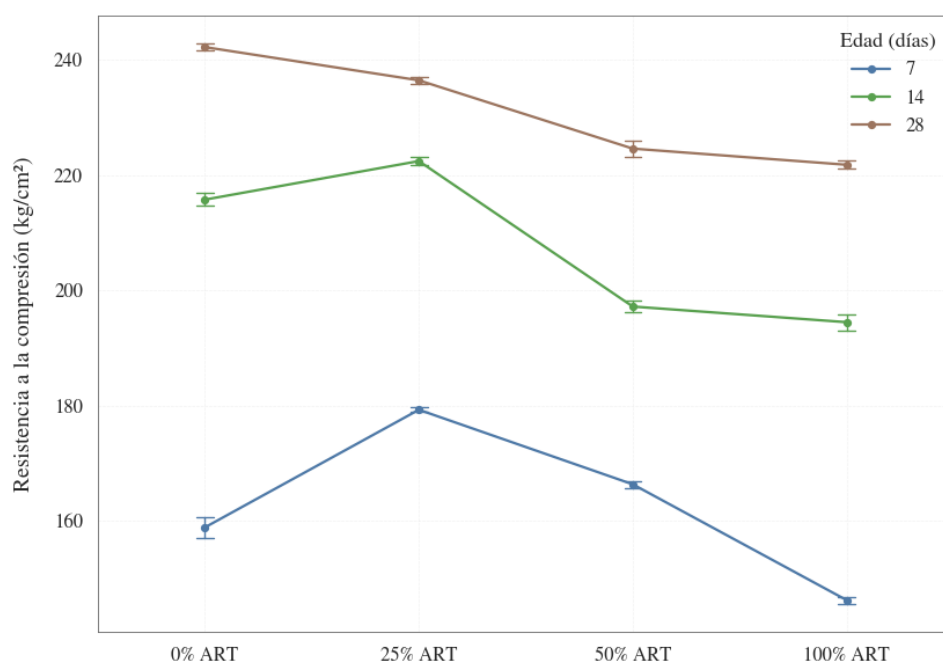
*Comparación de medias con la prueba de Tukey HSD a los 28 días*

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de medias	p-valor ajustado	IC 95% inf	IC 95% sup	Significancia
0% ART	25% ART	-5.760	0.0007	-9.159	-2.361	*
0% ART	50% ART	-17.598	0.0000	-20.997	-14.199	*
0% ART	100% ART	-20.401	0.0000	-23.800	-17.002	*
25% ART	50% ART	-11.839	0.0000	-15.238	-8.440	*
25% ART	100% ART	-14.641	0.0000	-18.040	-11.242	*
50% ART	100% ART	-2.803	0.1297	-6.202	0.596	

Nota. \* Diferencias significativas según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

**Figura 10**

*Interacción entre el porcentaje de ART sustituido y la edad de curado*



Nota. ART: agua residual tratada

**Tabla 20**

*Resumen del modelo OLS*

Indicador	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Estadístico F	p-valor (F)	Obs.	Shapiro–Wilk (p)	Levene (p)
Valor	0.995	0.994	1013.118	0.000	72	0.319	0.057

Nota. Resultados obtenidos mediante la estimación en Python.

**Tabla 21**

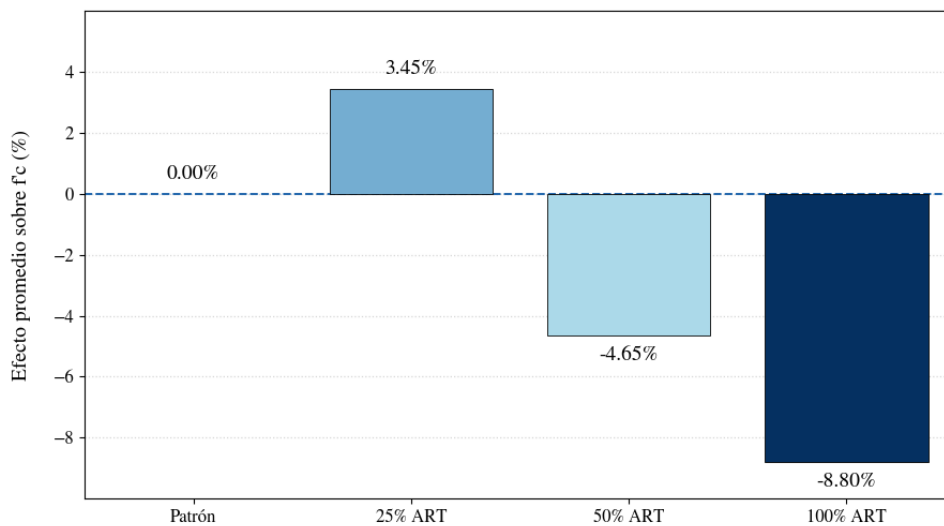
*Coefficientes estimados mediante OLS*

Parámetro	Coefficiente	Error estándar	Estadístico t	p - valor	Significancia	IC 2.5%	IC 97.5%
$\beta_0$	158.935	0.998	159.251	0.0000	***	156.939	160.932
$\alpha_{25}$	20.386	1.411	14.444	0.0000	***	17.563	23.209
$\alpha_{50}$	7.463	1.411	5.288	0.0000	***	4.640	10.286
$\alpha_{100}$	-12.623	1.411	-8.943	0.0000	***	-15.446	-9.799
$\tau_{14}$	56.819	1.411	40.257	0.0000	***	53.996	59.642
$\tau_{28}$	83.261	1.411	58.991	0.0000	***	80.438	86.084
$(\alpha\tau)_{25,14}$	-13.705	1.996	-6.866	0.0000	***	-17.698	-9.713
$(\alpha\tau)_{50,14}$	-26.002	1.996	-13.027	0.0000	***	-29.995	-22.010
$(\alpha\tau)_{100,14}$	-8.629	1.996	-4.323	0.0001	***	-12.622	-4.636
$(\alpha\tau)_{25,28}$	-26.146	1.996	-13.099	0.0000	***	-30.139	-22.153
$(\alpha\tau)_{50,28}$	-25.061	1.996	-12.555	0.0000	***	-29.054	-21.068
$(\alpha\tau)_{100,28}$	-7.778	1.996	-3.897	0.0002	***	-11.771	-3.786

Nota. \*\*\* p < 0.01, \*\* p < 0.05 y \* p < 0.10

**Figura 11**

*Efecto promedio de la sustitución de ART en la resistencia a la compresión*



Nota. En el gráfico se marginalizó el efecto de la edad de curado.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Agregados

En la Tabla 11 se muestran los resultados de las principales características físicas y mecánicas de los agregados utilizados en este estudio, los cuales cumplen con las especificaciones normalizadas para su uso en la elaboración de concreto contenidas en la NTP 339.037.

Se puede verificar que el agregado fino cumple con la gradación recomendada por la NTP 339.037<sup>6</sup> y no presenta alguna deficiencia en alguno de los tamices, asegurando por lo tanto una buena trabajabilidad y una exudación adecuada del concreto elaborado a partir de él. Por su parte la granulometría del agregado grueso evidencia que presenta un tamaño bastante uniforme, con una amplia presencia de piedra grande y una reducida de piedra pequeña; no obstante, la gradación de dicho agregado cumple con los requisitos especificados en la norma para el Huso 56<sup>7</sup>.

El porcentaje de partículas del agregado fino que pasan la malla N° 200 fue de 2.67%, el cual se encuentra debajo el límite máximo de 5% establecido en la NTP 339.037 para concretos no sujetos a abrasión<sup>8</sup> como el caso del concreto elaborado en la presente

---

<sup>6</sup> Según la TABLA 1 (Granulometría del agregado fino) del párrafo 6.1 del numeral 6 de la NTP 400.037.

<sup>7</sup> Según la TABLA 4 (Requisitos granulométricos del agregado grueso) del párrafo 10.1 del numeral 10 de la NTP 400.037.

<sup>8</sup> Según la TABLA 2 (Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino) del párrafo 7.1 del numeral 7 de la NTP 400.037.

investigación para el cual se ha considerado que no estará expuesto a tráfico, arrastre de objetos u alguna condición especial que pudiera producir desgaste por fricción. De igual modo, el porcentaje de partículas del agregado grueso que pasan la malla N° 200 presentó un valor de 0.2% cumpliendo con el límite máximo permitido de 1% según la misma norma<sup>9</sup>.

Para el módulo de fineza del agregado fino se obtuvo un valor de 2.66 el cual se encuentra dentro del rango de 2.3 y 3.1 que señala la NTP 339.037 en el párrafo 6.2 de su numeral 6. Mientras que el porcentaje de pérdida obtenido mediante el ensayo de abrasión en la maquina los Ángeles fue de 32% el cual cumple con ser menor que el límite máximo de 50% establecido en la referida norma para la resistencia mecánica del agregado grueso<sup>10</sup>. Aunque el cumplimiento de este límite solo es necesario en el caso de concreto utilizado en la elaboración de pavimentos o estructuras donde se requiera una resistencia igual o mayor a 280 kg/cm<sup>2</sup>, el cual como se indicó anteriormente no es el caso de la presente investigación.

Las especificaciones contenidas en la NTP 339.037 para los agregados fino y grueso no establecen rangos de valores recomendados o aceptables para el peso específico (de masa, superficialmente seco y aparente), peso unitario (suelto y compactado), contenido de humedad o absorción; más bien, los resultados de estos ensayos permitieron conocer las características específicas del material y obtener los parámetros necesarios para realizar el diseño de mezcla.

---

<sup>9</sup> Según la TABLA 5 (Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso) del párrafo 11.1 del numeral 11 de la NTP 400.037.

<sup>10</sup> Según la TABLA 7 (Resistencias mecánicas de los agregados gruesos) del párrafo 13.1 del numeral 13 de la NTP 400.037

## **4.2. Características Físicas y Químicas del Agua Residual Tratada**

De los parámetros físicos y químicos que caracterizan al agua residual tratada de la PTAR Lanla, mostrados en la Tabla 12, se puede afirmar que esta cumple con los límites químicos opcionales recomendados por la NTP 339.088 para el agua de mezcla combinada y no contiene cantidades excesivas de cloruros, sulfatos, álcalis o sólidos que pudieran generar corrosión y afectar la durabilidad del concreto elaborado a partir de ella y por lo tanto puede usarse como agua de mezcla en la elaboración de concreto. Sin embargo, es importante señalar que la presencia de cloruros y sulfatos en una cantidad superior que en el agua potable puede influir en hidratación del cemento, lo que no invalida su uso como agua de mezcla, sino que es un factor que se debe tener en cuenta.

En la Tabla 12 también se presentaron parámetros biológicos para los cuales no existen límites recomendados por las normas sobre concreto. No obstante, se han reportado en la presente investigación para dejar constancia que el agua residual tratada de la PTAR Lanla es segura y su uso no representa ningún riesgo. Se enfatiza este punto porque por lo general existen prejuicios frente al uso de agua residual tratada, lo que constituye una barrera a superar para realizar un mejor aprovechamiento de los efluentes reinsertándolos a medida de lo posible dentro de los procesos de producción, en especial en los de construcción, lo que permitiría evitar el uso ineficiente del agua potable para fines que no sean consumo humano.

## **4.3. Diseño de Mezcla de Concreto**

El método del módulo de fineza de la combinación de agregados permitió combinar los agregados de tal modo de que uno compensara las limitaciones del otro y se pudiera obtener una gradación continua que redujera los vacíos y con ello redujera la demanda de cemento y de agua, de este modo no solo se obtuvo una mezcla más trabajable

evitando segregaciones excesivas y contracciones por secado sino también más económica.

En la Tabla 13 se presenta la cantidad de materiales obtenidos del diseño de mezcla para 1 m<sup>3</sup> de concreto con una relación agua/cemento constante de 0.71, manteniendo invariables las cantidades de cemento y agregados. Se observa que el peso total del agua de mezcla se mantiene y solo se hace la sustitución progresiva en porcentajes de 25%, 50% y 100% del agua potable por agua residual tratada. Esto permitió evaluar de manera aislada el efecto potencial de la sustitución del agua potable por agua residual tratada sobre la resistencia a la compresión del concreto, evitando interferencias derivadas de modificaciones en la proporción de materiales o en la relación a/c.

En la Tabla 14 se muestran los pesos húmedos de los materiales luego de realizar la corrección por contenido de humedad. Se aprecia que los pesos de los agregados se incrementan debido al agua contenida en ellos y que el contenido total de agua de mezcla resulta mayor. Esto se debe a que los agregados presentan valores de absorción superiores a su contenido de humedad, por lo que fue necesario aumentar la cantidad de agua efectiva para garantizar que la dosificación final corresponda a la proporción de diseño establecida.

#### **4.4. Propiedades del Concreto en Estado Fresco**

##### ***4.4.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco***

La Figura 5 muestra los resultados del ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco para las mezclas patrón y con sustitución parcial y total de agua potable por agua residual tratada. Se observa que los valores del peso unitario medidos para las mezclas con sustitución de 25% y 50% se encontraron próximos al de la mezcla patrón,

únicamente el peso unitario de la mezcla con sustitución del 100% presentó un valor inferior al del resto de mezclas evaluadas.

En los resultados presentados en la Figura 5 se revela que el peso unitario se reduce ligeramente a medida que el agua potable se sustituye por agua residual tratada, las variaciones que se producen son muy pequeñas entre 0.03% y 1.50% , la más grande se da cuando se sustituye totalmente el agua potable por agua residual tratada.

Esta situación puede ser causada por la presencia de sustancias orgánicas en el agua residual tratada que podrían ocasionar una diferencia en la tensión superficial y estabilizar algunas burbujas de aire, haciendo que exista un mayor contenido de aire atrapado. Sin embargo, una reducción de apenas el 1.5% en el peso unitario no es significativa ni puede producir una fuerte alteración en las propiedades del concreto en estado fresco.

#### **4.4.2. Asentamiento**

Según los resultados presentados en la Figura 6 se evidenció que a medida que se iba incrementando el porcentaje de agua potable sustituida por agua residual tratada como agua de mezcla, el asentamiento de las muestras también se incrementó; el máximo aumento del asentamiento que se produjo fue de 0.84 pulgadas cuando el porcentaje de sustitución de agua residual tratada fue de 100%. Este resultado es concordante con lo reportado en otras investigaciones empíricas como la de Micheal y Salam (2024), Hegazy & Farouk (2020) y Asadollahfardi et al. (2016) quienes también encontraron que el uso de agua residual tratada como agua de mezcla incrementa el asentamiento del concreto elaborado a partir de ella.

La obtención de un mayor asentamiento se debe a que tal como se observa en los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual tratada, en ella existen sólidos suspendidos finos que, aunque se encuentran muy por debajo del límite máximo establecido en la NTP 339.088, actúan como una especie de lubricante causando que las mezclas donde se usó agua residual tratada tengan una consistencia más plástica que la mezcla patrón. Con todo, el asentamiento obtenido para todos los porcentajes de sustitución se mantuvo dentro del rango requerido, es decir, entre 3 y 4 pulgadas.

#### **4.5. Propiedades del Concreto en Estado Fresco**

##### ***4.5.1. Peso Unitario del Concreto en Estado Endurecido***

La Figura 7 expone los resultados del ensayo de peso unitario del concreto endurecido para las probetas patrón y aquellas con sustitución parcial y total de agua potable por agua residual tratada. Los valores del peso unitario medidos para las mezclas con sustitución de 25% y 50% se encontraron próximos al de la mezcla patrón, solo el peso unitario de la mezcla con sustitución del 100% presentó un valor inferior al del resto de probetas evaluadas.

Los pesos unitarios en estado endurecido son menores a los pesos unitarios en estado fresco esto se debe a que en este último estado ya se ha perdido agua tanto por evaporación como por la exudación durante el fraguado y el curado. El peso que se obtuvo para el concreto patrón fue de  $2331.83 \text{ kg/m}^3$ , este valor es muy cercano a los  $2300 \text{ kg/m}^3$  indicados por la Norma E.060 para el diseño de concretos sin refuerzo para fines estructurales.

Se observaron efectos mixtos para el peso unitario en estado endurecido puesto que se produjo un ligero incremento cuando se sustituyó el 50% de agua residual tratada,

pero reducciones cuando se sustituyeron porcentajes de 25% y 100%. Aunque estas variaciones no son significativas pues están en el orden de 0.05% y 1.62%, pueden ser causadas por los cambios producidos en la microestructura del concreto debido a que como se señaló previamente el agua residual tratada modifica el proceso de hidratación.

De cualquier forma, los pesos unitarios para todos los porcentajes de sustitución se encontraron dentro del rango de 2200 kg/m<sup>3</sup> a 2400 kg/m<sup>3</sup> que son los valores de peso unitario esperados para un concreto de peso normal.

#### ***4.5.2. Resistencia a la Compresión del Concreto***

En la Tabla 15 se presentan los resultados de la resistencia a la compresión promedio (f'c) de acuerdo con el porcentaje de sustitución de agua residual tratada de los especímenes ensayados a las edades de 7, 14 y 28 días.

En primer lugar, los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas elaboradas con distintos porcentajes de agua residual tratada a todas las edades tienen una desviación estándar menor a 5 y un coeficiente de variación menor a 3%. Esto de acuerdo con la guía estadística para la evaluación de la resistencia del concreto ACI 214R indica que hubo condiciones de control muy buenas y poca variabilidad en los procedimientos de elaboración, curado y prueba de las probetas. Las variaciones existentes dentro de algunos lotes podrían deberse al desgaste de algunos moldes del laboratorio, a algún movimiento brusco de los especímenes dentro de la poza de curado que es utilizada por varios tesisistas y estudiantes o incluso a variaciones en la velocidad de carga aplicada por el técnico del laboratorio.

En segundo lugar, se puede apreciar que a la edad de 28 días tanto las probetas patrón como las elaboradas empleando agua residual tratada cumplieron con las dos

condiciones establecidas por la norma ACI 318 (2020) para que un concreto sea aceptable: i) la resistencia promedio de cada grupo fue mayor a la resistencia de diseño ( $210 \text{ kg/cm}^2$ ) y ii) la resistencia individual de todos los especímenes no fue menor en más de  $35 \text{ kg/cm}^2$  a la resistencia de diseño, de hecho, en todos los casos se superó la resistencia de diseño.

En tercer lugar, como se aprecia en la Figura 8 la resistencia promedio a la compresión de las probetas elaboradas empleando 25%, 50% y 100% de agua residual tratada para las edades de 7, 14 y 28 días no es inferior en ningún caso al 90% de la resistencia promedio a la compresión de las probetas patrón elaboradas con AP a sus las mismas edades. De tal manera que se cumple con lo establecido en la NTP 339.088 de que el porcentaje mínimo de resistencia a la compresión respecto a la mezcla patrón a los 7 días sea como mínimo de 90%.

En la Tabla 15 y en Figura 8 se observa que de las muestras elaboradas usando agua residual tratada como agua de mezcla, la que emplea un 25% es la que presenta mejores resultados de resistencia a la compresión, ya que cuando se sustituye el agua potable por porcentajes de 50% y 100% de agua residual tratada como agua de mezcla se obtienen resistencias más bajas. Este resultado es consistente con lo reportado en otras investigaciones como la de Micheal y Salam (2024) y Tay y Yip (1987).

Además, en la Figura 9 se evidencia que la resistencia a la compresión promedio de las probetas elaboradas con el 25% de agua residual tratada a las edades de 7 y 14 días es 12.8% y 3.1% respetivamente más alta que la resistencia promedio de las probetas patrón. No obstante, a medida que aumenta la edad esa resistencia se va reduciendo, siendo la resistencia a la compresión promedio obtenida a los 28 días 2.4% menor que la

de las probetas patrón. Esta tendencia es concordante con lo señalado en otras investigaciones como la de Micheal y Salam (2024) y la de Ooi et al. (2001).

Estos resultados se deben a que, tal como se ve en los resultados de los análisis físicoquímicos que se realizaron, el agua residual tratada tiene una mayor concentración de sodio y cloruro de calcio que el agua potable y de acuerdo con Mindess y Young (1981) el cloruro de sodio y el cloruro de calcio pueden incrementar la resistencia a edades tempranas, pero reducir la resistencia final. La causa como señala Neville (2013) es que el cloruro de calcio durante las horas siguientes a la elaboración de la mezcla incrementa la velocidad a la que se libera calor y acelera la hidratación del  $C_3S$  y  $C_2S$ .

Ahora bien, aunque se observa que mientras mayor sea el porcentaje de sustitución de agua residual tratada se obtiene una menor resistencia a la compresión final, se ha comprobado que esta reducción es inferior al 10% para todos los porcentajes empleados, por lo que el concreto elaborado cumplió no solo con la resistencia de diseño sino también con los límites establecidos en la NTP 339.088.

En suma, la influencia del porcentaje de sustitución de agua residual tratada varía según la edad de curado, el efecto positivo del agua residual tratada a tempranas edades se atenúa con el tiempo, es decir, actúa como un agente acelerador de resistencias tempranas, pero no contribuye a la resistencia de largo plazo, aunque tampoco causa reducciones superiores al 10%. A pesar de que se evidenció que se puede emplear íntegramente agua residual tratada como agua de mezcla obteniendo resultados satisfactorios que cumplen con la normativa vigente, el porcentaje de sustitución óptimo de agua residual tratada es 25% pues permite un equilibrio entre ganancia temprana y pérdida tardía de resistencia.

#### ***4.5.3. Influencia de la Sustitución del Agua Potable por Agua Residual Tratada***

Con la finalidad de determinar si la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla produce diferencias significativas en la resistencia a la compresión de las muestras, se empleó un modelo ANOVA factorial de dos vías. Previamente a la realización del ANOVA se verificó que se cumplieran los supuestos necesarios para su aplicación, por ello, se usó la prueba Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los residuos ( $p=0.319$ ) y la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de las varianzas ( $p=0.057$ ). Luego de comprobarse que los residuos eran normales y las varianzas homogéneas se realizó el ANOVA obteniéndose los resultados de la Tabla 16.

Dado que el análisis ANOVA indicó que existía una diferencia significativa en la media de la resistencia a la compresión se procedió a realizar análisis de efectos simples mediante el método Turkey HSD para determinar cuáles eran los grupos que presentaban dicha diferencia significativa<sup>11</sup>, los resultados se presentan en las Tablas 17, 18 y 19.

Los resultados de la prueba Turkey HSD mostraron diferencias significativas entre las medias de la resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días para casi todos los porcentajes de agua residual tratada utilizados, únicamente no se encontró una diferencia significativa entre las medias de los porcentajes 50% y 100% de agua residual tratada a las edades de 14 y 28 días.

En la Figura 10 se observa que las líneas para las edades de 7, 14 y 28 días no son paralelas, esto indica que la influencia de la sustitución de agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla depende de la edad del concreto. A edades tempranas y

---

<sup>11</sup> Se usó un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  y una tasa de error por familia de FWER =0.05.

medias se nota una mayor diferencia para los diferentes porcentajes de sustitución, sin embargo, esta diferencia se reduce en edades posteriores.

Por último, para medir la influencia del uso de agua residual tratada en la resistencia a la compresión ( $f'c$ ), se realizó una regresión lineal mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) empleando el modelo lineal con dos factores y termino de interacción que se muestra en la ecuación (22). El cual permitió evaluar integralmente el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agua residual tratada en función del tiempo de curado.

$$f'c_{i,j} = \beta_0 + \alpha_i + \tau_j + (\alpha\tau)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (22)$$

Donde:

- $f'c_{ij}$  = Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ) correspondiente al  $i$ -ésimo porcentaje de sustitución de agua residual tratada y a la  $j$ -ésima edad de curado.
- $\beta_0$  = Resistencia a compresión esperada para una probeta patrón elaborada íntegramente con agua potable a los 7 días de edad.
- $\alpha_i$  = Efecto principal del  $i$ -ésimo porcentaje de sustitución de agua residual tratada sobre la resistencia a la compresión. Representa el cambio esperado de la resistencia a la compresión cuando se varía el porcentaje de sustitución de agua residual tratada, manteniendo constante la edad de curado.
- $\tau_i$  = Efecto principal de la  $j$ -ésima edad de curado sobre la resistencia a la compresión. Representa el incremento esperado de la resistencia a la compresión cuando el tiempo de curado aumenta, manteniendo constante el porcentaje de sustitución de agua residual tratada.

- $(\alpha\tau)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo porcentaje de sustitución y la  $j$ -ésima edad de curado  $j$ . Mide el impacto del porcentaje de sustitución de agua residual tratada sobre la resistencia a la compresión según la edad de curado.
- $\varepsilon_{ij}$  = Término de error aleatorio. Captura la variabilidad no explicada por los factores incluidos en el modelo.
- Factores experimentales:
  - $i \in \{25,50,100\}$ ; son los niveles correspondientes al factor  $\alpha$  que es el porcentaje de sustitución de agua residual tratada.
  - $j \in \{14,28\}$ ; son los niveles correspondientes al factor  $\tau$  que son los días de curado.

La Tabla 20 presenta los parámetros globales del modelo estimado. Se observa que el modelo explica el 99.5% de la variabilidad de  $f'c$  mostrando un excelente ajuste ( $R^2=0.995$ ) y que es altamente significativo ( $F=1013.12$ ,  $p<0.001$ ). Por lo que se puede afirmar que el modelo planteado es válido inferencialmente y permite explicar adecuadamente la variación de la resistencia a la compresión.

La Tabla 21 presenta el valor de los coeficientes estimados para la ecuación (22), los valores positivos indican un incremento en la resistencia y mientras que los valores negativos señalan una reducción en esta. Se aprecia que para todos los coeficientes estimados  $p < 0.01$ , es decir, todos ellos son estadísticamente significativos.

Los resultados revelaron que existe una influencia significativa no solo del porcentaje de sustitución de agua residual tratada y de la edad de curado sino también de la interacción entre ambos factores. Lo que significa que la influencia de la sustitución de agua residual tratada en la resistencia a la compresión depende de la edad de curado y que los efectos deben interpretarse según la edad. No obstante, con el objetivo de obtener una

evaluación general se marginalizó el efecto de la edad y se determinó el efecto promedio de la sustitución de agua residual tratada en la resistencia a la compresión, lo cual se muestra en la Figura 11, hallándose que cuando se sustituye el 25% del agua de mezcla con agua residual se produce un aumento en la resistencia de 3.45%, mientras que cuando se sustituye el 50% y el 100% se producen reducción del 4.65% y 8.80% respectivamente.

#### **4.6. Contraste de Hipótesis**

En conjunto, los resultados de los ensayos de resistencia a compresión y de los análisis estadísticos permiten rechazar la hipótesis planteada, dado que la sustitución parcial o total del agua potable por agua residual tratada produjo reducciones de resistencia para algunos porcentajes de sustitución y edades de curado. No obstante, dichas reducciones fueron menores al 10 %, valor límite establecido por la NTP 339.088 para aceptar un agua de mezcla como adecuada para la elaboración de concreto. Por ello, aunque el porcentaje de sustitución influye significativamente en la resistencia a la compresión, el agua residual tratada proveniente de la PTAR Lanla puede considerarse una alternativa técnicamente viable para la elaboración de concreto de  $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajabamba.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La sustitución del agua potable por agua residual tratada favorece el desarrollo de la resistencia a edades tempranas, aunque no mejora el desempeño a largo plazo. No obstante, dado que las reducciones registradas en la resistencia son menores al 10 %, el agua residual tratada proveniente de la PTAR Lanla puede considerarse una alternativa técnicamente viable para la elaboración de concreto de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Cajabamba.
- Las características físicas y químicas del agua residual tratada de la PTAR Lanla de Cajabamba cumplen con los límites recomendados por la NTP 339.088, no presentan excesos de cloruros, sulfatos, álcalis, pH, sólidos suspendidos o materia orgánica; por lo que es apta de usarse en la elaboración de concreto.
- El uso de agua residual tratada como agua de mezcla incrementa el asentamiento de la masa de concreto en hasta 0.84 pulgadas, debido de que a diferencia del agua potable tiene sólidos suspendidos que actúan como lubricante.
- A los 7 días, los reemplazos del 25% y 50% incrementan la resistencia en 12.8% y 4.7%, respectivamente, mientras que la sustitución total (100%) provoca una disminución de 7.9%. A los 14 días, el uso del 25% de agua residual tratada aumenta la resistencia en 3.1% respecto a la muestra patrón; en contraste, los reemplazos del 50% y 100% generan reducciones de 8.6% y 9.8%, respectivamente. Finalmente, a los 28 días, las sustituciones del 25%, 50% y 100% producen disminuciones en la resistencia a la compresión de 2.4%, 7.3% y 8.4%, respectivamente.

## 5.2. Recomendaciones

- En futuras investigaciones determinar el tiempo de fraguado inicial y final del concreto elaborado con diferentes porcentajes de sustitución de agua potable por agua residual tratada, con el fin de analizar su influencia en el comportamiento del concreto en estado fresco y en las etapas iniciales de endurecimiento.
- Realizar estudios complementarios que evalúen los efectos a largo plazo del uso de agua residual tratada en el concreto, considerando propiedades como la durabilidad, permeabilidad, resistencia a agentes químicos y comportamiento frente a ciclos ambientales.
- En las investigaciones debe usarse un densímetro para determinar con mayor precisión el peso específico del agua utilizada en las mezclas, especialmente cuando se emplee agua residual tratada o combinaciones de diferentes tipos de agua.
- Registrar y controlar la temperatura de la mezcla de concreto durante su elaboración y colocación, ya que este factor puede influir en el tiempo de fraguado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abushanab, A., & Alnahhal, W. (2021). Combined effects of treated domestic wastewater, fly ash, and calcium nitrite toward concrete sustainability. *Journal of Building Engineering*, 44, 103240. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103240>
- ACI 209.2R. (2008). *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*.
- ACI 211.1. (2022). *Selecting Proportions for Normal-Density and High Density-Concrete—Guide*.
- ACI 214R. (2011). *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI 318. (2020). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI CT-18. (2018). *ACI Concrete Terminology*. American Concrete Institute.
- Almeida, M. E. P., & Tonetti, A. L. (2023). Treated wastewater as a sustainable alternative to concrete manufacturing: A literature review on its performance. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(7), 8157-8174. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04686-8>
- Almeida, M. E. P., & Tonetti, A. L. (2024). Eco-friendly concrete: Combining treated wastewater and recycled aggregates. *Water Science and Technology*, 90(3), 807-823. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.253>
- APHA, AWWA, & WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association.
- Asadollahfardi, G., Delnavaz, M., Rashnoiee, V., & Ghonabadi, N. (2016). Use of treated domestic wastewater before chlorination to produce and cure concrete. *Construction and Building Materials*, 105, 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.039>
- ASTM C114. (2023). *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement*. ASTM International.
- ASTM C403. (2023). *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*. ASTM International.
- ASTM C1602. (2022). *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. ASTM International.

- ASTM C1603. (2023). *Standard Test Method for Measurement of Solids in Water*. ASTM International.
- Bouaich, F. Z., Maherzi, W., El-hajjaji, F., Abriak, N.-E., Benzerzour, M., Taleb, M., & Rais, Z. (2022). Reuse of treated wastewater and non-potable groundwater in the manufacture of concrete: Major challenge of environmental preservation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 146-157. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15561-3>
- Claisse, P. A. (2016). *Civil Engineering Materials*. Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-03170-X>
- Deldar, O., Akçaoğlu, T., & Ergil, M. (2024). Assessing the Impacts of Treated Wastewater on Concrete's Mechanical Properties and Corrosion Resistance. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 48(6), 4093-4112. <https://doi.org/10.1007/s40996-024-01378-w>
- Elsayed, K. M. N. I., Guico, G. B. F., & Rustum, R. (2022). Concrete behavior using recycled wastewater. *Engineering and Environment*. <https://uploads.documents.cimpress.io/v1/uploads/a1399cb1-4e33-4573-874d-6599a12441d4~110/original?tenant=vbu-digital>
- EN 1008. (2002). *Mixing water for concrete—Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete*. European Standard.
- EPA Method 1664 Rev. B. (2010). *N-Hexane extractable material (HEM) and silica gel treated n-hexane extractable material (SGT-HEM) by extraction and gravimetry*. United States Environmental Protection Agency.
- Espinoza Condor, A. Y. (2023). *Determinación del desempeño y propiedades físicas de concreto con resistencia  $f'c$  210kg/cm<sup>2</sup> elaboradas con aguas residuales tratadas de la PTAR Pucayacu para minimizar el uso de agua potable en la producción de concreto en la carretera Pasco – La Quinua 2023* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. [http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3504/1/T026\\_70778671\\_T.pdf](http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3504/1/T026_70778671_T.pdf)
- Flores Villa, G. E., & Peñares Crispin, Y. Y. (2022). Evaluación de concreto armado con resistencia 280 kg/cm<sup>2</sup> con aguas residuales tratadas de la PTAR ACLARA y la implementación de microorganismos en elementos estructurales (vigas y columnas) para minimizar el alto uso de agua potable en la producción del

- concreto en la región de Ica. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*.  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/661953>
- Hegazy, M. H., & Farouk, M. M. (2020). *Effect of using secondary treated wastewater in production and curing of concrete*.
- ISO 20670. (2023). *Water reuse*. Organización Internacional de Normalización.  
<https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:20670:ed-2:v1:en>
- ISO 24513. (2019). *Service activities relating to drinking water supply, wastewater and stormwater systems*. Organización Internacional de Normalización.  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:24513:ed-1:v1:en>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., & Panarese, W. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*.
- Lezama Leiva, J. L. (2013). *Tecnología del Concreto*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- McCoy, W. J. (1978). Mixing and curing water for concrete. *ASTM Sp. Tech. Publ.*, (169B), 765-773.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2001). *Concrete microstructure, properties, and materials* (2da ed.). McGraw-hill.
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (4ta ed.). McGraw-Hill Professional.
- Micheal, A., & Salam, H. A. E. (2024). Reliability of using secondary and tertiary treated wastewater in concrete mixing and curing. *Environment, Development and Sustainability*, 26(12), 31657-31676. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-04613-6>
- Miller, S. A., Horvath, A., & Monteiro, P. J. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature Sustainability*, 1(1), 69-76.
- Nasserlshariati, E., Mohammadzadeh, D., Karballaezadeh, N., Mosavi, A., Reuter, U., & Saatcioglu, M. (2021). The Effect of Incorporating Industrials Wastewater on Durability and Long-Term Strength of Concrete. *Materials*, 14(15), 4088. <https://doi.org/10.3390/ma14154088>
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto* (4ta ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- NORMA E.060. (2020). *CONCRETO ARMADO*. SENCICO.
- NTP 339.034. (2025). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión delconcreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo*. INACAL.

- NTP 339.035. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico*. INACAL.
- NTP 339.046. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*. INACAL.
- NTP 339.072. (1982). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la materia orgánica en las aguas usadas para elaborar morteros y hormigones*. INACAL.
- NTP 339.073. (1982). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar el pH de las aguas usadas para elaborar morteros y hormigones*. INACAL.
- NTP 339.074. (1982). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar el contenido de sulfatos en las aguas usadas en la elaboración de concreto y morteros de cemento Portland*. INACAL.
- NTP 339.076. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar el contenido del ion cloruro en las aguas usadas en la elaboración de concretos y morteros de cemento Portland*. INACAL.
- NTP 339.088. (2024). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Requisitos*. INACAL.
- NTP 339.183. (2021). *CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. INACAL.
- NTP 339.185. (2021). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo*. INACAL.
- NTP 400.010. (2020). *AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras*. INACAL.
- NTP 400.011. (2020). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos*. INACAL.
- NTP 400.012. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo*. INACAL.
- NTP 400.017. (2020). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados*. INACAL.
- NTP 400.018. (2020). *AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo*. INACAL.

- NTP 400.019. (2020). *AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo.* INACAL.
- NTP 400.021. (2025). *AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.* INACAL.
- NTP 400.022. (2024). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo.* INACAL.
- NTP 400.037. (2025). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones.* INACAL.
- NTP 400.043. (2021). *AGREGADOS. Reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo. Práctica.* INACAL.
- Ooi, S. L., Salim, M. R., Ismail, M., & Ali, M. I. (2001). Treated Effluent in Concrete Technology. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 10-10. <https://doi.org/10.11113/jt.v34.648>
- Peighambarzadeh, F., Asadollahfardi, G., & Akbaridoost, J. (2020). The effects of using treated wastewater on the fracture toughness of the concrete. *Australian Journal of Civil Engineering*, 18, 1-9. <https://doi.org/10.1080/14488353.2020.1712933>
- Pinedo Ruiz, S. P. (2018). *Resistencia a la Compresión del Concreto Elaborado con Agua Residual Tratada Proveniente de la PTAR Del Distrito de la Encañada – Cajamarca—2018.* Universidad Privada del Norte.
- Powers, T. C. (1958). Structure and Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste. *Journal of the American Ceramic Society*, 41(1), 1-6. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1958.tb13494.x>
- SMEWW 5210 B. (2023). *Biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>).* In *Standard methods for the examination of water and wastewater.* APHA, AWWA, & WEF.
- SMEWW 5220 D. (2023). *Chemical oxygen demand (COD)—Closed reflux, colorimetric method.* In *Standard methods for the examination of water and wastewater.* APHA, AWWA, & WEF.
- SMEWW 9221 E. (2023). *Multiple-tube fermentation technique for thermotolerant coliforms.* In *Standard methods for the examination of water and wastewater.* APHA, AWWA, & WEF.
- Tay, J.-H., & Yip, W.-K. (1987). Use of Reclaimed Wastewater for Concrete Mixing. *Journal of Environmental Engineering*, 113(5), 1156-1161. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1987\)113:5\(1156\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1987)113:5(1156))

- UNESCO. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017: Las aguas residuales: El recurso desaprovechado*.  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Water Environment Federation. (2017). *Design of Water Resource Recovery Facilities, Manual of Practice No. 8* (7th Edition). ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 76.
- Yahyaei, B., Asadollahfardi, G., & Salehi, A. M. (2021). Workability, mechanical, and durability properties of self-compacting concrete using the treated wastewater. *Structural Concrete*, 22(S1), E997-E1008.  
<https://doi.org/10.1002/suco.201900447>
- Yao, X., Xu, Z., Guan, J., Liu, L., Shangguan, L., & Xi, J. (2022). Influence of wastewater content on mechanical properties, microstructure, and durability of concrete. *Buildings*, 12(9), 1343.
- Young, J. F. (1976). Reaction Mechanisms of Organic Admixtures with Hydrating Cement Compounds. *Transportation Research Board, Transportation Research Record*, (564), 9.

## ANEXOS

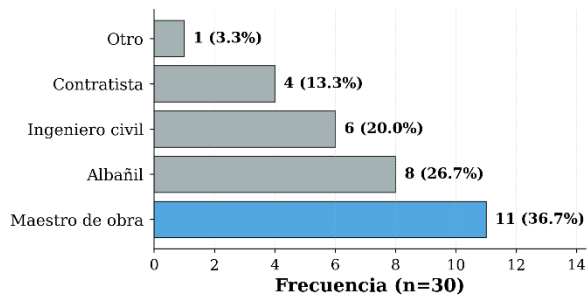
### A. Encuesta exploratoria para recolección de datos sobre prácticas en la elaboración de concreto en la ciudad de Cajabamba

#### A.1. Cuestionario Aplicado

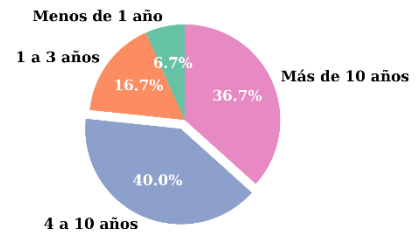
ENCUESTA SOBRE PRÁCTICAS EN LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA	
<b>Objetivo</b>	
Recopilar información sobre las prácticas en la elaboración del concreto en obras de construcción en la ciudad de Cajabamba.	
<b>Indicaciones</b>	
Seleccione la alternativa que mejor describa su caso.	
<b>DATOS DEL ENCUESTADO</b>	<b>MATERIALES UTILIZADOS EN LA MEZCLA</b>
<b>1. ¿Cuál es su profesión o cargo en la obra?</b>	<b>5. ¿Qué tipo de agua se utiliza como agua de mezcla para el concreto?</b>
<input type="checkbox"/> Maestro de obra	<input type="checkbox"/> Agua potable (red pública)
<input type="checkbox"/> Albañil	<input type="checkbox"/> Agua de pozo
<input type="checkbox"/> Ingeniero civil	<input type="checkbox"/> Agua de río
<input type="checkbox"/> Contratista	<input type="checkbox"/> No sabe
<input type="checkbox"/> Otro: _____	
<b>2. ¿Cuántos años de experiencia tiene en el sector construcción?</b>	<b>CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO</b>
<input type="checkbox"/> Menos de 1 año	<b>6. ¿Se realizan pruebas de resistencia del concreto (ensayo de compresión)?</b>
<input type="checkbox"/> 1 a 3 años	<input type="checkbox"/> Sí
<input type="checkbox"/> 4 a 10 años	<input type="checkbox"/> A veces
<input type="checkbox"/> Más de 10 años	<input type="checkbox"/> No
	<input type="checkbox"/> No sabe
<b>INFORMACIÓN SOBRE EL CONCRETO UTILIZADO</b>	<b>PROCEDENCIA DEL CONCRETO</b>
<b>3. ¿Qué resistencia del concreto se utiliza con mayor frecuencia en la obra?</b>	<b>7. ¿De dónde proviene el concreto utilizado en la obra?</b>
<input type="checkbox"/> Menor a 150 kg/cm <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Mezcla hecha en obra
<input type="checkbox"/> 180 kg/cm <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Concreto premezclado
<input type="checkbox"/> 210 kg/cm <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Otro: _____
<input type="checkbox"/> 250 kg/cm <sup>2</sup>	
<input type="checkbox"/> No sabe	<b>PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS</b>
<b>4. ¿Cuál es la razón principal para elegir la resistencia del concreto?</b>	<b>8. ¿De qué cantera provienen principalmente los agregados utilizados en la obra?</b>
<input type="checkbox"/> Especificación de los planos	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Recomendación del ingeniero	_____
<input type="checkbox"/> Experiencia previa	<input type="checkbox"/> No sabe
<input type="checkbox"/> Costos	
<input type="checkbox"/> Disponibilidad del proveedor	

## A.2. Resultados de la Aplicación de la Encuesta

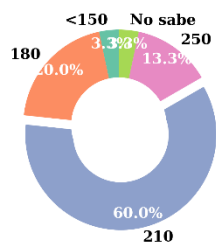
1) Profesión/Cargo de los encuestados



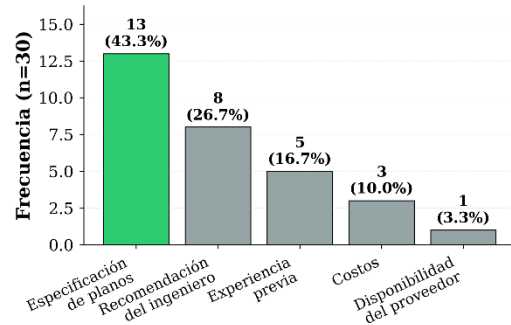
2) Años de experiencia en construcción



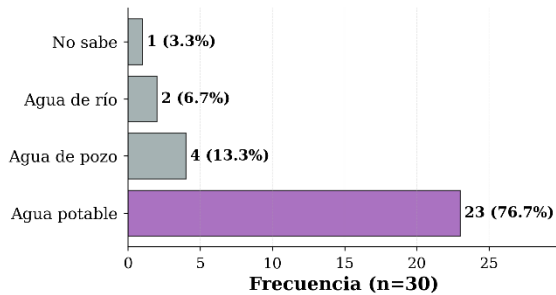
3) Resistencia del concreto utilizado



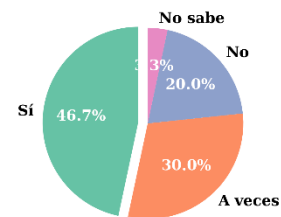
4) Razón de elección de la resistencia



5) Tipo de agua utilizada como agua de mezcla



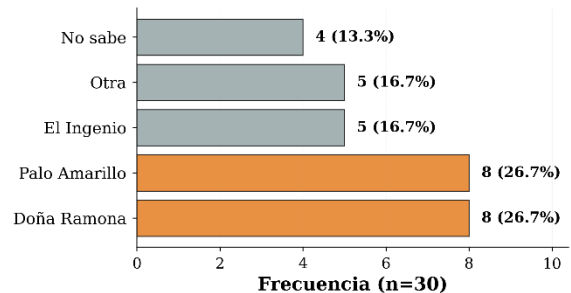
6) Realización de pruebas de resistencia



7) Procedencia del concreto



8) Cantera de procedencia del agregado



**Ficha técnica:** Tamaño de la muestra 30 participantes. Periodo de recolección de información del 17 al 21 de febrero de 2025, mediante cuestionario estructurado, aplicado de manera presencial. Muestreo no probabilístico por conveniencia.

## B. Propiedades de los Agregados

### B.1. Agregado Fino

#### B.1.1. Análisis granulométrico

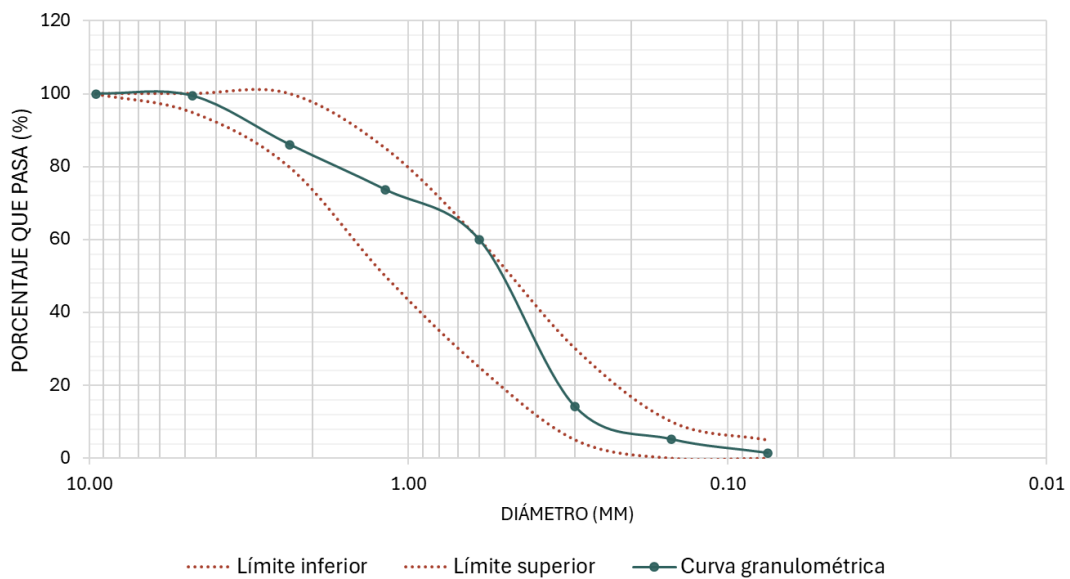
Tabla 22

Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	9.00	0.60	0.60	99.40
N° 8	2.360	200.00	13.33	13.93	86.07
N° 16	1.180	186.00	12.40	26.33	73.67
N° 30	0.600	205.00	13.67	40.00	60.00
N° 50	0.300	688.00	45.87	85.87	14.13
N° 100	0.150	133.00	8.87	94.73	5.27
N° 200	0.075	56.00	3.73	98.47	1.53
Cazoleta	--	23.00	1.53	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1500.00</b>			
<b>Módulo de finura = 2.61</b>					

Figura 12

Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 01



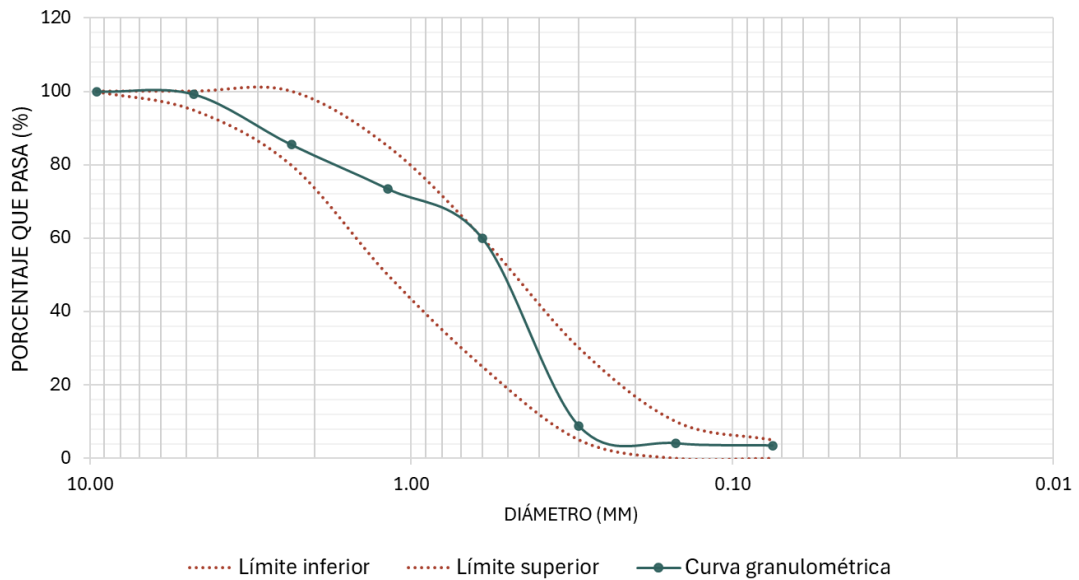
**Tabla 23**

*Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 02*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	11.00	0.73	0.73	99.27
N° 8	2.360	206.00	13.73	14.47	85.53
N° 16	1.180	181.00	12.07	26.53	73.47
N° 30	0.600	202.00	13.47	40.00	60.00
N° 50	0.300	768.00	51.20	91.20	8.80
N° 100	0.150	70.00	4.67	95.87	4.13
N° 200	0.075	9.00	0.60	96.47	3.53
Cazoleta	--	53.00	3.53	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1500.00</b>			
<b>Módulo de finura = 2.69</b>					

**Figura 13**

*Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 02*



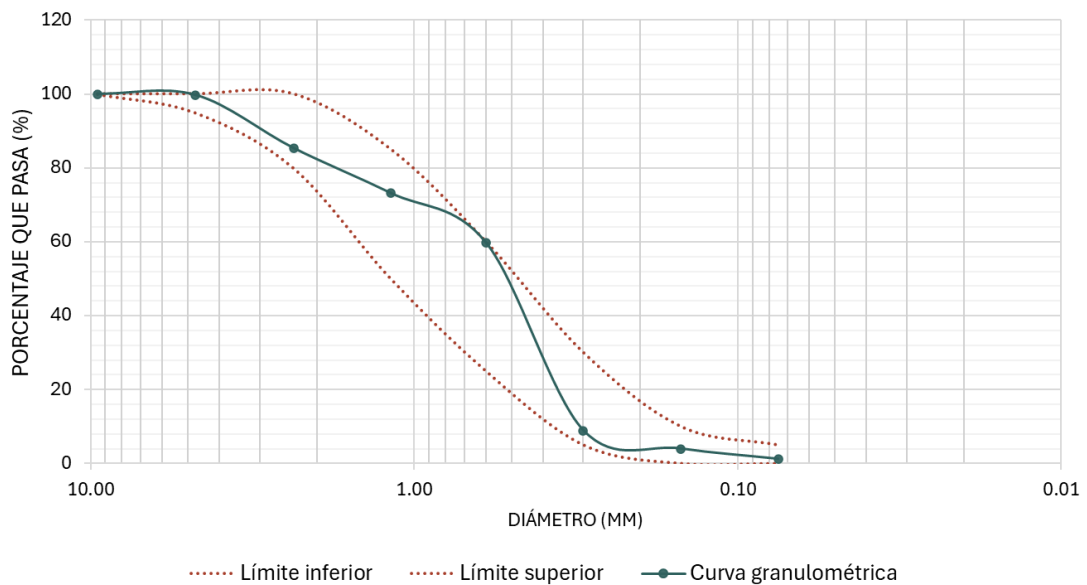
**Tabla 24**

*Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N° 03*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	4.00	0.27	0.27	99.73
N° 8	2.360	216.00	14.40	14.67	85.33
N° 16	1.180	183.00	12.20	26.87	73.13
N° 30	0.600	201.00	13.40	40.27	59.73
N° 50	0.300	762.00	50.80	91.07	8.93
N° 100	0.150	74.00	4.93	96.00	4.00
N° 200	0.075	42.00	2.80	98.80	1.20
Cazoleta	--	18.00	1.20	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>1500.00</b>			
<b>Módulo de finura = 2.68</b>					

**Figura 14**

*Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N° 03*



### B.1.2. Peso específico y absorción

**Tabla 25**

*Peso específico y absorción del agregado fino*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la fiola (g)	140.00	140.00	140.00	
(A) Peso de la muestra seca al horno (g)	489.00	491.00	490.00	
(B) Peso de la fiola + agua hasta menisco (g)	632.00	634.00	637.00	
(C) Peso de la fiola + agua + muestra (g)	944.00	949.00	942.00	
(S) Peso de la muestra SSS (g)	500.00	500.00	500.00	
<b>Peso específico de masa (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.601</b>	<b>2.654</b>	<b>2.513</b>	<b>2.589</b>
<b>Peso específico de masa SSS (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.660</b>	<b>2.703</b>	<b>2.564</b>	<b>2.642</b>
<b>Peso específico aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.763</b>	<b>2.790</b>	<b>2.649</b>	<b>2.734</b>
<b>Absorción (%)</b>	<b>2.25%</b>	<b>1.83%</b>	<b>2.04%</b>	<b>2.04%</b>

*Nota.* SSS: Saturado superficialmente seco. Según la Tabla 1 de la NTP 400.022, la desviación estándar es 0.11 y el rango aceptable 0.31. No obstante, la Nota B indica que estos valores rigen para absorciones < 1%; para valores mayores, como el presente caso, la precisión puede variar.

### B.1.3. Peso Unitario

#### B.1.3.1. Peso específico del agua

**Tabla 26**

*Peso específico del agua potable*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola (g)	140.00	140.00	140.00	
Peso de fiola + agua (g)	632.00	635.00	633.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.984	0.990	0.986	0.987
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>984</b>	<b>990</b>	<b>986</b>	<b>986.67</b>

#### B.1.3.2. Factor "F" del recipiente

**Tabla 27**

*Determinación del factor "F" para el recipiente de agregado fino*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del molde (g)	3875.00	3875.00	3875.00	
peso del molde + agua (g)	6876.00	6877.00	6875.00	
Peso del agua (kg)	3.001	3.002	3.000	3.001
<b>Factor "F" (1/m<sup>3</sup>)</b>	<b>327.891</b>	<b>329.780</b>	<b>328.667</b>	<b>328.779</b>

### B.1.3.3. Peso Unitario Suelto Seco

**Tabla 28**

*Peso unitario suelto seco del agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	8893.00	8795.00	8790.00	
Peso de muestra suelta (g)	5018.00	4622.00	4603.00	
Factor F (1/m <sup>3</sup> )	328.779	328.779	328.779	
Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.650	1.520	1.513	1.561
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1649.81</b>	<b>1519.62</b>	<b>1513.37</b>	<b>1560.93</b>

### B.1.3.4. Peso Unitario Compactado

**Tabla 29**

*Determinación del factor "F" para el recipiente de agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	9205.00	9254.00	9218.00	
Peso de muestra suelta (g)	5330.00	5379.00	5343.00	
Factor F (1/m <sup>3</sup> )	328.779	328.779	328.779	
Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.752	1.769	1.757	1.759
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1752.39</b>	<b>1768.50</b>	<b>1756.67</b>	<b>1759.19</b>

### B.1.4. Material más fino que pasa el tamiz N° 200

**Tabla 30**

*Determinación del factor "F" para el recipiente de agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de muestra original (g)	500	500	500	
Peso de muestra lavada (g)	489	487	484	
Peso del material que pasa el tamiz N° 200 (g)	11	13	16	
<b>Material que pasa el tamiz N° 200 (%)</b>	<b>2.20%</b>	<b>2.60%</b>	<b>3.20%</b>	<b>2.67%</b>

### B.1.5. Contenido de humedad

**Tabla 31**

Determinación del factor “F” para el recipiente de agregado fino

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	73	75	71	
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	1611	1632	1682	
Peso del recipiente + muestra seca (g)	1582	1602	1653	
Peso del agua (g)	29	30	29	
Peso de muestra seca (g)	1509	1527	1582	
<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>1.92%</b>	<b>1.96%</b>	<b>1.83%</b>	<b>1.91%</b>

## B.2. Agregado Grueso

### B.2.1. Análisis granulométrico

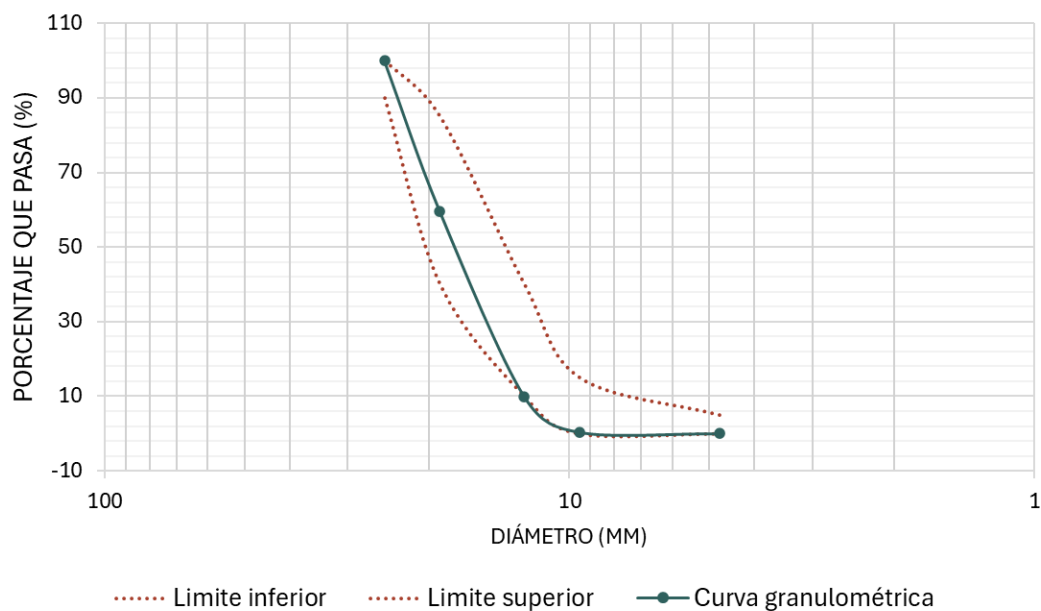
Tabla 32

Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 01

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	2018.00	40.36	40.36	59.64
1/2"	12.500	2483.00	49.66	90.02	9.98
3/8"	9.500	480.00	9.60	99.62	0.38
N° 4	4.750	19.00	0.38	100.00	0.00
Cazoleta	--	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>5000.00</b>			
<b>Módulo de finura = 7.40</b>					

Figura 15

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 01



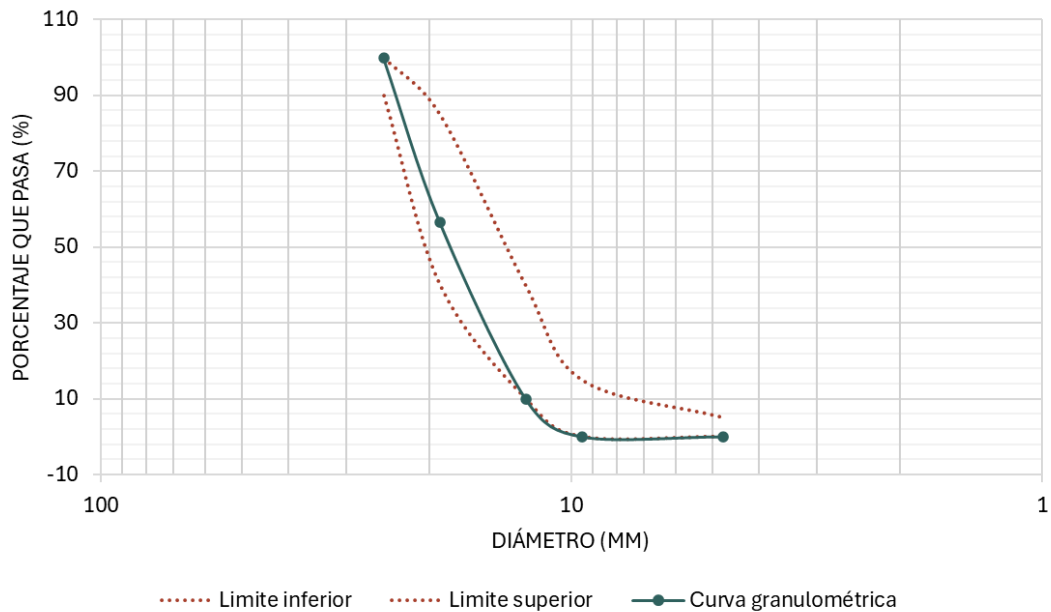
**Tabla 33**

*Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 02*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1"	25.000	6.00	0.12	0.12	99.88
3/4"	19.000	2164.00	43.28	43.40	56.60
1/2"	12.500	2330.00	46.60	90.00	10.00
3/8"	9.500	500.00	10.00	100.00	0.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazoleta	--	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>5000.00</b>			
<b>Módulo de finura = 7.43</b>					

**Figura 16**

*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 02*



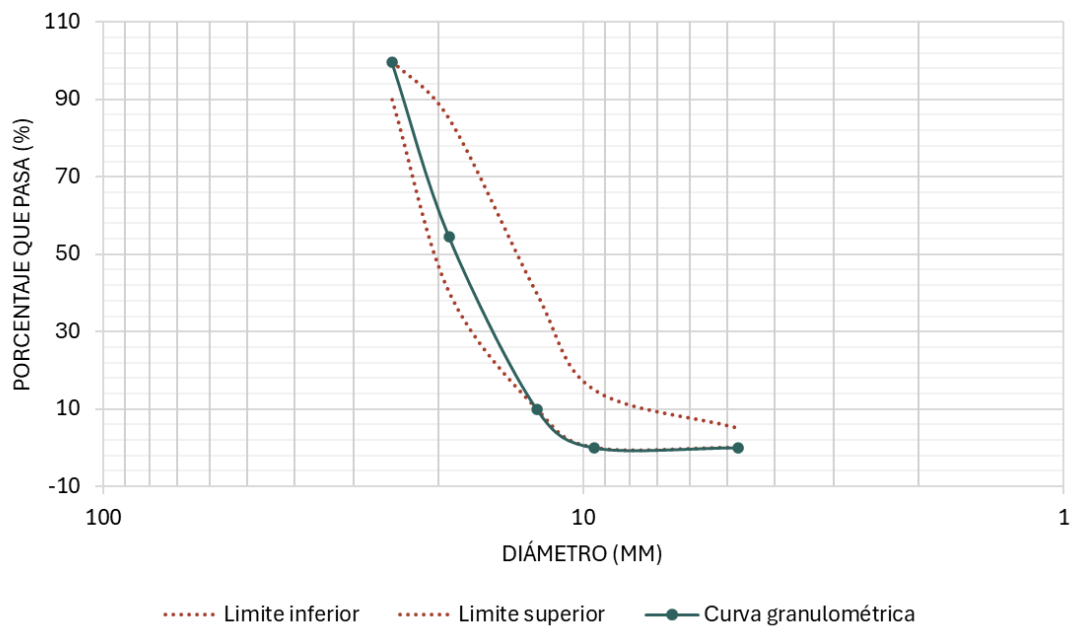
**Tabla 34**

*Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N° 03*

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1"	25.000	16.00	0.32	0.32	99.68
3/4"	19.000	2264.00	45.28	45.60	54.40
1/2"	12.500	2220.00	44.40	90.00	10.00
3/8"	9.500	500.00	10.00	100.00	0.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	100.00	0.00
Cazoleta	--	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>5000.00</b>			
<b>Módulo de finura = 7.46</b>					

**Figura 17**

*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso–Ensayo N° 03*



## B.2.2. Peso específico y absorción

Tabla 35

*Peso específico y absorción del agregado grueso*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
(A) Peso de la muestra seca al horno en el aire (g)	2965.00	2968.00	2972.00	
(B) Peso de la muestra SSS en aire (g)	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra SSS + canastilla en agua (g)	4043.00	4045.00	4043.00	
Peso de la canastilla en agua (g)	2196.00	2196.00	2196.00	
(C) Peso de la muestra saturada en agua (g)	1847.00	1849.00	1847.00	
<b>Peso específico de masa (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.57</b>	<b>2.58</b>	<b>2.58</b>	<b>2.58</b>
<b>Peso específico de masa SSS (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.60</b>	<b>2.61</b>	<b>2.60</b>	<b>2.60</b>
<b>Peso específico aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.65</b>	<b>2.65</b>	<b>2.64</b>	<b>2.65</b>
<b>Absorción (%)</b>	<b>1.18%</b>	<b>1.08%</b>	<b>0.94%</b>	<b>1.07%</b>

*Nota.* SSS: Saturada superficialmente seca. Ni la NTP 400.021 ni la ASTM C127 establecen valores específicos de precisión requerida para la determinación de la absorción del agregado grueso, ya sea expresados como desviación estándar o como rango aceptable de los resultados.

## B.2.3. Peso Unitario

### B.2.3.1. Peso específico del agua

Tabla 36

*Peso específico del agua potable*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola (g)	140.00	140.00	140.00	
Peso de fiola + agua (g)	633.00	634.00	633.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.986	0.988	0.986	0.987
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>986</b>	<b>988</b>	<b>986</b>	<b>986.67</b>

### B.2.3.2. Factor "F" del recipiente

Tabla 37

*Determinación del factor "F" para el recipiente de agregado grueso*

Descripción	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del molde (g)	7164.00	7164.00	7164.00	
peso del molde + agua (g)	14199.00	14200.00	14198.00	
Peso del agua (kg)	7.04	7.04	7.03	7.04
<b>Factor "F" (1/m<sup>3</sup>)</b>	<b>140.16</b>	<b>140.42</b>	<b>140.18</b>	<b>140.25</b>

### B.2.3.3. Peso Unitario Suelto Seco

**Tabla 38**

*Peso unitario suelto seco del agregado grueso*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	7164.00	7164.00	7164.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	16846.00	17025.00	16984.00	
Peso de muestra suelta (g)	9682.00	9861.00	9820.00	
Factor F (1/m <sup>3</sup> )	140.25	140.25	140.25	
Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.358	1.383	1.377	1.37
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1358</b>	<b>1383</b>	<b>1377</b>	<b>1372.73</b>

### B.2.3.4. Peso Unitario Compactado

**Tabla 39**

*Peso unitario seco compactado del agregado grueso*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	7164.00	7164.00	7164.00	
Peso de muestra suelta + recipiente (g)	18099.00	18033.00	18066.00	
Peso de muestra suelta (g)	10935.00	10869.00	10902.00	
Factor F (1/m <sup>3</sup> )	140.25	140.25	140.25	
Peso Unitario Suelto Seco (g/cm <sup>3</sup> )	1.534	1.524	1.529	1.53
<b>PUSS (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1534</b>	<b>1524</b>	<b>1529</b>	<b>1529.02</b>

### B.2.4. Material más fino que pasa el tamiz N° 200

**Tabla 40**

*Material más fino que pasa el tamiz N° 200 del agregado grueso*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de muestra original (g)	3000	3000	3000	
Peso de muestra lavada (g)	2997	2993	2992	
Peso del material que pasa el tamiz N° 200 (g)	3	7	8	
<b>Material que pasa el tamiz N° 200 (%)</b>	<b>0.10%</b>	<b>0.23%</b>	<b>0.27%</b>	<b>0.20%</b>

## B.2.5. Contenido de humedad

**Tabla 41**

*Contenido de humedad del agregado grueso*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso del recipiente (g)	89	119	100	
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	3221	3520	3421	
Peso del recipiente + muestra seca (g)	3215	3513	3414	
Peso del agua (g)	6	7	7	
Peso de muestra seca (g)	3126	3394	3314	
<b>Contenido de humedad (%)</b>	<b>0.19%</b>	<b>0.21%</b>	<b>0.21%</b>	<b>0.20%</b>

## B.2.6. Abrasión

**Tabla 42**

*Resistencia a la abrasión del agregado grueso*

<b>Gradación - Equipo Mecánico</b>	<b>Nº de esferas</b>	<b>Velocidad (rev./min)</b>	<b>Nº de revoluciones</b>	<b>Tamaño Máx. Nominal</b>	<b>Peso de la Muestra (g)</b>
B - Máquina de los Ángeles	11	30-33	500	3/4"	5000
Nº de Ensayos			1º	2º	3º
Peso inicial de la muestra seca al horno (g)			5000.00	5000.00	5000.00
Peso retenido en la malla N° 12 (g)			3395.00	3403.00	3408.00
% Desgaste = $((P_i - P_f) / P_i) \times 100$			32.10	31.94	31.84
<b>% Desgaste Promedio</b>				<b>31.96</b>	

### C. Peso Específico del Agua

**Tabla 43**

*Peso específico del agua potable de la ciudad de Cajabamba*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de fiola (g)	169.00	170.00	178.00	
Peso de fiola + agua (g)	666.00	668.00	675.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.994	0.996	0.994	0.995
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>994</b>	<b>996</b>	<b>994</b>	<b>994.67</b>

**Tabla 44**

*Peso específico del agua combinada ( 25% de ART y 75% de AP)*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de fiola (g)	169.00	170.00	178.00	
Peso de fiola + agua (g)	666.00	668.00	675.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.994	0.996	0.994	0.995
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>994</b>	<b>996</b>	<b>994</b>	<b>994.67</b>

*Nota.* ART: Agua residual tratada y AP: Agua potable

**Tabla 45**

*Peso específico del agua combinada (50% de ART y 50% de AP)*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de fiola (g)	169.00	170.00	178.00	
Peso de fiola + agua (g)	666.00	668.00	675.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.994	0.996	0.994	0.995
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>994</b>	<b>996</b>	<b>994</b>	<b>994.67</b>

*Nota.* ART: Agua residual tratada y AP: Agua potable

**Tabla 46**

*Peso específico del agua residual tratada de la PTAR Lanla*

<b>Descripción</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de fiola (g)	169.00	170.00	178.00	
Peso de fiola + agua (g)	666.00	668.00	675.00	
Volumen de fiola (cm <sup>3</sup> )	500	500	500	
Peso específico de agua (g/cm <sup>3</sup> )	0.994	0.996	0.994	0.995
<b>Peso específico de agua (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>994</b>	<b>996</b>	<b>994</b>	<b>994.67</b>

## D. Diseño de Mezclas de Concreto

### D.1. Mezcla de prueba

<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MEZCLA DE PRUEBA (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)</b>
---

#### 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

##### 1.1. CEMENTO

Marca:	Pacasmayo
Tipo:	I
Peso específico:	3110 kg/m <sup>3</sup>
Norma:	NTP 334.009 y ASTM C150

##### 1.2. AGREGADOS

Propiedades físicas	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño máximo nominal	3/4"	--
Módulo de fineza	7.43	2.66
Peso específico de masa (g/m <sup>3</sup> )	2.58	2.59
Peso específico sss (g/m <sup>3</sup> )	2.60	2.64
Peso específico aparente (g/m <sup>3</sup> )	2.65	2.73
Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1372.73	1560.93
Peso unitario compactado seco (kg/m <sup>3</sup> )	1529.02	1759.19
Humedad	0.20%	1.91%
Absorción	1.07%	2.04%
Abrasión	31.96%	--
% que pasa la malla N° 200	0.20%	2.67%

##### 1.3. AGUA

Tipo:	Agua potable
Norma:	NTP 339.088
Peso específico:	986.67* kg/m <sup>3</sup>

\* La mezcla de prueba se realizó con agua potable del laboratorio

#### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Resistencia especificada (f'c):	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida (f'cr):	241.50	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento:	3" a 4"	
Aire incorporado:	No	

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Contenido de agua

Cantidad de agua:	205	L/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento (a/c):	0.63	%

#### 3.2. Porcentaje de aire atrapado

Porcentaje de aire:	2	%
---------------------	---	---

#### 3.3. Cantidad de cemento

Contenido de cemento (C):	323.55	kg
Factor cemento (FC):	7.61	bolsas

#### 3.4. Cálculo de vacíos

Porcentaje de vacíos :	40.64%
Porcentaje de vacíos por corregir:	5.64%

#### 3.4. Cantidad de agregados

Módulo fineza combinación agregados:	5.08
Factor de corrección:	0.113
Módulo fineza corregido:	4.97
Agregado fino:	52%
Agregado grueso:	48%

#### 3.5. Peso de los materiales por m<sup>3</sup>

Materiales	Peso (kg)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cemento	323.55	3110.00	0.104
Agua	205.00	986.67	0.208
Aire	2.00	100.00	0.020
Agregado grueso	833.75	2575.93	0.324
Agregado fino	892.08	2589.31	0.345
<b>Peso Total</b>	<b>2256.38</b>		<b>1.00</b>

### 3.6. Peso de los materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>

#### Corrección por humedad de los agregados:

Agregado grueso húmedo:	835.44
Agregado fino húmedo:	909.09

#### Cantidad de agua efectiva:

Agua aportada por el agregado grueso:	-7.21
Agua aportada por el agregado fino:	-1.20
Agua Efectiva:	213.41

Materiales	Peso (kg)	Peso húmedo (kg)	Tanda
Cemento	323.55	323.55	6.70
Agua	205.00	213.41	4.42
Agregado grueso	833.75	835.44	17.29
Agregado fino	892.08	909.09	18.82
<b>Peso Total</b>	<b>2254.38</b>	<b>2281.49</b>	<b>47.23</b>

**Tabla 47**

*Resultados del ensayo de resistencia de la mezcla de prueba*

Muestra	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (kN)	Carga de Rotura (kg)	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> media (kg/cm <sup>2</sup> )
A-01	152.25	301.50	13.064	182.06	254.97	26000.00	142.81	
A-02	152.27	302.20	13.058	182.10	264.78	27000.00	148.27	147.18
A-03	152.56	303.00	13.083	182.79	269.68	27500.00	150.45	

Empleando la ecuación (A-17) de la norma ACI-209.2R:

$$f_{cmt} = \left[ \frac{t}{a + bt} \right] f_{cm28}$$

Donde los parámetros a=4 y b=0.85 se obtuvieron de la Tabla A.4 de la referida norma para un cemento Tipo I curado en condiciones húmedas y t es la edad del concreto. Se predijo la resistencia a los 28 días a partir de la resistencia a la compresión obtenida a los 3 días:

$$f_{cm28} = 147.18 / \left[ \frac{3}{4 + 0.85 * 3} \right]$$

$$f_{cm28} = 321.34 \text{ kg/cm}^2$$

Debido a que resistencia proyectada para los 28 días superó significativamente la resistencia de diseño, se realizó el ajuste de la relación a/c empleando las ecuaciones propuestas por Powers. Por lo que conociendo la resistencia predicha para los 28 días (R) se calculó la relación gel/espacio (X):

$$R = 2380 X^3$$

$$X = 0.513$$

Luego se halló el grado de hidratación del concreto ( $\alpha$ ) a partir de la siguiente ecuación:

$$X = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

$$\alpha = 0.669$$

Finalmente, conocidos los anteriores parámetros se calculó una relación gel/espacio ( $X'=0.466$ ) que permitiera obtener la resistencia requerida, hallándose luego a partir de ella una nueva relación a/c :

$$a/c' = 0.71$$

**Tabla 48**

*Resultados del ensayo de resistencia de la mezcla de prueba corregida*

Muestra	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de Rotura (kN)	Carga de Rotura (kg)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	f'c media (kg/cm <sup>2</sup> )
B-01	153.24	302.50	12.983	184.43	245.17	25000.00	135.55	
B-02	152.45	301.00	12.865	182.54	235.36	24000.00	131.48	132.52
B-03	153.00	302.00	12.882	183.85	235.36	24000.00	130.54	

A partir de la nueva resistencia a la compresión obtenida a los 3 días se predijo la resistencia a los 28 días, siendo esta de:

$$f_{cm28} = 289.34 \text{ kg/cm}^2$$

Dado que resistencia a la compresión que se calculó para los 28 días no superó excesivamente la resistencia de diseño, se procedió a realizar el diseño de la mezcla patrón y las demás mezclas usando la relación a/c de 0.71.

## D.2. Mezcla patrón

<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MEZCLA PATRÓN (100% AGUA POTABLE) (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)</b>
--

### 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

#### 1.1. CEMENTO

Marca:	Pacasmayo	
Tipo:	I	
Peso específico:	3110	kg/m <sup>3</sup>
Norma:	NTP 334.009 y ASTM C150	

#### 1.2. AGREGADOS

Propiedades físicas	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño máximo nominal	3/4"	--
Módulo de fineza	7.43	2.66
Peso específico de masa (g/m3)	2.58	2.59
Peso específico sss (g/m3)	2.60	2.64
Peso específico aparente (g/m3)	2.65	2.73
Peso unitario suelto seco (kg/m3)	1372.73	1560.93
Peso unitario compactado seco (kg/m3)	1529.02	1759.19
Humedad	0.68%	0.26%
Absorción	1.07%	2.04%
Abrasión	31.96%	--
% que pasa la malla N° 200	0.20%	2.67%

#### 1.3. AGUA

Tipo:	Agua potable	
Norma:	NTP 339.088	
Peso específico:	994.67	kg/m <sup>3</sup>

### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Resistencia especificada (f'c):	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida (f'cr):	241.50	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento:	3" a 4"	
Aire incorporado:	No	

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Contenido de agua

Cantidad de agua:	205	L/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento (a/c):	0.71	%

#### 3.2. Porcentaje de aire atrapado

Porcentaje de aire:	2	%
---------------------	---	---

#### 3.3. Cantidad de cemento

Contenido de cemento (C):	288.73	kg
Factor cemento (FC):	6.79	bolsas

#### 3.4. Cálculo de vacíos

Porcentaje de vacíos :	40.64%
Porcentaje de vacíos por corregir:	5.64%

#### 3.4. Cantidad de agregados

Módulo fineza combinación agregados:	5.02
Factor de corrección:	0.113
Módulo fineza corregido:	4.91
Agregado fino:	53%
Agregado grueso:	47%

#### 3.5. Peso de los materiales de diseño por m<sup>3</sup>

Materiales	Peso (kg)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m3)
Cemento	288.73	3110.00	0.093
Agua potable	205.00	994.67	0.206
Aire	2.00	100.00	0.020
Agregado grueso	827.94	2575.93	0.321
Agregado fino	931.24	2589.31	0.360
<b>Peso Total</b>	<b>2254.91</b>		<b>1.00</b>

### 3.6. Peso de los materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>

#### Corrección por humedad de los agregados:

Agregado grueso húmedo:	833.58
Agregado fino húmedo:	933.62

#### Cantidad de agua efectiva:

Agua aportada por el agregado grueso:	-3.19
Agua aportada por el agregado fino:	-16.63
Agua Efectiva:	224.82

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>Tanda</b>
Cemento	288.73	288.73	11.95
Agua potable	205.00	224.82	9.31
Agregado grueso	827.94	833.58	34.51
Agregado fino	931.24	933.62	38.65
<b>Peso Total</b>	<b>2252.91</b>	<b>2280.75</b>	<b>94.42</b>

### D.3. Mezcla 25% de Agua Residual Tratada

<b>DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MEZCLA 25% AGUA RESIDUAL TRATADA (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)</b>
---

#### 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

##### 1.1. CEMENTO

Marca:	Pacasmayo
Tipo:	I
Peso específico:	3110 kg/m <sup>3</sup>
Norma:	NTP 334.009 y ASTM C150

##### 1.2. AGREGADOS

Propiedades físicas	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño máximo nominal	3/4"	--
Módulo de fineza	7.43	2.66
Peso específico de masa (g/m <sup>3</sup> )	2.58	2.59
Peso específico sss (g/m <sup>3</sup> )	2.60	2.64
Peso específico aparente (g/m <sup>3</sup> )	2.65	2.73
Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1372.73	1560.93
Peso unitario compactado seco (kg/m <sup>3</sup> )	1529.02	1759.19
Humedad	0.68%	0.26%
Absorción	1.07%	2.04%
Abrasión	31.96%	--
% que pasa la malla N° 200	0.20%	2.67%

##### 1.3. AGUA

Tipo:	Agua potable
Norma:	NTP 339.088
Peso específico:	994.67 kg/m <sup>3</sup>

#### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Resistencia especificada (f'c):	210.00 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida (f'cr):	241.50 kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento:	3" a 4"
Aire incorporado:	No

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Contenido de agua

Cantidad de agua:	205	L/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento (a/c):	0.71	%

#### 3.2. Porcentaje de aire atrapado

Porcentaje de aire:	2	%
---------------------	---	---

#### 3.3. Cantidad de cemento

Contenido de cemento (C):	288.73	kg
Factor cemento (FC):	6.79	bolsas

#### 3.4. Cálculo de vacíos

Porcentaje de vacíos :	40.64%
Porcentaje de vacíos por corregir:	5.64%

#### 3.4. Cantidad de agregados

Módulo fineza combinación agregados:	5.02
Factor de corrección:	0.113
Módulo fineza corregido:	4.91
Agregado fino:	53%
Agregado grueso:	47%

#### 3.5. Peso de los materiales de diseño por m<sup>3</sup>

Materiales	Peso (kg)	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m3)
Cemento	288.73	3110.00	0.093
Agua combinada	205.00	994.67	0.206
Aire	2.00	100.00	0.020
Agregado grueso	827.94	2575.93	0.321
Agregado fino	931.24	2589.31	0.360
<b>Peso Total</b>	<b>2254.91</b>		<b>1.00</b>

### 3.6. Peso de los materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>

#### Corrección por humedad de los agregados:

Agregado grueso húmedo:	833.58
Agregado fino húmedo:	933.62

#### Cantidad de agua efectiva:

Agua aportada por el agregado grueso:	-3.19
Agua aportada por el agregado fino:	-16.63
Agua Efectiva:	224.82

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>Tanda</b>
Cemento	288.73	288.73	11.95
Agua potable	153.75	168.61	6.98
Agua residual tratada	51.25	56.20	2.33
Agregado grueso	827.94	833.58	34.51
Agregado fino	931.24	933.62	38.65
<b>Peso Total</b>	<b>2252.91</b>	<b>2280.75</b>	<b>94.42</b>

## D.4. Mezcla 50% de Agua Residual Tratada

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MEZCLA 50% AGUA RESIDUAL TRATADA (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

#### 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

##### 1.1. CEMENTO

Marca:	Pacasmayo
Tipo:	I
Peso específico:	3110 kg/m <sup>3</sup>
Norma:	NTP 334.009 y ASTM C150

##### 1.2. AGREGADOS

Propiedades físicas	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño máximo nominal	3/4"	--
Módulo de fineza	7.43	2.66
Peso específico de masa (g/m <sup>3</sup> )	2.58	2.59
Peso específico sss (g/m <sup>3</sup> )	2.60	2.64
Peso específico aparente (g/m <sup>3</sup> )	2.65	2.73
Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1372.73	1560.93
Peso unitario compactado seco (kg/m <sup>3</sup> )	1529.02	1759.19
Humedad	0.68%	0.26%
Absorción	1.07%	2.04%
Abrasión	31.96%	--
% que pasa la malla N° 200	0.20%	2.67%

##### 1.3. AGUA

Tipo:	Agua potable
Norma:	NTP 339.088
Peso específico:	994.67 kg/m <sup>3</sup>

#### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Resistencia especificada (f'c):	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida (f'cr):	241.50	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento:	3" a 4"	
Aire incorporado:	No	

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Contenido de agua

Cantidad de agua:	205	L/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento (a/c):	0.71	%

#### 3.2. Porcentaje de aire atrapado

Porcentaje de aire:	2	%
---------------------	---	---

#### 3.3. Cantidad de cemento

Contenido de cemento (C):	288.73	kg
Factor cemento (FC):	6.79	bolsas

#### 3.4. Cálculo de vacíos

Porcentaje de vacíos :	40.64%
Porcentaje de vacíos por corregir:	5.64%

#### 3.4. Cantidad de agregados

Módulo fineza combinación agregados:	5.02
Factor de corrección:	0.113
Módulo fineza corregido:	4.91
Agregado fino:	53%
Agregado grueso:	47%

#### 3.5. Peso de los materiales de diseño por m<sup>3</sup>

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	288.73	3110.00	0.093
Agua combinada	205.00	994.67	0.206
Aire	2.00	100.00	0.020
Agregado grueso	827.94	2575.93	0.321
Agregado fino	931.24	2589.31	0.360
<b>Peso Total</b>	<b>2254.91</b>		<b>1.00</b>

### 3.6. Peso de los materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>

#### Corrección por humedad de los agregados:

Agregado grueso húmedo:	833.58
Agregado fino húmedo:	933.62

#### Cantidad de agua efectiva:

Agua aportada por el agregado grueso:	-3.19
Agua aportada por el agregado fino:	-16.63
Agua Efectiva:	224.82

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>Tanda</b>
Cemento	288.73	288.73	11.95
Agua potable	102.50	112.41	4.65
Agua residual tratada	102.50	112.41	4.65
Agregado grueso	827.94	833.58	34.51
Agregado fino	931.24	933.62	38.65
<b>Peso Total</b>	<b>2252.91</b>	<b>2280.75</b>	<b>94.42</b>

## D.5. Mezcla 100% de Agua Residual Tratada

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - MEZCLA 100% AGUA RESIDUAL TRATADA (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

#### 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

##### 1.1. CEMENTO

Marca:	Pacasmayo
Tipo:	I
Peso específico:	3110 kg/m <sup>3</sup>
Norma:	NTP 334.009 y ASTM C150

##### 1.2. AGREGADOS

Propiedades físicas	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño máximo nominal	3/4"	--
Módulo de fineza	7.43	2.66
Peso específico de masa (g/m <sup>3</sup> )	2.58	2.59
Peso específico sss (g/m <sup>3</sup> )	2.60	2.64
Peso específico aparente (g/m <sup>3</sup> )	2.65	2.73
Peso unitario suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1372.73	1560.93
Peso unitario compactado seco (kg/m <sup>3</sup> )	1529.02	1759.19
Humedad	0.68%	0.26%
Absorción	1.07%	2.04%
Abrasión	31.96%	--
% que pasa la malla N° 200	0.20%	2.67%

##### 1.3. AGUA

Tipo:	Agua potable
Norma:	NTP 339.088
Peso específico:	994.67 kg/m <sup>3</sup>

#### 2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE CONCRETO

Resistencia especificada (f'c):	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia promedio requerida (f'cr):	241.50	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento:	3" a 4"	
Aire incorporado:	No	

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Contenido de agua

Cantidad de agua:	205	L/m <sup>3</sup>
Relación agua cemento (a/c):	0.71	%

#### 3.2. Porcentaje de aire atrapado

Porcentaje de aire:	2	%
---------------------	---	---

#### 3.3. Cantidad de cemento

Contenido de cemento (C):	288.73	kg
Factor cemento (FC):	6.79	bolsas

#### 3.4. Cálculo de vacíos

Porcentaje de vacíos:	40.64%
Porcentaje de vacíos por corregir:	5.64%

#### 3.4. Cantidad de agregados

Módulo fineza combinación agregados:	5.02
Factor de corrección:	0.113
Módulo fineza corregido:	4.91
Agregado fino:	53%
Agregado grueso:	47%

#### 3.5. Peso de los materiales de diseño por m<sup>3</sup>

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m3)</b>
Cemento	288.73	3110.00	0.093
Agua residual tratada	205.00	994.67	0.206
Aire	2.00	100.00	0.020
Agregado grueso	827.94	2575.93	0.321
Agregado fino	931.24	2589.31	0.360
<b>Peso Total</b>	<b>2254.91</b>		<b>1.00</b>

### 3.6. Peso de los materiales corregidos por humedad por m<sup>3</sup>

#### Corrección por humedad de los agregados:

Agregado grueso húmedo:	833.58
Agregado fino húmedo:	933.62

#### Cantidad de agua efectiva:

Agua aportada por el agregado grueso:	-3.19
Agua aportada por el agregado fino:	-16.63
Agua Efectiva:	224.82

<b>Materiales</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Peso húmedo (kg)</b>	<b>Tanda</b>
Cemento	288.73	288.73	11.95
Agua residual tratada	205.00	224.82	9.31
Agregado grueso	827.94	833.58	34.51
Agregado fino	931.24	933.62	38.65
<b>Peso Total</b>	<b>2252.91</b>	<b>2280.75</b>	<b>94.42</b>

## E. Resultados del Ensayo de Asentamiento

**Tabla 49**

*Asentamiento de la mezcla patrón y con sustitución de ART*

Muestras	Unidad	Patrón	25% ART	50% ART	100% ART
Muestra1	pulg	3.10	3.50	3.80	4.00
Muestra2	pulg	3.00	3.60	3.70	3.90
Muestra3	pulg	3.30	3.30	4.00	4.00
Promedio	pulg	3.13	3.47	3.83	3.97

## F. Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión

### F.1. Muestras patrón 100% de agua potable

**Tabla 50**

*Resistencia a la compresión (100% agua potable, 7 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
P1-7	152.030	301.00	12.625	181.530	269.684	151.490	72.138	3	158.935	4.557	2.90%
P2-7	152.210	301.00	12.540	181.960	284.394	159.376	75.893	5			
P3-7	152.775	301.00	12.564	183.314	289.298	160.926	76.632	5			
P4-7	152.590	301.50	12.618	182.870	279.491	155.849	74.214	5			
P5-7	153.550	302.50	12.924	185.178	294.201	162.006	77.146	5			
P6-7	152.630	301.50	12.654	182.966	294.201	163.965	78.079	5			

**Tabla 51**

*Resistencia a la compresión (100% agua potable, 14 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
P1-14	152.170	301.50	12.741	181.865	382.461	214.445	102.117	5	215.754	2.681	1.20%
P2-14	152.775	302.00	12.800	183.314	387.365	215.478	102.608	6			
P3-14	152.010	301.50	12.785	181.482	387.365	217.652	103.644	6			
P4-14	152.100	301.50	12.840	181.697	382.461	214.643	102.211	5			
P5-14	151.210	300.50	12.450	179.577	387.365	219.961	104.743	3			
P6-14	152.920	302.00	12.914	183.662	382.461	212.347	101.118	2			

**Tabla 52***Resistencia a la compresión (100% agua potable, 28 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
P1-28	150.455	300.50	12.710	177.788	421.688	241.861	115.172	5	242.196	1.492	0.60%
P2-28	151.940	301.50	12.751	181.315	431.495	242.671	115.558	2			
P3-28	152.970	302.00	12.765	183.782	441.302	244.856	116.598	4			
P4-28	152.205	301.50	12.826	181.948	431.495	241.827	115.156	4			
P5-28	151.780	301.00	12.674	180.933	426.591	240.420	114.486	4			
P6-28	154.015	303.00	13.064	186.301	441.302	241.544	115.021	4			

**F.2. Muestras 25% de Agua Residual Tratada****Tabla 53***Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 7 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
S1-7	152.600	302.00	12.834	182.894	323.621	180.433	85.920	2	179.321	1.035	0.60%
S2-7	151.320	301.00	12.777	179.838	313.814	177.937	84.732	5			
S3-7	151.000	300.50	12.622	179.079	313.814	178.692	85.092	5			
S4-7	152.075	302.00	12.893	181.638	318.718	178.928	85.204	5			
S5-7	152.525	302.00	12.817	182.714	323.621	180.610	86.005	3			
S6-7	151.905	301.50	12.789	181.232	318.718	179.329	85.395	5			

**Tabla 54***Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 14 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
S1-14	153.330	302.00	12.787	184.648	402.075	222.044	105.735	4	222.435	1.636	0.70%
S2-14	153.120	302.00	12.776	184.142	397.171	219.939	104.733	3			
S3-14	152.500	301.50	12.739	182.654	397.171	221.731	105.586	2			
S4-14	151.320	301.00	12.673	179.838	392.268	222.422	105.915	5			
S5-14	151.640	301.00	12.746	180.600	397.171	224.253	106.787	6			
S6-14	151.650	301.50	12.792	180.624	397.171	224.223	106.773	5			

**Tabla 55***Resistencia a la compresión (25% Agua Residual Tratada, 28 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
S1-28	153.360	302.50	12.901	184.720	431.495	238.198	113.428	4	236.437	1.317	0.60%
S2-28	152.485	301.50	12.809	182.618	421.688	235.464	112.126	5			
S3-28	152.435	302.00	12.844	182.498	421.688	235.618	112.199	3			
S4-28	151.650	301.00	12.727	180.624	421.688	238.064	113.364	3			
S5-28	151.580	301.50	12.857	180.457	416.785	235.513	112.149	2			
S6-28	154.150	302.50	12.804	186.628	431.495	235.763	112.268	4			

**F.3. Muestras 50% de Agua Residual Tratada****Tabla 56***Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 7 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
M1-7	152.155	301.50	12.719	181.829	294.201	164.990	78.567	4	166.398	1.488	0.90%
M2-7	152.130	301.50	12.694	181.769	299.104	167.795	79.903	4			
M3-7	152.380	301.50	12.694	182.367	299.104	167.245	79.641	4			
M4-7	152.065	301.00	12.633	181.614	294.201	165.186	78.660	3			
M5-7	151.970	301.00	12.649	181.387	299.104	168.149	80.071	6			
M6-7	152.140	301.00	12.678	181.793	294.201	165.023	78.582	5			

**Tabla 57***Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 14 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
M1-14	151.790	301.00	12.679	180.957	357.945	201.705	96.050	5	197.215	2.471	1.30%
M2-14	151.860	300.50	12.494	181.124	348.138	195.998	93.332	5			
M3-14	152.030	301.00	12.562	181.530	353.041	198.314	94.435	3			
M4-14	153.345	301.50	12.617	184.684	353.041	194.928	92.823	3			
M5-14	152.715	301.50	12.599	183.170	353.041	196.539	93.590	5			
M6-14	151.935	300.50	12.360	181.303	348.138	195.805	93.240	5			

**Tabla 58***Resistencia a la compresión (50% Agua Residual Tratada, 28 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
M1-28	151.490	301.00	12.727	180.243	402.075	227.471	108.320	5	224.598	3.307	1.50%
M2-28	151.685	301.00	12.700	180.707	392.268	221.353	105.406	5			
M3-28	150.805	300.50	12.614	178.616	392.268	223.944	106.640	5			
M4-28	151.805	301.00	12.690	180.993	392.268	221.003	105.239	2			
M5-28	151.565	301.00	12.641	180.421	397.171	224.475	106.893	5			
M6-28	150.870	300.00	12.389	178.770	402.075	229.344	109.212	5			

**F.4. Muestras 100% de Agua Residual Tratada****Tabla 59***Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 7 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
R1-7	152.920	301.00	12.423	183.662	264.781	147.009	70.005	5	146.313	1.462	1.00%
R2-7	151.915	300.50	12.497	181.256	259.878	146.202	69.620	5			
R3-7	152.645	301.00	12.509	183.002	264.781	147.540	70.257	4			
R4-7	151.785	300.50	12.522	180.945	254.974	143.690	68.424	5			
R5-7	151.205	300.00	12.397	179.565	259.878	147.579	70.276	3			
R6-7	152.095	300.50	12.470	181.685	259.878	145.857	69.456	5			

**Tabla 60***Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 14 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
R1-14	154.440	302.00	12.547	187.331	362.848	197.511	94.053	5	194.503	3.443	1.80%
R2-14	152.730	301.00	12.473	183.206	343.234	191.042	90.973	4			
R3-14	153.105	301.50	12.625	184.106	343.234	190.108	90.527	5			
R4-14	151.780	300.50	12.473	180.933	343.234	193.441	92.115	3			
R5-14	152.520	301.00	12.570	182.702	353.041	197.042	93.830	3			
R6-14	152.200	301.00	12.594	181.936	353.041	197.872	94.225	2			

**Tabla 61***Resistencia a la compresión (100% Agua Residual Tratada, 28 días)*

Código	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Peso (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga de rotura (kN)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% de f'c	Tipo de rotura	f'c promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Desv. est. (s)	Coef. var. (CV)
R1-28	153.370	301.50	12.591	184.744	402.075	221.929	105.680	5			
R2-28	153.350	301.50	12.618	184.696	397.171	219.279	104.419	2			
R3-28	151.965	301.50	12.757	181.375	397.171	223.294	106.331	3			
R4-28	150.925	300.50	12.548	178.901	392.268	223.588	106.470	5	221.795	1.673	0.80%
R5-28	152.310	301.00	12.628	182.199	397.171	222.284	105.850	5			
R6-28	152.960	301.50	12.566	183.758	397.171	220.399	104.952	3			

## G. Esfuerzo – deformación

### G.1. Muestras 100% de Agua Residual Tratada

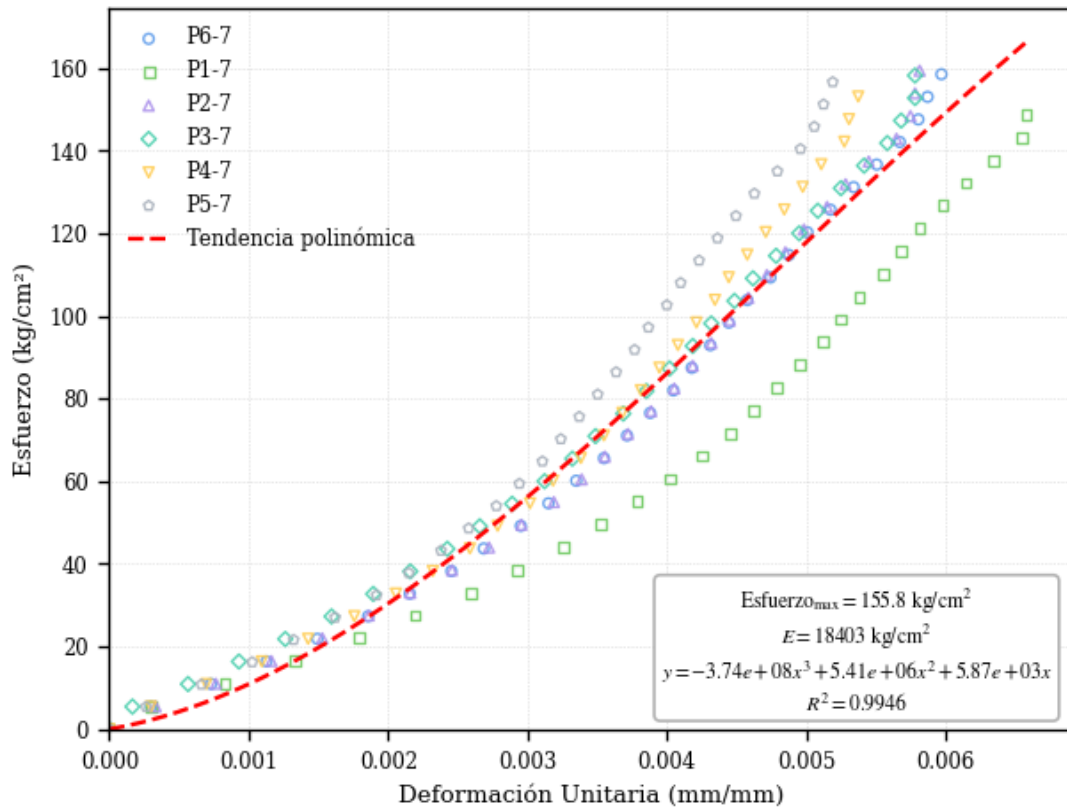
**Tabla 62**

*Deformación unitaria (100% de agua potable, 7 días)*

P1-7		P2-7		P3-7		P4-7		P5-7		P6-7	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.5087	0.0003	5.4957	0.0003	5.4551	0.0002	5.4684	0.0003	5.4002	0.0003	5.4655	0.0003
11.0175	0.0008	10.9914	0.0008	10.9103	0.0006	10.9367	0.0007	10.8004	0.0007	10.9310	0.0007
16.5262	0.0013	16.4871	0.0012	16.3654	0.0009	16.4051	0.0011	16.2006	0.0010	16.3965	0.0011
22.0349	0.0018	21.9828	0.0015	21.8205	0.0013	21.8735	0.0014	21.6008	0.0013	21.8620	0.0015
27.5437	0.0022	27.4785	0.0019	27.2757	0.0016	27.3419	0.0018	27.0010	0.0016	27.3275	0.0019
33.0524	0.0026	32.9743	0.0022	32.7308	0.0019	32.8102	0.0021	32.4012	0.0019	32.7930	0.0022
38.5611	0.0029	38.4700	0.0025	38.1859	0.0022	38.2786	0.0023	37.8015	0.0021	38.2585	0.0025
44.0698	0.0033	43.9657	0.0027	43.6411	0.0024	43.7470	0.0026	43.2017	0.0024	43.7240	0.0027
49.5786	0.0035	49.4614	0.0030	49.0962	0.0027	49.2153	0.0028	48.6019	0.0026	49.1895	0.0030
55.0873	0.0038	54.9571	0.0032	54.5514	0.0029	54.6837	0.0030	54.0021	0.0028	54.6551	0.0032
60.5960	0.0040	60.4528	0.0034	60.0065	0.0031	60.1521	0.0032	59.4023	0.0029	60.1206	0.0034
66.1048	0.0043	65.9485	0.0036	65.4616	0.0033	65.6205	0.0034	64.8025	0.0031	65.5861	0.0035
71.6135	0.0045	71.4442	0.0037	70.9168	0.0035	71.0888	0.0035	70.2027	0.0032	71.0516	0.0037
77.1222	0.0046	76.9399	0.0039	76.3719	0.0037	76.5572	0.0037	75.6029	0.0034	76.5171	0.0039
82.6310	0.0048	82.4356	0.0041	81.8270	0.0039	82.0256	0.0038	81.0031	0.0035	81.9826	0.0040
88.1397	0.0050	87.9313	0.0042	87.2822	0.0040	87.4939	0.0039	86.4033	0.0036	87.4481	0.0042
93.6484	0.0051	93.4271	0.0043	92.7373	0.0042	92.9623	0.0041	91.8035	0.0038	92.9136	0.0043
99.1571	0.0052	98.9228	0.0045	98.1924	0.0043	98.4307	0.0042	97.2037	0.0039	98.3791	0.0044
104.6659	0.0054	104.4185	0.0046	103.6476	0.0045	103.8990	0.0043	102.6039	0.0040	103.8446	0.0046
110.1746	0.0055	109.9142	0.0047	109.1027	0.0046	109.3674	0.0044	108.0042	0.0041	109.3101	0.0047
115.6833	0.0057	115.4099	0.0049	114.5578	0.0048	114.8358	0.0046	113.4044	0.0042	114.7756	0.0049
121.1921	0.0058	120.9056	0.0050	120.0130	0.0050	120.3042	0.0047	118.8046	0.0044	120.2411	0.0050
126.7008	0.0060	126.4013	0.0052	125.4681	0.0051	125.7725	0.0048	124.2048	0.0045	125.7066	0.0052
132.2095	0.0061	131.8970	0.0053	130.9232	0.0052	131.2409	0.0050	129.6050	0.0046	131.1721	0.0053
137.7183	0.0063	137.3927	0.0054	136.3784	0.0054	136.7093	0.0051	135.0052	0.0048	136.6376	0.0055
143.2270	0.0065	142.8884	0.0056	141.8335	0.0056	142.1776	0.0053	140.4054	0.0050	142.1031	0.0057
148.7357	0.0066	148.3841	0.0057	147.2887	0.0057	147.6460	0.0053	145.8056	0.0051	147.5686	0.0058
151.4901	0.0066	153.8799	0.0058	152.7438	0.0058	153.1144	0.0054	151.2058	0.0051	153.0341	0.0059
		159.3756	0.0058	158.1989	0.0058	155.8486	0.0054	156.6060	0.0052	158.4997	0.0060

**Figura 18**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 7 días)*

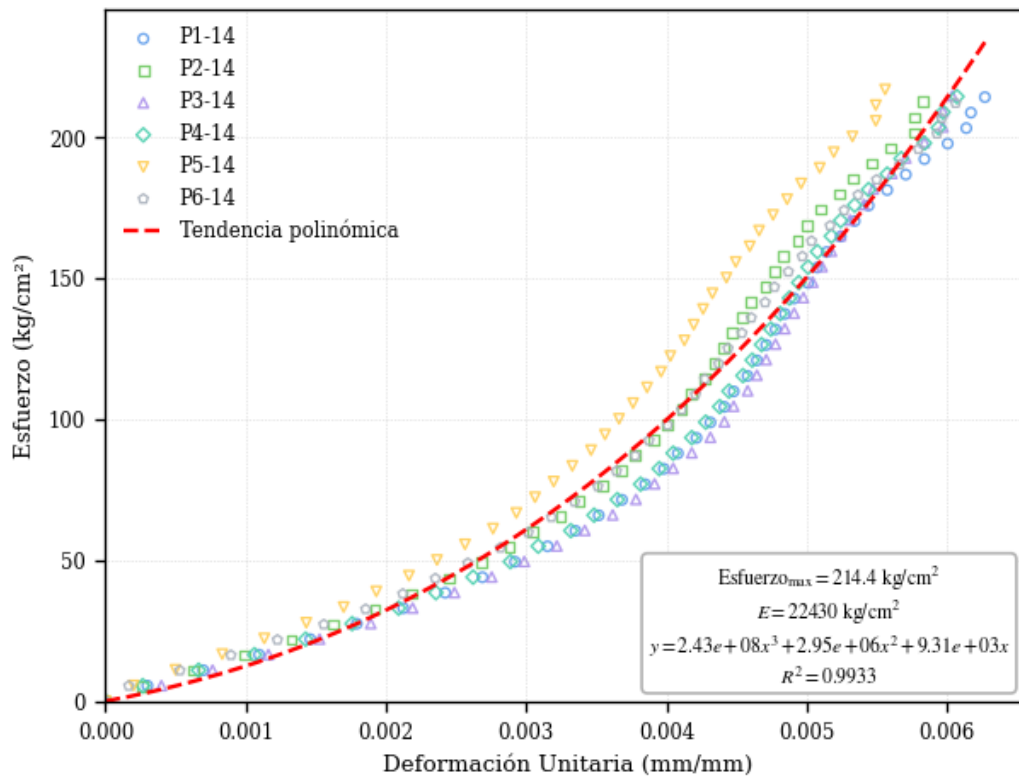


**Tabla 63***Deformación unitaria (100% de agua potable, 14 días)*

P1-14		P2-14		P3-14		P4-14		P5-14		P6-14	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4986	0.0003	5.4551	0.0003	5.5102	0.0004	5.5037	0.0003	5.5686	0.0002	5.4448	0.0002
10.9972	0.0007	10.9103	0.0006	11.0204	0.0008	11.0073	0.0007	11.1373	0.0005	10.8896	0.0005
16.4958	0.0011	16.3654	0.0010	16.5305	0.0012	16.5110	0.0011	16.7059	0.0008	16.3344	0.0009
21.9944	0.0015	21.8205	0.0013	22.0407	0.0015	22.0146	0.0014	22.2746	0.0011	21.7792	0.0012
27.4930	0.0018	27.2757	0.0016	27.5509	0.0019	27.5183	0.0018	27.8432	0.0014	27.2240	0.0016
32.9916	0.0021	32.7308	0.0019	33.0611	0.0022	33.0220	0.0021	33.4118	0.0017	32.6688	0.0019
38.4902	0.0024	38.1859	0.0022	38.5713	0.0025	38.5256	0.0024	38.9805	0.0019	38.1136	0.0021
43.9888	0.0027	43.6411	0.0025	44.0814	0.0028	44.0293	0.0026	44.5491	0.0022	43.5584	0.0024
49.4874	0.0029	49.0962	0.0027	49.5916	0.0030	49.5330	0.0029	50.1178	0.0024	49.0032	0.0026
54.9860	0.0032	54.5514	0.0029	55.1018	0.0032	55.0366	0.0031	55.6864	0.0026	54.4480	0.0028
60.4846	0.0034	60.0065	0.0030	60.6120	0.0034	60.5403	0.0033	61.2550	0.0028	59.8927	0.0030
65.9832	0.0035	65.4616	0.0032	66.1222	0.0036	66.0439	0.0035	66.8237	0.0029	65.3375	0.0032
71.4818	0.0037	70.9168	0.0034	71.6323	0.0038	71.5476	0.0036	72.3923	0.0031	70.7823	0.0033
76.9804	0.0038	76.3719	0.0035	77.1425	0.0039	77.0513	0.0038	77.9610	0.0032	76.2271	0.0035
82.4790	0.0040	81.8270	0.0037	82.6527	0.0040	82.5549	0.0039	83.5296	0.0033	81.6719	0.0036
87.9776	0.0041	87.2822	0.0038	88.1629	0.0042	88.0586	0.0040	89.0982	0.0035	87.1167	0.0038
93.4762	0.0042	92.7373	0.0039	93.6731	0.0043	93.5622	0.0042	94.6669	0.0036	92.5615	0.0039
98.9748	0.0043	98.1924	0.0040	99.1832	0.0044	99.0659	0.0043	100.2355	0.0037	98.0063	0.0040
104.4734	0.0044	103.6476	0.0041	104.6934	0.0045	104.5696	0.0044	105.8041	0.0038	103.4511	0.0041
109.9720	0.0045	109.1027	0.0042	110.2036	0.0046	110.0732	0.0044	111.3728	0.0039	108.8959	0.0042
115.4706	0.0046	114.5578	0.0043	115.7138	0.0046	115.5769	0.0045	116.9414	0.0040	114.3407	0.0043
120.9692	0.0046	120.0130	0.0043	121.2240	0.0047	121.0805	0.0046	122.5101	0.0040	119.7855	0.0044
126.4678	0.0047	125.4681	0.0044	126.7341	0.0048	126.5842	0.0047	128.0787	0.0041	125.2303	0.0044
131.9664	0.0048	130.9232	0.0045	132.2443	0.0048	132.0879	0.0047	133.6473	0.0042	130.6751	0.0045
137.4650	0.0048	136.3784	0.0045	137.7545	0.0049	137.5915	0.0048	139.2160	0.0043	136.1199	0.0046
142.9636	0.0049	141.8335	0.0046	143.2647	0.0050	143.0952	0.0049	144.7846	0.0043	141.5647	0.0047
148.4622	0.0050	147.2887	0.0047	148.7749	0.0050	148.5989	0.0049	150.3533	0.0044	147.0095	0.0048
153.9608	0.0051	152.7438	0.0048	154.2850	0.0051	154.1025	0.0050	155.9219	0.0045	152.4543	0.0049
159.4594	0.0051	158.1989	0.0048	159.7952	0.0052	159.6062	0.0051	161.4905	0.0046	157.8991	0.0050
164.9580	0.0052	163.6541	0.0049	165.3054	0.0052	165.1098	0.0052	167.0592	0.0047	163.3439	0.0050
170.4566	0.0053	169.1092	0.0050	170.8156	0.0053	170.6135	0.0052	172.6278	0.0048	168.7886	0.0052
175.9552	0.0054	174.5643	0.0051	176.3258	0.0054	176.1172	0.0053	178.1965	0.0049	174.2334	0.0053
181.4538	0.0056	180.0195	0.0052	181.8359	0.0055	181.6208	0.0054	183.7651	0.0050	179.6782	0.0054
186.9524	0.0057	185.4746	0.0053	187.3461	0.0056	187.1245	0.0056	189.3337	0.0051	185.1230	0.0055
192.4510	0.0058	190.9297	0.0055	192.8563	0.0057	192.6281	0.0057	194.9024	0.0052	190.5678	0.0057
197.9496	0.0060	196.3849	0.0056	198.3665	0.0058	198.1318	0.0058	200.4710	0.0053	196.0126	0.0058
203.4482	0.0061	201.8400	0.0058	203.8767	0.0060	203.6355	0.0059	206.0397	0.0055	201.4574	0.0059
208.9468	0.0062	207.2951	0.0058	209.3868	0.0060	209.1391	0.0060	211.6083	0.0055	206.9022	0.0060
214.4454	0.0063	212.7503	0.0058	214.8970	0.0060	214.6428	0.0061	217.1769	0.0056	212.3470	0.0061

**Figura 19**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 14 días)*



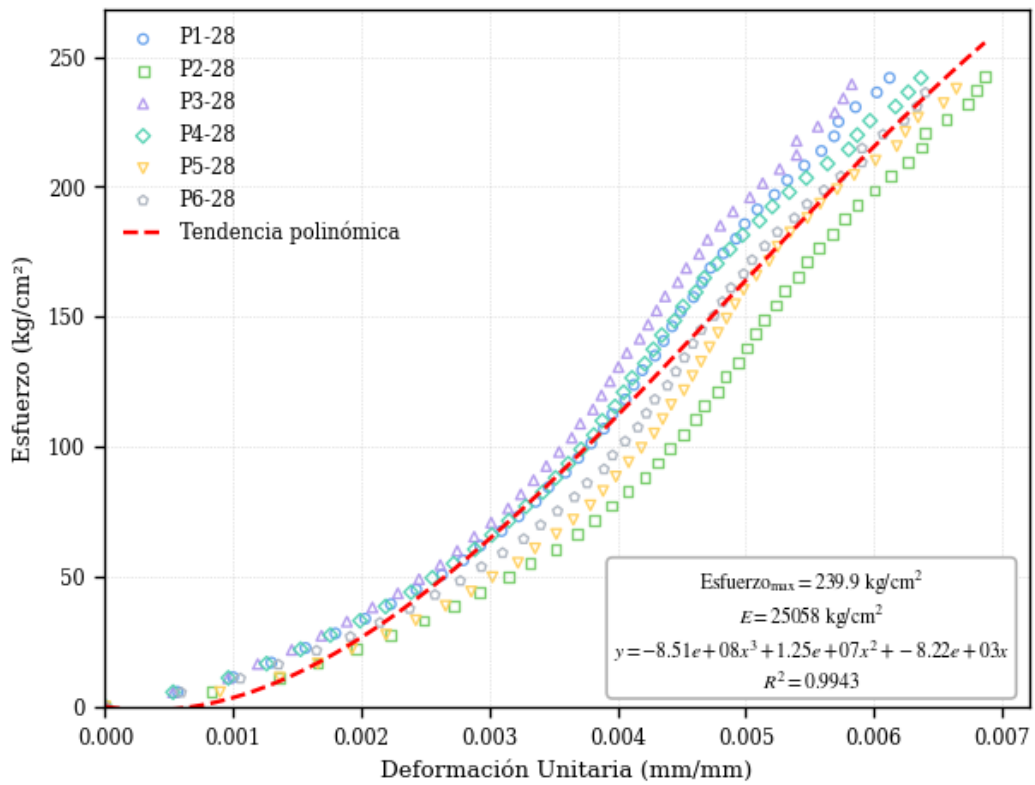
**Tabla 64**

*Deformación unitaria (100% de agua potable, 28 días)*

P1-28		P2-28		P3-28		P4-28		P5-28		P6-28	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.6247	0.0006	5.5153	0.0008	5.4412	0.0005	5.4961	0.0005	5.5269	0.0009	5.3676	0.0006
11.2493	0.0010	11.0305	0.0014	10.8825	0.0010	10.9921	0.0010	11.0538	0.0014	10.7353	0.0011
16.8740	0.0013	16.5458	0.0017	16.3237	0.0012	16.4882	0.0013	16.5807	0.0017	16.1029	0.0014
22.4987	0.0016	22.0610	0.0020	21.7649	0.0015	21.9843	0.0015	22.1076	0.0019	21.4706	0.0017
28.1233	0.0018	27.5763	0.0022	27.2062	0.0017	27.4804	0.0018	27.6345	0.0022	26.8382	0.0019
33.7480	0.0020	33.0916	0.0025	32.6474	0.0019	32.9764	0.0020	33.1614	0.0024	32.2059	0.0021
39.3727	0.0022	38.6068	0.0027	38.0887	0.0021	38.4725	0.0022	38.6882	0.0027	37.5735	0.0024
44.9973	0.0024	44.1221	0.0029	43.5299	0.0023	43.9686	0.0024	44.2151	0.0029	42.9412	0.0026
50.6220	0.0026	49.6373	0.0032	48.9711	0.0025	49.4646	0.0026	49.7420	0.0030	48.3088	0.0028
56.2467	0.0028	55.1526	0.0033	54.4124	0.0026	54.9607	0.0027	55.2689	0.0032	53.6765	0.0029
61.8713	0.0029	60.6678	0.0035	59.8536	0.0027	60.4568	0.0029	60.7958	0.0034	59.0441	0.0031
67.4960	0.0031	66.1831	0.0037	65.2948	0.0029	65.9528	0.0030	66.3227	0.0035	64.4118	0.0033
73.1207	0.0032	71.6984	0.0038	70.7361	0.0030	71.4489	0.0032	71.8496	0.0037	69.7794	0.0034
78.7453	0.0034	77.2136	0.0039	76.1773	0.0031	76.9450	0.0033	77.3765	0.0038	75.1471	0.0035
84.3700	0.0035	82.7289	0.0041	81.6185	0.0032	82.4411	0.0034	82.9034	0.0039	80.5147	0.0037
89.9947	0.0036	88.2441	0.0042	87.0598	0.0033	87.9371	0.0035	88.4303	0.0040	85.8824	0.0038
95.6194	0.0037	93.7594	0.0043	92.5010	0.0034	93.4332	0.0036	93.9572	0.0041	91.2500	0.0039
101.2440	0.0038	99.2747	0.0044	97.9423	0.0035	98.9293	0.0037	99.4841	0.0042	96.6177	0.0040
106.8687	0.0039	104.7899	0.0045	103.3835	0.0036	104.4253	0.0038	105.0110	0.0043	101.9853	0.0041
112.4934	0.0040	110.3052	0.0046	108.8247	0.0037	109.9214	0.0039	110.5379	0.0044	107.3530	0.0042
118.1180	0.0041	115.8204	0.0047	114.2660	0.0038	115.4175	0.0040	116.0647	0.0044	112.7206	0.0042
123.7427	0.0041	121.3357	0.0048	119.7072	0.0039	120.9135	0.0040	121.5916	0.0045	118.0883	0.0043
129.3674	0.0042	126.8509	0.0048	125.1484	0.0039	126.4096	0.0041	127.1185	0.0046	123.4559	0.0044
134.9920	0.0043	132.3662	0.0049	130.5897	0.0040	131.9057	0.0042	132.6454	0.0047	128.8236	0.0045
140.6167	0.0044	137.8815	0.0050	136.0309	0.0041	137.4018	0.0043	138.1723	0.0047	134.1912	0.0045
146.2414	0.0044	143.3967	0.0051	141.4721	0.0042	142.8978	0.0043	143.6992	0.0048	139.5589	0.0046
151.8660	0.0045	148.9120	0.0051	146.9134	0.0042	148.3939	0.0044	149.2261	0.0049	144.9265	0.0047
157.4907	0.0046	154.4272	0.0052	152.3546	0.0043	153.8900	0.0045	154.7530	0.0049	150.2942	0.0048
163.1154	0.0047	159.9425	0.0053	157.7959	0.0044	159.3860	0.0046	160.2799	0.0050	155.6618	0.0048
168.7400	0.0047	165.4578	0.0054	163.2371	0.0045	164.8821	0.0047	165.8068	0.0051	161.0295	0.0049
174.3647	0.0048	170.9730	0.0055	168.6783	0.0045	170.3782	0.0048	171.3337	0.0052	166.3971	0.0050
179.9894	0.0049	176.4883	0.0056	174.1196	0.0046	175.8743	0.0049	176.8606	0.0052	171.7648	0.0051
185.6140	0.0050	182.0035	0.0057	179.5608	0.0047	181.3703	0.0050	182.3875	0.0053	177.1324	0.0051
191.2387	0.0051	187.5188	0.0058	185.0020	0.0048	186.8664	0.0051	187.9143	0.0055	182.5001	0.0052
196.8634	0.0052	193.0340	0.0059	190.4433	0.0049	192.3625	0.0052	193.4412	0.0056	187.8677	0.0054
202.4880	0.0053	198.5493	0.0060	195.8845	0.0050	197.8585	0.0053	198.9681	0.0057	193.2354	0.0055
208.1127	0.0055	204.0646	0.0061	201.3257	0.0051	203.3546	0.0055	204.4950	0.0058	198.6030	0.0056
213.7374	0.0056	209.5798	0.0063	206.7670	0.0053	208.8507	0.0056	210.0219	0.0060	203.9706	0.0057
219.3620	0.0057	215.0951	0.0064	212.2082	0.0054	214.3467	0.0058	215.5488	0.0062	209.3383	0.0059
224.9867	0.0057	220.6103	0.0064	217.6495	0.0054	219.8428	0.0059	221.0757	0.0062	214.7059	0.0059
230.6114	0.0059	226.1256	0.0066	223.0907	0.0056	225.3389	0.0060	226.6026	0.0063	220.0736	0.0061
236.2360	0.0060	231.6409	0.0067	228.5319	0.0057	230.8350	0.0062	232.1295	0.0065	225.4412	0.0062
241.8607	0.0061	237.1561	0.0068	233.9732	0.0058	236.3310	0.0063	237.6564	0.0066	230.8089	0.0063
		242.6714	0.0069	239.4144	0.0058	241.8271	0.0064	240.4198	0.0067	236.1765	0.0064

**Figura 20**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua potable, 28 días)*

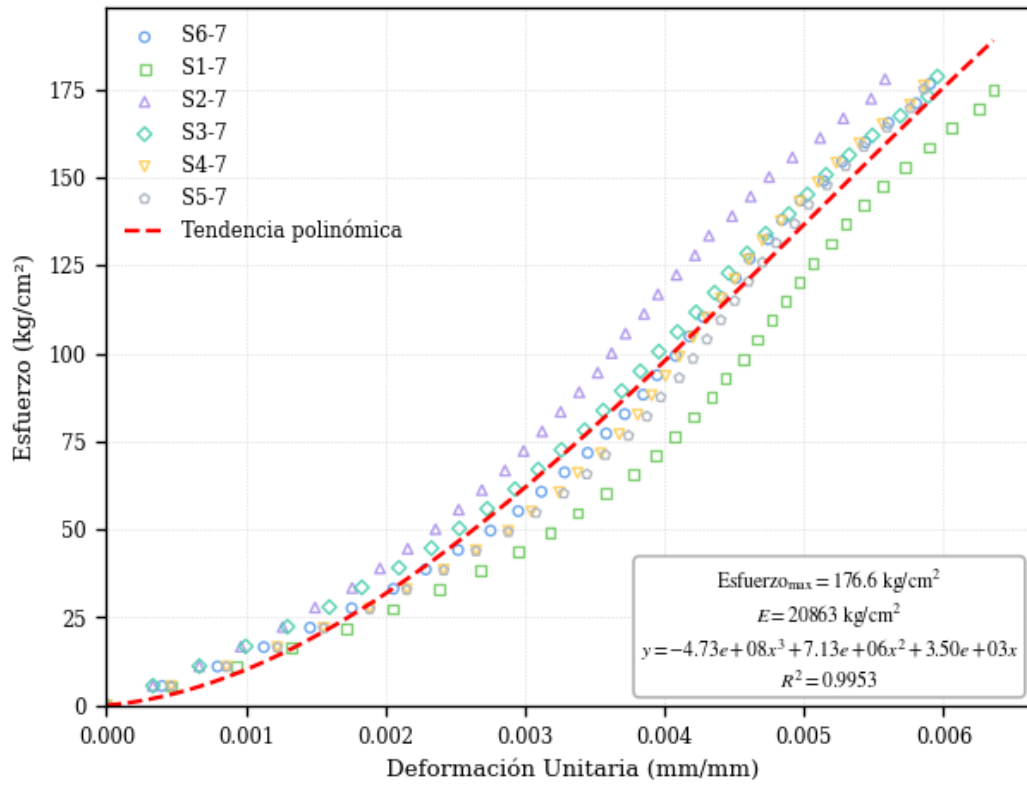


**Tabla 65***Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 7 días)*

S1-7		S2-7		S3-7		S4-7		S5-7		S6-7	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4677	0.0005	5.5605	0.0003	5.5841	0.0003	5.5055	0.0005	5.4730	0.0005	5.5178	0.0004
10.9353	0.0009	11.1211	0.0007	11.1683	0.0007	11.0109	0.0009	10.9461	0.0009	11.0356	0.0008
16.4030	0.0013	16.6816	0.0010	16.7524	0.0010	16.5164	0.0012	16.4191	0.0012	16.5534	0.0011
21.8706	0.0017	22.2422	0.0013	22.3366	0.0013	22.0219	0.0016	21.8921	0.0016	22.0712	0.0015
27.3383	0.0021	27.8027	0.0015	27.9207	0.0016	27.5274	0.0019	27.3652	0.0019	27.5890	0.0018
32.8059	0.0024	33.3633	0.0018	33.5048	0.0018	33.0328	0.0022	32.8382	0.0022	33.1068	0.0021
38.2736	0.0027	38.9238	0.0020	39.0890	0.0021	38.5383	0.0024	38.3112	0.0024	38.6246	0.0023
43.7412	0.0029	44.4844	0.0022	44.6731	0.0023	44.0438	0.0026	43.7843	0.0026	44.1424	0.0025
49.2089	0.0032	50.0449	0.0024	50.2573	0.0025	49.5492	0.0029	49.2573	0.0029	49.6602	0.0028
54.6765	0.0034	55.6055	0.0025	55.8414	0.0027	55.0547	0.0030	54.7303	0.0031	55.1780	0.0030
60.1442	0.0036	61.1660	0.0027	61.4255	0.0029	60.5602	0.0032	60.2034	0.0033	60.6958	0.0031
65.6119	0.0038	66.7266	0.0029	67.0097	0.0031	66.0657	0.0034	65.6764	0.0034	66.2136	0.0033
71.0795	0.0039	72.2871	0.0030	72.5938	0.0033	71.5711	0.0035	71.1494	0.0036	71.7314	0.0034
76.5472	0.0041	77.8476	0.0031	78.1779	0.0034	77.0766	0.0037	76.6225	0.0037	77.2492	0.0036
82.0148	0.0042	83.4082	0.0033	83.7621	0.0036	82.5821	0.0038	82.0955	0.0039	82.7670	0.0037
87.4825	0.0043	88.9687	0.0034	89.3462	0.0037	88.0875	0.0039	87.5685	0.0040	88.2848	0.0038
92.9501	0.0044	94.5293	0.0035	94.9304	0.0038	93.5930	0.0040	93.0416	0.0041	93.8026	0.0039
98.4178	0.0046	100.0898	0.0036	100.5145	0.0040	99.0985	0.0041	98.5146	0.0042	99.3204	0.0041
103.8854	0.0047	105.6504	0.0037	106.0986	0.0041	104.6039	0.0042	103.9876	0.0043	104.8382	0.0042
109.3531	0.0048	111.2109	0.0039	111.6828	0.0042	110.1094	0.0043	109.4607	0.0044	110.3560	0.0043
114.8207	0.0049	116.7715	0.0040	117.2669	0.0044	115.6149	0.0044	114.9337	0.0045	115.8738	0.0044
120.2884	0.0050	122.3320	0.0041	122.8511	0.0045	121.1204	0.0045	120.4067	0.0046	121.3916	0.0045
125.7561	0.0051	127.8926	0.0042	128.4352	0.0046	126.6258	0.0046	125.8798	0.0047	126.9094	0.0046
131.2237	0.0052	133.4531	0.0043	134.0193	0.0047	132.1313	0.0047	131.3528	0.0048	132.4272	0.0047
136.6914	0.0053	139.0137	0.0045	139.6035	0.0049	137.6368	0.0048	136.8258	0.0049	137.9450	0.0048
142.1590	0.0054	144.5742	0.0046	145.1876	0.0050	143.1422	0.0050	142.2989	0.0050	143.4628	0.0050
147.6267	0.0056	150.1347	0.0048	150.7718	0.0052	148.6477	0.0051	147.7719	0.0052	148.9806	0.0051
153.0943	0.0057	155.6953	0.0049	156.3559	0.0053	154.1532	0.0052	153.2449	0.0053	154.4984	0.0053
158.5620	0.0059	161.2558	0.0051	161.9400	0.0055	159.6587	0.0054	158.7180	0.0054	160.0162	0.0054
164.0296	0.0061	166.8164	0.0053	167.5242	0.0057	165.1641	0.0056	164.1910	0.0056	165.5340	0.0056
169.4973	0.0063	172.3769	0.0055	173.1083	0.0059	170.6696	0.0058	169.6640	0.0058	171.0518	0.0058
174.9649	0.0064	177.9375	0.0056	178.6925	0.0060	176.1751	0.0059	175.1371	0.0059	176.5696	0.0059

**Figura 21**

*Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 7 días)*

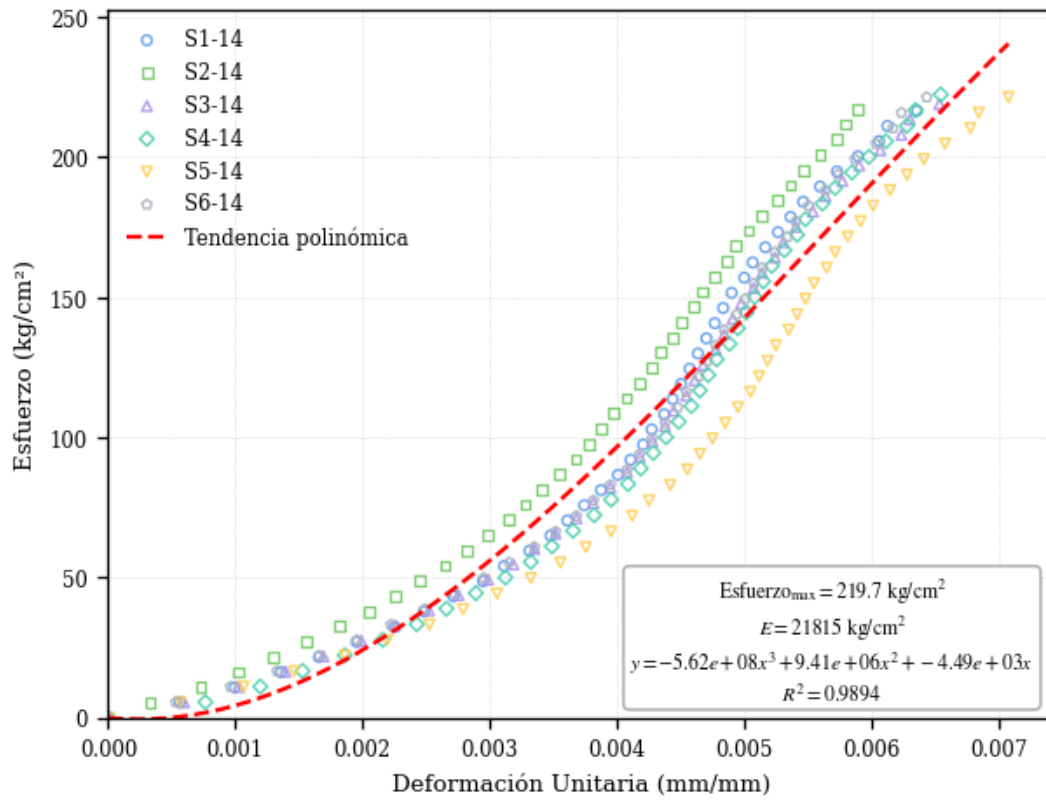


**Tabla 66***Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 14 días)*

S1-14		S2-14		S3-14		S4-14		S5-14		S6-14	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4157	0.0006	5.4306	0.0003	5.4748	0.0006	5.5605	0.0008	5.5371	0.0006	5.5364	0.0005
10.8314	0.0010	10.8612	0.0007	10.9497	0.0010	11.1211	0.0012	11.0742	0.0011	11.0727	0.0010
16.2471	0.0014	16.2917	0.0010	16.4245	0.0014	16.6816	0.0015	16.6113	0.0015	16.6091	0.0013
21.6629	0.0017	21.7223	0.0013	21.8993	0.0017	22.2422	0.0019	22.1484	0.0019	22.1455	0.0017
27.0786	0.0020	27.1529	0.0016	27.3741	0.0020	27.8027	0.0022	27.6855	0.0022	27.6819	0.0020
32.4943	0.0023	32.5835	0.0018	32.8490	0.0023	33.3633	0.0024	33.2226	0.0025	33.2182	0.0022
37.9100	0.0025	38.0141	0.0021	38.3238	0.0025	38.9238	0.0027	38.7597	0.0028	38.7546	0.0025
43.3257	0.0027	43.4446	0.0023	43.7986	0.0028	44.4844	0.0029	44.2968	0.0031	44.2910	0.0027
48.7414	0.0029	48.8752	0.0025	49.2734	0.0030	50.0449	0.0031	49.8339	0.0033	49.8274	0.0030
54.1572	0.0031	54.3058	0.0026	54.7483	0.0032	55.6055	0.0033	55.3710	0.0036	55.3637	0.0032
59.5729	0.0033	59.7364	0.0028	60.2231	0.0034	61.1660	0.0035	60.9081	0.0038	60.9001	0.0034
64.9886	0.0035	65.1670	0.0030	65.6979	0.0035	66.7266	0.0037	66.4452	0.0040	66.4365	0.0035
70.4043	0.0036	70.5976	0.0031	71.1728	0.0037	72.2871	0.0038	71.9823	0.0041	71.9728	0.0037
75.8200	0.0037	76.0281	0.0033	76.6476	0.0038	77.8476	0.0040	77.5194	0.0043	77.5092	0.0038
81.2357	0.0039	81.4587	0.0034	82.1224	0.0039	83.4082	0.0041	83.0565	0.0044	83.0456	0.0039
86.6514	0.0040	86.8893	0.0035	87.5972	0.0041	88.9687	0.0042	88.5936	0.0046	88.5820	0.0041
92.0672	0.0041	92.3199	0.0037	93.0721	0.0042	94.5293	0.0043	94.1307	0.0047	94.1183	0.0042
97.4829	0.0042	97.7505	0.0038	98.5469	0.0043	100.0898	0.0044	99.6678	0.0048	99.6547	0.0043
102.8986	0.0043	103.1810	0.0039	104.0217	0.0044	105.6504	0.0045	105.2049	0.0049	105.1911	0.0044
108.3143	0.0044	108.6116	0.0040	109.4965	0.0044	111.2109	0.0046	110.7421	0.0050	110.7274	0.0045
113.7300	0.0044	114.0422	0.0041	114.9714	0.0045	116.7715	0.0047	116.2792	0.0051	116.2638	0.0045
119.1457	0.0045	119.4728	0.0042	120.4462	0.0046	122.3320	0.0047	121.8163	0.0051	121.8002	0.0046
124.5615	0.0046	124.9034	0.0043	125.9210	0.0047	127.8926	0.0048	127.3534	0.0052	127.3366	0.0047
129.9772	0.0046	130.3339	0.0043	131.3959	0.0048	133.4531	0.0049	132.8905	0.0052	132.8729	0.0048
135.3929	0.0047	135.7645	0.0044	136.8707	0.0048	139.0137	0.0050	138.4276	0.0053	138.4093	0.0048
140.8086	0.0048	141.1951	0.0045	142.3455	0.0049	144.5742	0.0050	143.9647	0.0054	143.9457	0.0049
146.2243	0.0048	146.6257	0.0046	147.8203	0.0050	150.1347	0.0051	149.5018	0.0055	149.4821	0.0050
151.6400	0.0049	152.0563	0.0047	153.2952	0.0051	155.6953	0.0052	155.0389	0.0055	155.0184	0.0051
157.0558	0.0050	157.4868	0.0048	158.7700	0.0051	161.2558	0.0052	160.5760	0.0056	160.5548	0.0051
162.4715	0.0051	162.9174	0.0049	164.2448	0.0052	166.8164	0.0053	166.1131	0.0057	166.0912	0.0052
167.8872	0.0052	168.3480	0.0049	169.7196	0.0053	172.3769	0.0054	171.6502	0.0058	171.6275	0.0053
173.3029	0.0053	173.7786	0.0050	175.1945	0.0054	177.9375	0.0055	177.1873	0.0059	177.1639	0.0054
178.7186	0.0054	179.2092	0.0051	180.6693	0.0055	183.4980	0.0056	182.7244	0.0060	182.7003	0.0055
184.1343	0.0055	184.6397	0.0053	186.1441	0.0056	189.0586	0.0057	188.2615	0.0061	188.2367	0.0056
189.5500	0.0056	190.0703	0.0054	191.6190	0.0058	194.6191	0.0058	193.7986	0.0063	193.7730	0.0057
194.9658	0.0057	195.5009	0.0055	197.0938	0.0059	200.1797	0.0060	199.3357	0.0064	199.3094	0.0059
200.3815	0.0059	200.9315	0.0056	202.5686	0.0061	205.7402	0.0061	204.8728	0.0066	204.8458	0.0060
205.7972	0.0061	206.3621	0.0057	208.0434	0.0062	211.3008	0.0063	210.4099	0.0068	210.3821	0.0062
211.2129	0.0061	211.7927	0.0058	213.5183	0.0063	216.8613	0.0063	215.9470	0.0068	215.9185	0.0062
216.6286	0.0064	217.2232	0.0059	218.9931	0.0065	222.4218	0.0065	221.4841	0.0071	221.4549	0.0064

**Figura 22**

*Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 14 días)*

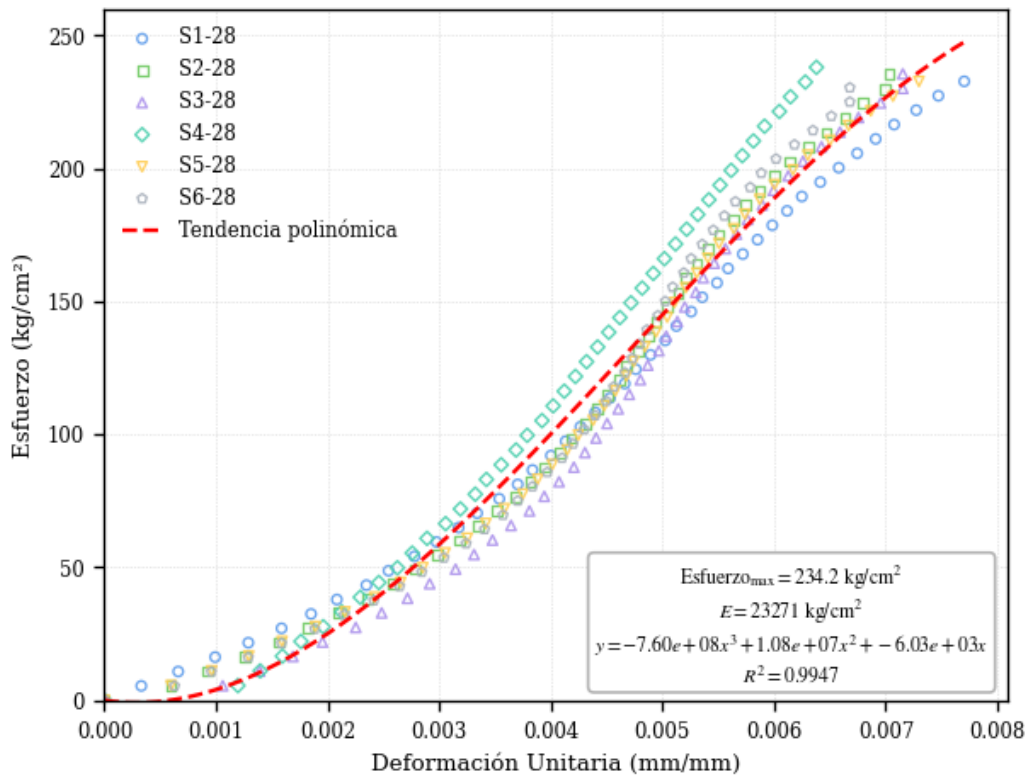


**Tabla 67***Deformación unitaria (25 % de Agua Residual Tratada, 28 días)*

S1-28		S2-28		S3-28		S4-28		S5-28		S6-28	
Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4136	0.0003	5.4759	0.0006	5.4795	0.0011	5.5364	0.0012	5.5415	0.0006	5.3583	0.0006
10.8272	0.0007	10.9518	0.0009	10.9590	0.0014	11.0727	0.0014	11.0830	0.0010	10.7165	0.0010
16.2408	0.0010	16.4277	0.0013	16.4385	0.0017	16.6091	0.0016	16.6245	0.0013	16.0748	0.0013
21.6544	0.0013	21.9036	0.0016	21.9180	0.0020	22.1455	0.0018	22.1659	0.0016	21.4330	0.0016
27.0680	0.0016	27.3795	0.0018	27.3975	0.0023	27.6819	0.0020	27.7074	0.0019	26.7913	0.0019
32.4816	0.0019	32.8554	0.0021	32.8770	0.0025	33.2182	0.0021	33.2489	0.0022	32.1495	0.0021
37.8952	0.0021	38.3313	0.0024	38.3565	0.0027	38.7546	0.0023	38.7904	0.0024	37.5078	0.0024
43.3088	0.0023	43.8072	0.0026	43.8360	0.0029	44.2910	0.0025	44.3319	0.0027	42.8660	0.0026
48.7224	0.0025	49.2831	0.0028	49.3155	0.0031	49.8274	0.0026	49.8734	0.0029	48.2243	0.0028
54.1360	0.0028	54.7590	0.0030	54.7950	0.0033	55.3637	0.0028	55.4149	0.0031	53.5825	0.0030
59.5496	0.0030	60.2350	0.0032	60.2745	0.0035	60.9001	0.0029	60.9564	0.0033	58.9408	0.0032
64.9632	0.0032	65.7109	0.0034	65.7540	0.0036	66.4365	0.0031	66.4978	0.0034	64.2990	0.0034
70.3768	0.0033	71.1868	0.0035	71.2335	0.0038	71.9728	0.0032	72.0393	0.0036	69.6573	0.0036
75.7904	0.0035	76.6627	0.0037	76.7130	0.0039	77.5092	0.0033	77.5808	0.0037	75.0155	0.0037
81.2040	0.0037	82.1386	0.0038	82.1925	0.0041	83.0456	0.0034	83.1223	0.0039	80.3738	0.0038
86.6176	0.0038	87.6145	0.0039	87.6720	0.0042	88.5820	0.0036	88.6638	0.0040	85.7320	0.0040
92.0311	0.0040	93.0904	0.0041	93.1515	0.0043	94.1183	0.0037	94.2053	0.0041	91.0903	0.0041
97.4447	0.0041	98.5663	0.0042	98.6310	0.0044	99.6547	0.0038	99.7468	0.0042	96.4485	0.0042
102.8583	0.0043	104.0422	0.0043	104.1105	0.0045	105.1911	0.0039	105.2883	0.0044	101.8068	0.0043
108.2719	0.0044	109.5181	0.0044	109.5899	0.0046	110.7274	0.0040	110.8297	0.0045	107.1650	0.0044
113.6855	0.0045	114.9940	0.0045	115.0694	0.0047	116.2638	0.0041	116.3712	0.0046	112.5233	0.0045
119.0991	0.0047	120.4699	0.0046	120.5489	0.0048	121.8002	0.0042	121.9127	0.0047	117.8815	0.0046
124.5127	0.0048	125.9458	0.0047	126.0284	0.0049	127.3366	0.0043	127.4542	0.0047	123.2398	0.0047
129.9263	0.0049	131.4217	0.0048	131.5079	0.0050	132.8729	0.0044	132.9957	0.0048	128.5980	0.0047
135.3399	0.0050	136.8976	0.0049	136.9874	0.0050	138.4093	0.0045	138.5372	0.0049	133.9563	0.0048
140.7535	0.0051	142.3735	0.0049	142.4669	0.0051	143.9457	0.0046	144.0787	0.0050	139.3145	0.0049
146.1671	0.0053	147.8494	0.0050	147.9464	0.0052	149.4821	0.0047	149.6201	0.0051	144.6728	0.0050
151.5807	0.0054	153.3253	0.0051	153.4259	0.0053	155.0184	0.0048	155.1616	0.0052	150.0310	0.0050
156.9943	0.0055	158.8012	0.0052	158.9054	0.0054	160.5548	0.0049	160.7031	0.0053	155.3893	0.0051
162.4079	0.0056	164.2771	0.0053	164.3849	0.0055	166.0912	0.0050	166.2446	0.0054	160.7475	0.0052
167.8215	0.0057	169.7530	0.0054	169.8644	0.0056	171.6275	0.0051	171.7861	0.0055	166.1058	0.0053
173.2351	0.0059	175.2289	0.0055	175.3439	0.0057	177.1639	0.0052	177.3276	0.0056	171.4640	0.0054
178.6487	0.0060	180.7049	0.0056	180.8234	0.0058	182.7003	0.0053	182.8691	0.0057	176.8223	0.0055
184.0623	0.0061	186.1808	0.0057	186.3029	0.0059	188.2367	0.0054	188.4106	0.0059	182.1805	0.0056
189.4759	0.0062	191.6567	0.0059	191.7824	0.0060	193.7730	0.0055	193.9520	0.0060	187.5388	0.0057
194.8895	0.0064	197.1326	0.0060	197.2619	0.0061	199.3094	0.0056	199.4935	0.0062	192.8970	0.0058
200.3031	0.0066	202.6085	0.0061	202.7414	0.0063	204.8458	0.0057	205.0350	0.0063	198.2553	0.0059
205.7167	0.0067	208.0844	0.0063	208.2209	0.0064	210.3821	0.0058	210.5765	0.0065	203.6135	0.0060
211.1303	0.0069	213.5603	0.0065	213.7004	0.0066	215.9185	0.0059	216.1180	0.0067	208.9718	0.0062
216.5439	0.0071	219.0362	0.0066	219.1799	0.0068	221.4549	0.0060	221.6595	0.0069	214.3300	0.0063
221.9575	0.0073	224.5121	0.0068	224.6594	0.0070	226.9913	0.0061	227.2010	0.0071	219.6883	0.0065
227.3711	0.0075	229.9880	0.0070	230.1389	0.0072	232.5276	0.0063	232.7425	0.0073	225.0465	0.0067
232.7847	0.0077	235.4639	0.0070	235.6184	0.0072	238.0640	0.0064	235.5132	0.0073	230.4048	0.0067

**Figura 23**

*Curva esfuerzo – deformación (25% de agua residual tratada, 28 días)*

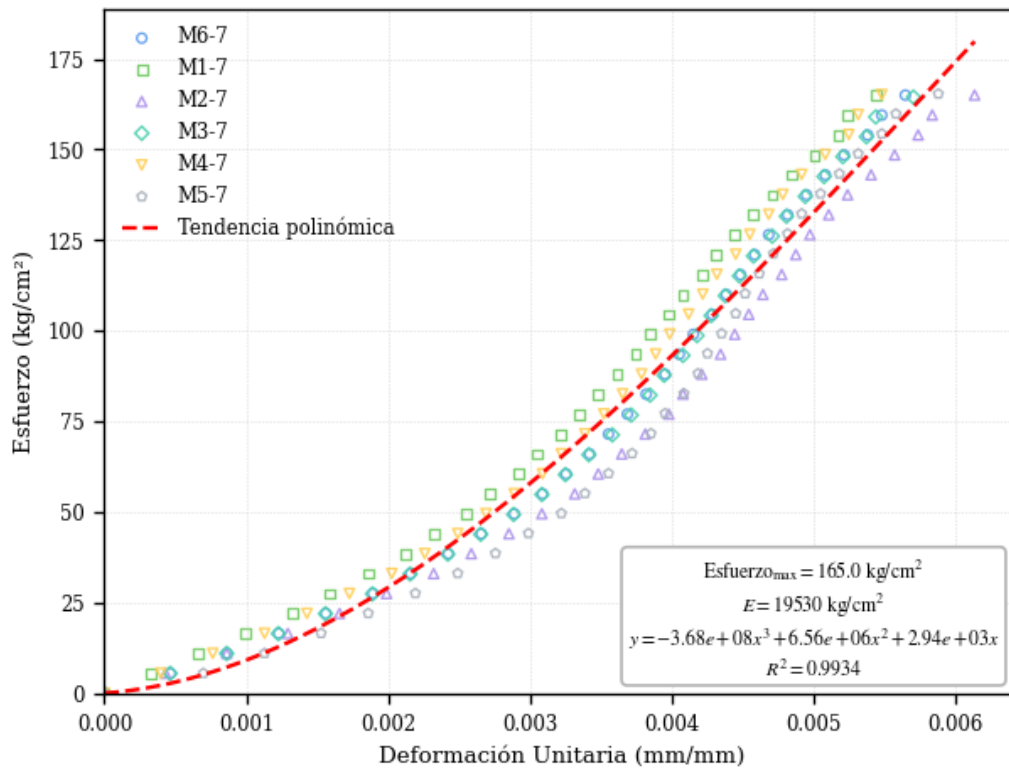


**Tabla 68***Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 7 días)*

M1-7		M2-7		M3-7		M4-7		M5-7		M6-7	
Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4997	0.0003	5.5015	0.0004	5.4835	0.0005	5.5062	0.0004	5.5131	0.0007	5.5008	0.0005
10.9994	0.0007	11.0030	0.0009	10.9669	0.0009	11.0124	0.0008	11.0262	0.0011	11.0015	0.0009
16.4990	0.0010	16.5045	0.0013	16.4504	0.0012	16.5186	0.0011	16.5392	0.0015	16.5023	0.0012
21.9987	0.0013	22.0060	0.0017	21.9338	0.0016	22.0248	0.0014	22.0523	0.0019	22.0031	0.0016
27.4984	0.0016	27.5075	0.0020	27.4173	0.0019	27.5310	0.0017	27.5654	0.0022	27.5038	0.0019
32.9981	0.0019	33.0089	0.0023	32.9007	0.0022	33.0372	0.0020	33.0785	0.0025	33.0046	0.0022
38.4978	0.0021	38.5104	0.0026	38.3842	0.0024	38.5434	0.0023	38.5916	0.0028	38.5054	0.0024
43.9975	0.0023	44.0119	0.0029	43.8676	0.0027	44.0496	0.0025	44.1047	0.0030	44.0061	0.0027
49.4971	0.0026	49.5134	0.0031	49.3511	0.0029	49.5558	0.0027	49.6177	0.0032	49.5069	0.0029
54.9968	0.0027	55.0149	0.0033	54.8345	0.0031	55.0620	0.0029	55.1308	0.0034	55.0077	0.0031
60.4965	0.0029	60.5164	0.0035	60.3180	0.0033	60.5681	0.0031	60.6439	0.0036	60.5084	0.0033
65.9962	0.0031	66.0179	0.0036	65.8014	0.0034	66.0743	0.0032	66.1570	0.0037	66.0092	0.0034
71.4959	0.0032	71.5194	0.0038	71.2849	0.0036	71.5805	0.0034	71.6701	0.0039	71.5100	0.0036
76.9956	0.0034	77.0209	0.0040	76.7684	0.0037	77.0867	0.0035	77.1831	0.0040	77.0107	0.0037
82.4952	0.0035	82.5224	0.0041	82.2518	0.0038	82.5929	0.0037	82.6962	0.0041	82.5115	0.0038
87.9949	0.0036	88.0239	0.0042	87.7353	0.0039	88.0991	0.0038	88.2093	0.0042	88.0123	0.0040
93.4946	0.0037	93.5253	0.0043	93.2187	0.0041	93.6053	0.0039	93.7224	0.0043	93.5130	0.0041
98.9943	0.0038	99.0268	0.0044	98.7022	0.0042	99.1115	0.0040	99.2355	0.0044	99.0138	0.0042
104.4940	0.0040	104.5283	0.0045	104.1856	0.0043	104.6177	0.0041	104.7485	0.0045	104.5146	0.0043
109.9937	0.0041	110.0298	0.0046	109.6691	0.0044	110.1239	0.0042	110.2616	0.0045	110.0154	0.0044
115.4933	0.0042	115.5313	0.0048	115.1525	0.0045	115.6301	0.0043	115.7747	0.0046	115.5161	0.0045
120.9930	0.0043	121.0328	0.0049	120.6360	0.0046	121.1363	0.0045	121.2878	0.0047	121.0169	0.0046
126.4927	0.0044	126.5343	0.0050	126.1194	0.0047	126.6425	0.0046	126.8009	0.0048	126.5177	0.0047
131.9924	0.0046	132.0358	0.0051	131.6029	0.0048	132.1487	0.0047	132.3140	0.0049	132.0184	0.0048
137.4921	0.0047	137.5373	0.0052	137.0863	0.0049	137.6549	0.0048	137.8270	0.0051	137.5192	0.0050
142.9918	0.0048	143.0388	0.0054	142.5698	0.0051	143.1611	0.0049	143.3401	0.0052	143.0200	0.0051
148.4914	0.0050	148.5403	0.0056	148.0533	0.0052	148.6673	0.0051	148.8532	0.0053	148.5207	0.0052
153.9911	0.0052	154.0417	0.0057	153.5367	0.0054	154.1735	0.0052	154.3663	0.0055	154.0215	0.0054
159.4908	0.0052	159.5432	0.0058	159.0202	0.0054	159.6797	0.0053	159.8794	0.0056	159.5223	0.0055
164.9905	0.0054	165.0447	0.0061	164.5036	0.0057	165.1858	0.0055	165.3924	0.0059	165.0230	0.0056

**Figura 24**

*Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 7 días)*

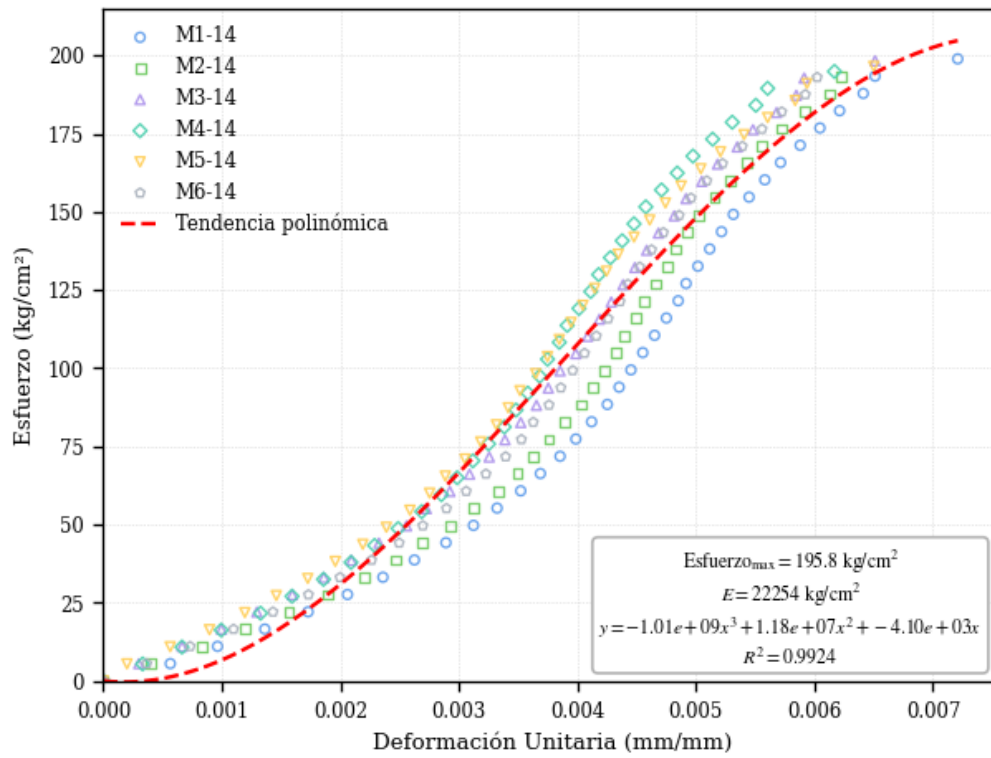


**Tabla 69***Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 14 días)*

M1-14		M2-14		M3-14		M4-14		M5-14		M6-14	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.5262	0.0006	5.5211	0.0004	5.5087	0.0003	5.4147	0.0003	5.4594	0.0002	5.5156	0.0004
11.0523	0.0010	11.0421	0.0008	11.0175	0.0007	10.8293	0.0007	10.9188	0.0006	11.0312	0.0007
16.5785	0.0014	16.5632	0.0012	16.5262	0.0010	16.2440	0.0010	16.3783	0.0009	16.5469	0.0011
22.1047	0.0017	22.0843	0.0016	22.0349	0.0013	21.6586	0.0013	21.8377	0.0012	22.0625	0.0014
27.6308	0.0021	27.6054	0.0019	27.5437	0.0016	27.0733	0.0016	27.2971	0.0015	27.5781	0.0017
33.1570	0.0024	33.1264	0.0022	33.0524	0.0019	32.4879	0.0019	32.7565	0.0017	33.0937	0.0020
38.6832	0.0026	38.6475	0.0025	38.5611	0.0021	37.9026	0.0021	38.2160	0.0020	38.6094	0.0023
44.2093	0.0029	44.1686	0.0027	44.0698	0.0023	43.3172	0.0023	43.6754	0.0022	44.1250	0.0025
49.7355	0.0031	49.6896	0.0029	49.5786	0.0026	48.7319	0.0025	49.1348	0.0024	49.6406	0.0027
55.2616	0.0033	55.2107	0.0031	55.0873	0.0027	54.1466	0.0027	54.5942	0.0026	55.1562	0.0029
60.7878	0.0035	60.7318	0.0033	60.5960	0.0029	59.5612	0.0029	60.0537	0.0028	60.6718	0.0031
66.3140	0.0037	66.2529	0.0035	66.1048	0.0031	64.9759	0.0030	65.5131	0.0029	66.1875	0.0032
71.8401	0.0039	71.7739	0.0036	71.6135	0.0033	70.3905	0.0031	70.9725	0.0031	71.7031	0.0034
77.3663	0.0040	77.2950	0.0038	77.1222	0.0034	75.8052	0.0033	76.4319	0.0032	77.2187	0.0035
82.8925	0.0041	82.8161	0.0039	82.6310	0.0035	81.2198	0.0034	81.8913	0.0033	82.7343	0.0036
88.4186	0.0043	88.3371	0.0040	88.1397	0.0037	86.6345	0.0035	87.3508	0.0034	88.2499	0.0038
93.9448	0.0044	93.8582	0.0041	93.6484	0.0038	92.0492	0.0036	92.8102	0.0035	93.7656	0.0039
99.4710	0.0045	99.3793	0.0042	99.1571	0.0039	97.4638	0.0037	98.2696	0.0036	99.2812	0.0040
104.9971	0.0046	104.9003	0.0043	104.6659	0.0040	102.8785	0.0037	103.7290	0.0037	104.7968	0.0041
110.5233	0.0047	110.4214	0.0044	110.1746	0.0041	108.2931	0.0038	109.1885	0.0038	110.3124	0.0042
116.0495	0.0048	115.9425	0.0045	115.6833	0.0042	113.7078	0.0039	114.6479	0.0039	115.8281	0.0043
121.5756	0.0049	121.4636	0.0046	121.1921	0.0043	119.1224	0.0040	120.1073	0.0040	121.3437	0.0044
127.1018	0.0049	126.9846	0.0047	126.7008	0.0044	124.5371	0.0041	125.5667	0.0041	126.8593	0.0044
132.6279	0.0050	132.5057	0.0048	132.2095	0.0045	129.9517	0.0042	131.0261	0.0042	132.3749	0.0045
138.1541	0.0051	138.0268	0.0048	137.7183	0.0046	135.3664	0.0043	136.4856	0.0043	137.8905	0.0046
143.6803	0.0052	143.5478	0.0049	143.2270	0.0047	140.7811	0.0044	141.9450	0.0045	143.4062	0.0047
149.2064	0.0053	149.0689	0.0050	148.7357	0.0048	146.1957	0.0045	147.4044	0.0046	148.9218	0.0049
154.7326	0.0054	154.5900	0.0052	154.2445	0.0049	151.6104	0.0046	152.8638	0.0047	154.4374	0.0050
160.2588	0.0056	160.1111	0.0053	159.7532	0.0051	157.0250	0.0047	158.3233	0.0049	159.9530	0.0051
165.7849	0.0057	165.6321	0.0054	165.2619	0.0052	162.4397	0.0048	163.7827	0.0050	165.4686	0.0052
171.3111	0.0059	171.1532	0.0056	170.7706	0.0053	167.8543	0.0050	169.2421	0.0052	170.9843	0.0054
176.8373	0.0060	176.6743	0.0057	176.2794	0.0055	173.2690	0.0051	174.7015	0.0054	176.4999	0.0056
182.3634	0.0062	182.1953	0.0059	181.7881	0.0057	178.6837	0.0053	180.1610	0.0056	182.0155	0.0057
187.8896	0.0064	187.7164	0.0061	187.2968	0.0058	184.0983	0.0055	185.6204	0.0058	187.5311	0.0059
193.4158	0.0065	193.2375	0.0062	192.8056	0.0059	189.5130	0.0056	191.0798	0.0059	193.0468	0.0060
198.9419	0.0072	195.9980	0.0068	198.3143	0.0065	194.9276	0.0062	196.5392	0.0065	195.8046	0.0066

**Figura 25**

*Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 14 días)*

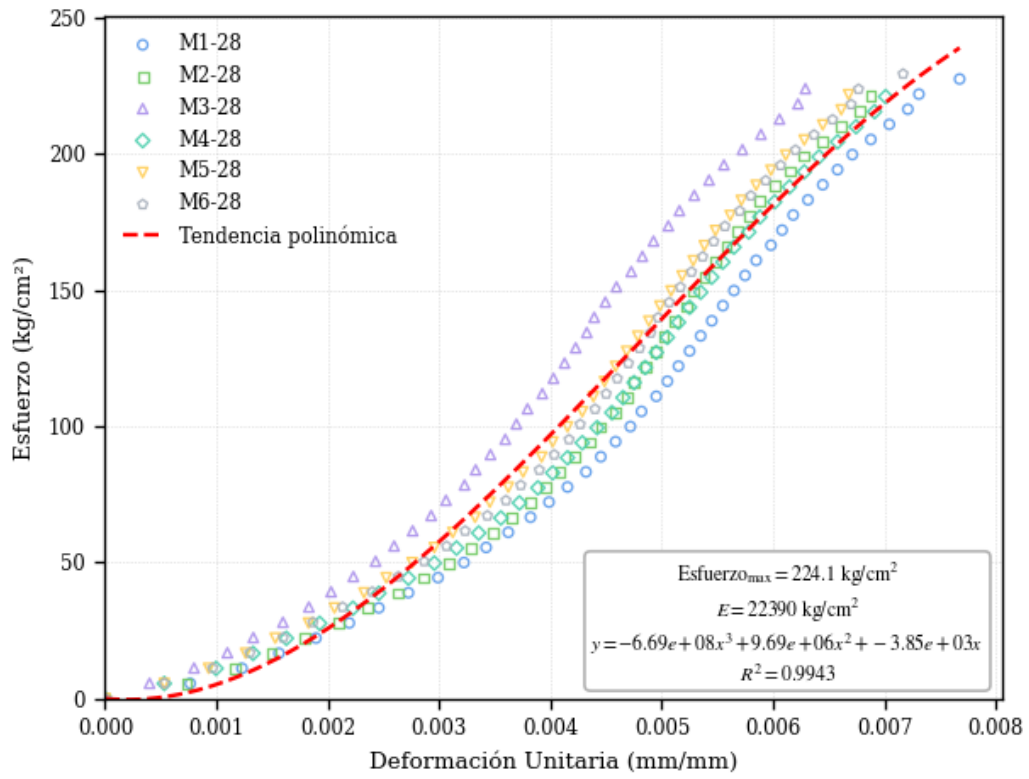


**Tabla 70***Deformación unitaria (50 % de Agua Residual Tratada, 28 días)*

M1-28		M2-28		M3-28		M4-28		M5-28		M6-28	
Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.5481	0.0008	5.5338	0.0007	5.5986	0.0004	5.5251	0.0005	5.5426	0.0005	5.5938	0.0005
11.0961	0.0012	11.0676	0.0012	11.1972	0.0008	11.0501	0.0010	11.0852	0.0009	11.1875	0.0010
16.6442	0.0016	16.6015	0.0015	16.7958	0.0011	16.5752	0.0013	16.6278	0.0013	16.7813	0.0013
22.1923	0.0019	22.1353	0.0018	22.3944	0.0013	22.1003	0.0016	22.1703	0.0015	22.3751	0.0016
27.7404	0.0022	27.6691	0.0021	27.9929	0.0016	27.6254	0.0019	27.7129	0.0018	27.9688	0.0019
33.2884	0.0025	33.2029	0.0024	33.5915	0.0018	33.1504	0.0022	33.2555	0.0021	33.5626	0.0021
38.8365	0.0027	38.7367	0.0026	39.1901	0.0020	38.6755	0.0025	38.7981	0.0023	39.1564	0.0024
44.3846	0.0030	44.2705	0.0029	44.7887	0.0022	44.2006	0.0027	44.3407	0.0025	44.7501	0.0026
49.9327	0.0032	49.8044	0.0031	50.3873	0.0024	49.7257	0.0030	49.8833	0.0028	50.3439	0.0029
55.4807	0.0034	55.3382	0.0033	55.9859	0.0026	55.2507	0.0032	55.4258	0.0030	55.9377	0.0031
61.0288	0.0036	60.8720	0.0035	61.5845	0.0028	60.7758	0.0034	60.9684	0.0031	61.5314	0.0032
66.5769	0.0038	66.4058	0.0037	67.1831	0.0029	66.3009	0.0036	66.5110	0.0033	67.1252	0.0034
72.1250	0.0040	71.9396	0.0038	72.7817	0.0031	71.8259	0.0037	72.0536	0.0035	72.7190	0.0036
77.6730	0.0042	77.4734	0.0040	78.3803	0.0032	77.3510	0.0039	77.5962	0.0036	78.3127	0.0037
83.2211	0.0043	83.0073	0.0041	83.9788	0.0033	82.8761	0.0040	83.1388	0.0038	83.9065	0.0039
88.7692	0.0045	88.5411	0.0042	89.5774	0.0035	88.4012	0.0042	88.6813	0.0039	89.5003	0.0040
94.3172	0.0046	94.0749	0.0044	95.1760	0.0036	93.9262	0.0043	94.2239	0.0040	95.0940	0.0042
99.8653	0.0047	99.6087	0.0045	100.7746	0.0037	99.4513	0.0044	99.7665	0.0042	100.6878	0.0043
105.4134	0.0048	105.1425	0.0046	106.3732	0.0038	104.9764	0.0046	105.3091	0.0043	106.2816	0.0044
110.9615	0.0050	110.6764	0.0047	111.9718	0.0039	110.5014	0.0047	110.8517	0.0044	111.8753	0.0045
116.5095	0.0051	116.2102	0.0048	117.5704	0.0040	116.0265	0.0048	116.3943	0.0045	117.4691	0.0046
122.0576	0.0052	121.7440	0.0049	123.1690	0.0041	121.5516	0.0049	121.9368	0.0046	123.0629	0.0047
127.6057	0.0052	127.2778	0.0050	128.7676	0.0042	127.0767	0.0050	127.4794	0.0047	128.6566	0.0048
133.1538	0.0053	132.8116	0.0050	134.3662	0.0043	132.6017	0.0051	133.0220	0.0048	134.2504	0.0049
138.7018	0.0054	138.3454	0.0051	139.9647	0.0044	138.1268	0.0052	138.5646	0.0049	139.8442	0.0050
144.2499	0.0055	143.8793	0.0052	145.5633	0.0045	143.6519	0.0052	144.1072	0.0050	145.4379	0.0051
149.7980	0.0056	149.4131	0.0053	151.1619	0.0046	149.1770	0.0053	149.6498	0.0051	151.0317	0.0052
155.3461	0.0057	154.9469	0.0054	156.7605	0.0047	154.7020	0.0054	155.1923	0.0052	156.6255	0.0053
160.8941	0.0058	160.4807	0.0055	162.3591	0.0048	160.2271	0.0055	160.7349	0.0053	162.2192	0.0054
166.4422	0.0060	166.0145	0.0056	167.9577	0.0049	165.7522	0.0056	166.2775	0.0054	167.8130	0.0055
171.9903	0.0061	171.5483	0.0057	173.5563	0.0051	171.2772	0.0058	171.8201	0.0055	173.4068	0.0056
177.5383	0.0062	177.0822	0.0058	179.1549	0.0052	176.8023	0.0059	177.3627	0.0056	179.0005	0.0057
183.0864	0.0063	182.6160	0.0059	184.7535	0.0053	182.3274	0.0060	182.9053	0.0057	184.5943	0.0058
188.6345	0.0064	188.1498	0.0060	190.3520	0.0054	187.8525	0.0061	188.4479	0.0058	190.1881	0.0059
194.1826	0.0066	193.6836	0.0061	195.9506	0.0056	193.3775	0.0063	193.9904	0.0060	195.7818	0.0061
199.7306	0.0067	199.2174	0.0063	201.5492	0.0057	198.9026	0.0064	199.5330	0.0061	201.3756	0.0062
205.2787	0.0069	204.7513	0.0064	207.1478	0.0059	204.4277	0.0066	205.0756	0.0063	206.9694	0.0064
210.8268	0.0070	210.2851	0.0066	212.7464	0.0061	209.9527	0.0067	210.6182	0.0064	212.5631	0.0065
216.3749	0.0072	215.8189	0.0068	218.3450	0.0062	215.4778	0.0069	216.1608	0.0066	218.1569	0.0067
221.9229	0.0073	221.3527	0.0069	223.9436	0.0063	221.0029	0.0070	221.7034	0.0067	223.7507	0.0068
227.4710	0.0077							224.4746	0.0070	229.3444	0.0072

**Figura 26**

*Curva esfuerzo – deformación (50% de agua residual tratada, 28 días)*

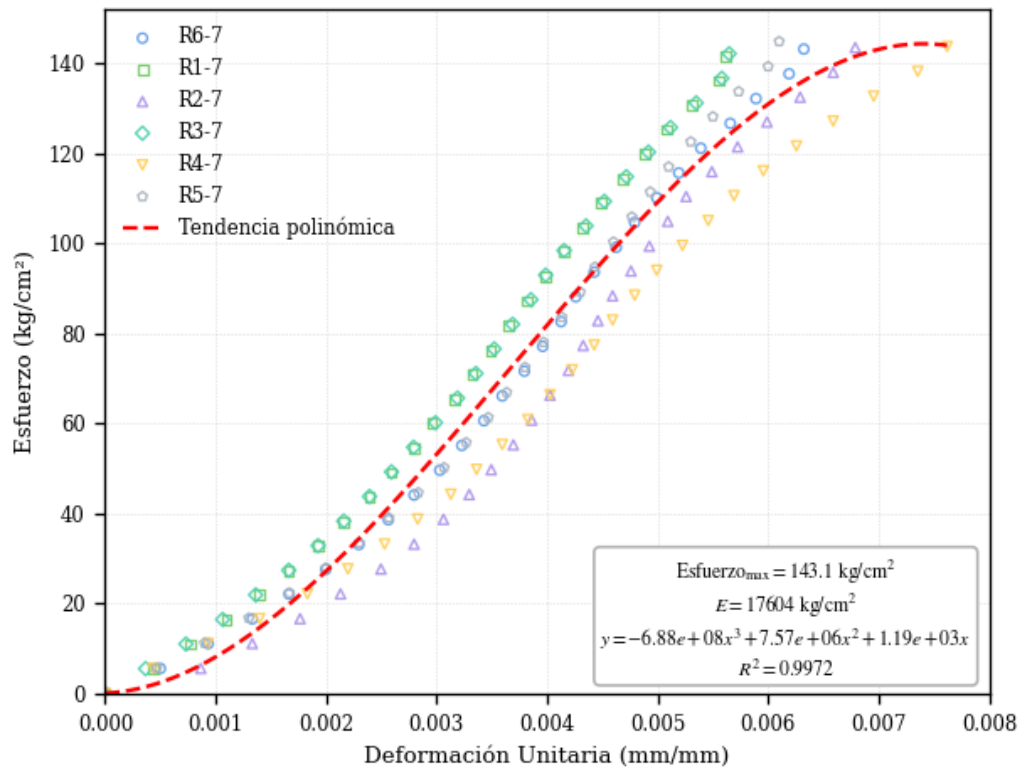


**Tabla 71***Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 7 días)*

R1-7		R2-7		R3-7		R4-7		R5-7		R6-7	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4448	0.0004	5.5171	0.0009	5.4644	0.0004	5.5265	0.0004	5.5690	0.0005	5.5040	0.0005
10.8896	0.0008	11.0341	0.0013	10.9289	0.0007	11.0531	0.0009	11.1380	0.0009	11.0080	0.0009
16.3344	0.0011	16.5512	0.0018	16.3933	0.0011	16.5796	0.0014	16.7070	0.0013	16.5121	0.0013
21.7792	0.0014	22.0683	0.0021	21.8577	0.0014	22.1061	0.0018	22.2760	0.0017	22.0161	0.0017
27.2240	0.0017	27.5854	0.0025	27.3222	0.0017	27.6326	0.0022	27.8450	0.0020	27.5201	0.0020
32.6688	0.0019	33.1024	0.0028	32.7866	0.0019	33.1592	0.0025	33.4140	0.0023	33.0241	0.0023
38.1136	0.0022	38.6195	0.0031	38.2510	0.0022	38.6857	0.0028	38.9831	0.0026	38.5282	0.0026
43.5584	0.0024	44.1366	0.0033	43.7154	0.0024	44.2122	0.0031	44.5521	0.0028	44.0322	0.0028
49.0032	0.0026	49.6537	0.0035	49.1799	0.0026	49.7388	0.0034	50.1211	0.0031	49.5362	0.0030
54.4480	0.0028	55.1707	0.0037	54.6443	0.0028	55.2653	0.0036	55.6901	0.0033	55.0402	0.0032
59.8927	0.0030	60.6878	0.0039	60.1087	0.0030	60.7918	0.0038	61.2591	0.0035	60.5443	0.0034
65.3375	0.0032	66.2049	0.0040	65.5732	0.0032	66.3183	0.0040	66.8281	0.0036	66.0483	0.0036
70.7823	0.0033	71.7220	0.0042	71.0376	0.0034	71.8449	0.0042	72.3971	0.0038	71.5523	0.0038
76.2271	0.0035	77.2390	0.0043	76.5020	0.0035	77.3714	0.0044	77.9661	0.0040	77.0563	0.0040
81.6719	0.0037	82.7561	0.0045	81.9665	0.0037	82.8979	0.0046	83.5351	0.0041	82.5603	0.0041
87.1167	0.0038	88.2732	0.0046	87.4309	0.0039	88.4245	0.0048	89.1041	0.0043	88.0644	0.0043
92.5615	0.0040	93.7903	0.0048	92.8953	0.0040	93.9510	0.0050	94.6731	0.0044	93.5684	0.0044
98.0063	0.0042	99.3073	0.0049	98.3598	0.0042	99.4775	0.0052	100.2421	0.0046	99.0724	0.0046
103.4511	0.0043	104.8244	0.0051	103.8242	0.0044	105.0040	0.0055	105.8111	0.0048	104.5764	0.0048
108.8959	0.0045	110.3415	0.0053	109.2886	0.0045	110.5306	0.0057	111.3802	0.0049	110.0805	0.0050
114.3407	0.0047	115.8586	0.0055	114.7531	0.0047	116.0571	0.0060	116.9492	0.0051	115.5845	0.0052
119.7855	0.0049	121.3756	0.0057	120.2175	0.0049	121.5836	0.0063	122.5182	0.0053	121.0885	0.0054
125.2303	0.0051	126.8927	0.0060	125.6819	0.0051	127.1102	0.0066	128.0872	0.0055	126.5925	0.0057
130.6751	0.0053	132.4098	0.0063	131.1463	0.0053	132.6367	0.0070	133.6562	0.0057	132.0966	0.0059
136.1199	0.0055	137.9268	0.0066	136.6108	0.0056	138.1632	0.0074	139.2252	0.0060	137.6006	0.0062
141.5647	0.0056	143.4439	0.0068	142.0752	0.0056	143.6897	0.0076	144.7942	0.0061	143.1046	0.0063

**Figura 27**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 7 días)*

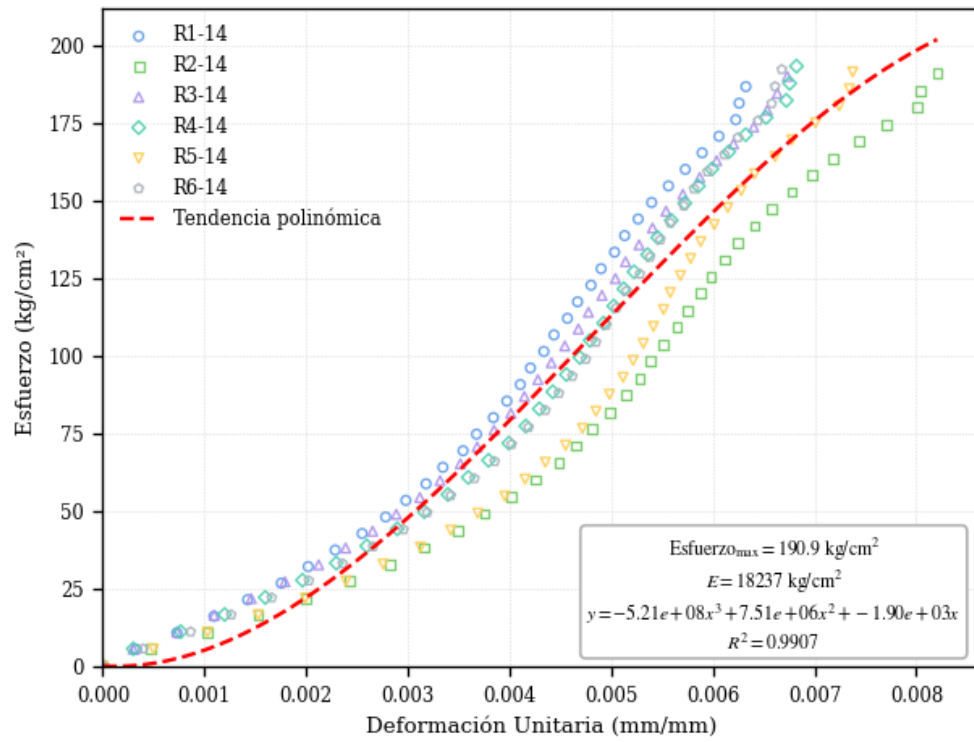


**Tabla 72***Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 14 días)*

R1-14		R2-14		R3-14		R4-14		R5-14		R6-14	
Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.3381	0.0003	5.4584	0.0005	5.4316	0.0003	5.5269	0.0003	5.4734	0.0005	5.4964	0.0004
10.6763	0.0007	10.9167	0.0010	10.8633	0.0007	11.0538	0.0008	10.9468	0.0010	10.9929	0.0009
16.0144	0.0011	16.3751	0.0015	16.2949	0.0011	16.5807	0.0012	16.4202	0.0015	16.4893	0.0013
21.3526	0.0014	21.8334	0.0020	21.7266	0.0015	22.1076	0.0016	21.8936	0.0020	21.9857	0.0017
26.6907	0.0018	27.2918	0.0024	27.1582	0.0018	27.6345	0.0020	27.3670	0.0024	27.4822	0.0020
32.0289	0.0020	32.7501	0.0028	32.5899	0.0021	33.1614	0.0023	32.8404	0.0028	32.9786	0.0024
37.3670	0.0023	38.2085	0.0032	38.0215	0.0024	38.6882	0.0026	38.3137	0.0031	38.4750	0.0027
42.7052	0.0026	43.6668	0.0035	43.4532	0.0027	44.2151	0.0029	43.7871	0.0034	43.9715	0.0030
48.0433	0.0028	49.1252	0.0038	48.8848	0.0029	49.7420	0.0032	49.2605	0.0037	49.4679	0.0032
53.3815	0.0030	54.5835	0.0040	54.3164	0.0031	55.2689	0.0034	54.7339	0.0040	54.9643	0.0034
58.7196	0.0032	60.0419	0.0043	59.7481	0.0033	60.7958	0.0036	60.2073	0.0042	60.4607	0.0037
64.0578	0.0033	65.5002	0.0045	65.1797	0.0035	66.3227	0.0038	65.6807	0.0044	65.9572	0.0039
69.3959	0.0035	70.9586	0.0047	70.6114	0.0037	71.8496	0.0040	71.1541	0.0046	71.4536	0.0040
74.7341	0.0037	76.4169	0.0048	76.0430	0.0038	77.3765	0.0042	76.6275	0.0047	76.9500	0.0042
80.0722	0.0038	81.8753	0.0050	81.4747	0.0040	82.9034	0.0043	82.1009	0.0049	82.4465	0.0044
85.4104	0.0040	87.3336	0.0052	86.9063	0.0041	88.4303	0.0044	87.5743	0.0050	87.9429	0.0045
90.7485	0.0041	92.7920	0.0053	92.3380	0.0043	93.9572	0.0046	93.0477	0.0051	93.4393	0.0046
96.0866	0.0042	98.2503	0.0054	97.7696	0.0044	99.4841	0.0047	98.5211	0.0052	98.9358	0.0048
101.4248	0.0043	103.7087	0.0055	103.2013	0.0045	105.0110	0.0048	103.9944	0.0053	104.4322	0.0049
106.7629	0.0044	109.1670	0.0056	108.6329	0.0047	110.5379	0.0049	109.4678	0.0054	109.9286	0.0050
112.1011	0.0046	114.6254	0.0057	114.0645	0.0048	116.0647	0.0050	114.9412	0.0055	115.4251	0.0051
117.4392	0.0047	120.0837	0.0059	119.4962	0.0049	121.5916	0.0051	120.4146	0.0056	120.9215	0.0052
122.7774	0.0048	125.5421	0.0060	124.9278	0.0050	127.1185	0.0052	125.8880	0.0057	126.4179	0.0053
128.1155	0.0049	131.0004	0.0061	130.3595	0.0051	132.6454	0.0054	131.3614	0.0058	131.9144	0.0054
133.4537	0.0050	136.4588	0.0062	135.7911	0.0053	138.1723	0.0055	136.8348	0.0059	137.4108	0.0055
138.7918	0.0051	141.9171	0.0064	141.2228	0.0054	143.6992	0.0056	142.3082	0.0060	142.9072	0.0056
144.1300	0.0053	147.3755	0.0066	146.6544	0.0055	149.2261	0.0057	147.7816	0.0061	148.4036	0.0057
149.4681	0.0054	152.8338	0.0068	152.0861	0.0057	154.7530	0.0059	153.2550	0.0063	153.9001	0.0058
154.8063	0.0056	158.2922	0.0070	157.5177	0.0059	160.2799	0.0060	158.7284	0.0064	159.3965	0.0059
160.1444	0.0057	163.7505	0.0072	162.9493	0.0060	165.8068	0.0062	164.2018	0.0066	164.8929	0.0061
165.4826	0.0059	169.2089	0.0074	168.3810	0.0062	171.3337	0.0063	169.6751	0.0068	170.3894	0.0062
170.8207	0.0061	174.6672	0.0077	173.8126	0.0064	176.8606	0.0065	175.1485	0.0070	175.8858	0.0064
176.1589	0.0062	180.1256	0.0080	179.2443	0.0065	182.3875	0.0067	180.6219	0.0072	181.3822	0.0066
181.4970	0.0063	185.5839	0.0080	184.6759	0.0066	187.9143	0.0068	186.0953	0.0073	186.8787	0.0066
186.8351	0.0063	191.0423	0.0082	190.1076	0.0067	193.4412	0.0068	191.5687	0.0074	192.3751	0.0067

**Figura 28**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 14 días)*

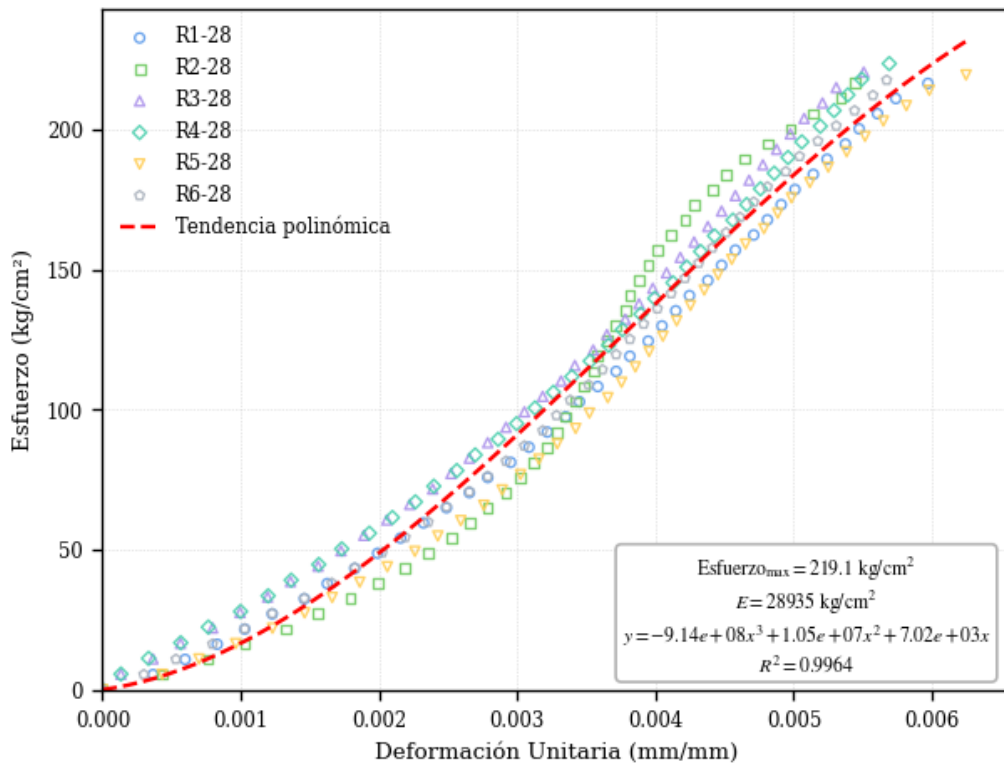


**Tabla 73***Deformación unitaria (100 % de Agua Residual Tratada, 28 días)*

R1-28		R2-28		R3-28		R4-28		R5-28		R6-28	
Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm2)	Def. Unit. (mm/mm)
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.4129	0.0004	5.4143	0.0004	5.5134	0.0001	5.5897	0.0001	5.4885	0.0004	5.4419	0.0003
10.8258	0.0006	10.8286	0.0008	11.0269	0.0004	11.1794	0.0003	10.9770	0.0007	10.8839	0.0005
16.2387	0.0008	16.2429	0.0010	16.5403	0.0006	16.7691	0.0006	16.4655	0.0010	16.3258	0.0008
21.6516	0.0010	21.6572	0.0013	22.0538	0.0008	22.3588	0.0008	21.9540	0.0012	21.7678	0.0010
27.0645	0.0012	27.0715	0.0016	27.5672	0.0010	27.9485	0.0010	27.4425	0.0015	27.2097	0.0012
32.4773	0.0015	32.4858	0.0018	33.0807	0.0012	33.5381	0.0012	32.9310	0.0017	32.6517	0.0015
37.8902	0.0016	37.9001	0.0020	38.5941	0.0014	39.1278	0.0014	38.4195	0.0019	38.0936	0.0017
43.3031	0.0018	43.3144	0.0022	44.1076	0.0016	44.7175	0.0016	43.9080	0.0021	43.5356	0.0018
48.7160	0.0020	48.7287	0.0024	49.6210	0.0017	50.3072	0.0017	49.3965	0.0023	48.9775	0.0020
54.1289	0.0022	54.1430	0.0025	55.1344	0.0019	55.8969	0.0019	54.8850	0.0024	54.4195	0.0022
59.5418	0.0023	59.5573	0.0027	60.6479	0.0021	61.4866	0.0021	60.3734	0.0026	59.8614	0.0024
64.9547	0.0025	64.9716	0.0028	66.1613	0.0022	67.0763	0.0023	65.8619	0.0028	65.3034	0.0025
70.3676	0.0027	70.3859	0.0029	71.6748	0.0024	72.6660	0.0024	71.3504	0.0029	70.7453	0.0027
75.7805	0.0028	75.8002	0.0030	77.1882	0.0025	78.2557	0.0026	76.8389	0.0030	76.1873	0.0028
81.1934	0.0030	81.2145	0.0031	82.7017	0.0027	83.8454	0.0027	82.3274	0.0032	81.6292	0.0029
86.6063	0.0031	86.6288	0.0032	88.2151	0.0028	89.4350	0.0029	87.8159	0.0033	87.0712	0.0031
92.0191	0.0032	92.0432	0.0033	93.7285	0.0029	95.0247	0.0030	93.3044	0.0034	92.5131	0.0032
97.4320	0.0034	97.4575	0.0034	99.2420	0.0031	100.6144	0.0031	98.7929	0.0035	97.9551	0.0033
102.8449	0.0034	102.8718	0.0034	104.7554	0.0032	106.2041	0.0033	104.2814	0.0037	103.3970	0.0034
108.2578	0.0036	108.2861	0.0035	110.2689	0.0033	111.7938	0.0034	109.7699	0.0038	108.8390	0.0035
113.6707	0.0037	113.7004	0.0035	115.7823	0.0034	117.3835	0.0035	115.2584	0.0039	114.2809	0.0036
119.0836	0.0038	119.1147	0.0036	121.2958	0.0035	122.9732	0.0037	120.7469	0.0040	119.7229	0.0037
124.4965	0.0039	124.5290	0.0036	126.8092	0.0036	128.5629	0.0038	126.2354	0.0041	125.1648	0.0038
129.9094	0.0040	129.9433	0.0037	132.3227	0.0038	134.1526	0.0039	131.7239	0.0042	130.6067	0.0039
135.3223	0.0041	135.3576	0.0038	137.8361	0.0039	139.7423	0.0040	137.2124	0.0043	136.0487	0.0040
140.7352	0.0042	140.7719	0.0038	143.3495	0.0040	145.3319	0.0041	142.7009	0.0044	141.4906	0.0041
146.1481	0.0044	146.1862	0.0039	148.8630	0.0041	150.9216	0.0042	148.1894	0.0045	146.9326	0.0042
151.5609	0.0045	151.6005	0.0039	154.3764	0.0042	156.5113	0.0043	153.6779	0.0046	152.3745	0.0043
156.9738	0.0046	157.0148	0.0040	159.8899	0.0043	162.1010	0.0044	159.1664	0.0047	157.8165	0.0044
162.3867	0.0047	162.4291	0.0041	165.4033	0.0044	167.6907	0.0046	164.6549	0.0048	163.2584	0.0045
167.7996	0.0048	167.8434	0.0042	170.9168	0.0045	173.2804	0.0047	170.1433	0.0049	168.7004	0.0046
173.2125	0.0049	173.2577	0.0043	176.4302	0.0046	178.8701	0.0048	175.6318	0.0050	174.1423	0.0047
178.6254	0.0050	178.6720	0.0044	181.9437	0.0047	184.4598	0.0049	181.1203	0.0051	179.5843	0.0048
184.0383	0.0051	184.0863	0.0045	187.4571	0.0048	190.0495	0.0050	186.6088	0.0052	185.0262	0.0049
189.4512	0.0052	189.5006	0.0046	192.9705	0.0049	195.6392	0.0051	192.0973	0.0054	190.4682	0.0050
194.8641	0.0054	194.9149	0.0048	198.4840	0.0050	201.2289	0.0052	197.5858	0.0055	195.9101	0.0052
200.2770	0.0055	200.3292	0.0050	203.9974	0.0051	206.8185	0.0053	203.0743	0.0056	201.3521	0.0053
205.6899	0.0056	205.7435	0.0051	209.5109	0.0052	212.4082	0.0054	208.5628	0.0058	206.7940	0.0054
211.1028	0.0057	211.1578	0.0053	215.0243	0.0053	217.9979	0.0055	214.0513	0.0060	212.2360	0.0056
216.5156	0.0060	216.5721	0.0054	220.5378	0.0055	223.5876	0.0057	219.5398	0.0062	217.6779	0.0057

**Figura 29**

*Curva esfuerzo – deformación (100% de agua residual tratada, 28 días)*



## H. Constancia de Laboratorio



Universidad Nacional de Cajamarca  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
*Laboratorio de Ensayo de Materiales*



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

### CONSTANCIA

A nombre del Bach. JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ, Exalumno(a) de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo análisis granulométrico agregado fino y grueso
02	Ensayo contenido de humedad
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo material más fino que pasa por el tamiz N° 200
07	Ensayo de resistencia a la degradación por abrasión e impacto
08	Elaboración de probetas cilíndricas de concreto
09	Ensayo de asentamiento del concreto fresco
10	Ensayo a compresión en muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: **"INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DEL AGUA POTABLE POR AGUA RESIDUAL TRATADA COMO AGUA DE MEZCLA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO DE  $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$  EN LA CIUDAD DE CAJABAMBA, 2025"**. Las actividades se desarrollaron del 24 de julio al 31 de octubre de 2025.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 30 de enero de 2026.

Atentamente:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Ing. Miguel A. Mosquera Moreno  
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

c.c. a:  
\_Archivo

## I. Ficha Técnica del Cemento



Pacasmayo

Planta: Pacasmayo

**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia No. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 466 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 04

13 de enero de 2023

### Cemento Portland Tipo I

Periodo de despacho 01 de diciembre de 2022 - 31 de diciembre de 2022

### REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

#### QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.4
SO <sub>3</sub> (%)	3.0 máx.	2.8
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.0
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.5

#### FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	9
Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)	2600 mín.	3960
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.10
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	^	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	^	14.6
3 días	12.0 mín.	27.7
7 días	19.0 mín.	33.7
28 días *	28.0 mín.	42.0
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	145
Final	375 máx.	260

^ No específica

\* Requisito opcional

El (la) RC 28 días corresponde al mes de noviembre del 2022

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2020.

Ing. Dennis R. Rodas Lavado


Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S. A. A.

## J. Análisis de Laboratorio del Agua Residual Tratada

		<b>LABORATORIO DE ENSAYOS QUE CUMPLE CON UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASO EN LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025</b>			
Código :	LH-FOR-226	Fecha :	07/05/2025	Versión :	03
Aprobación :	JL	Estado :	Aprobado		

### INFORME CONSOLIDADO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

LH-INF-2025-191

#### I. DATOS DEL CLIENTE

**Cliente :** JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ **RUC :**  
**Dirección :** **Página Web :**  
**Contacto :** JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ **Teléfono :**  
**Correo electrónico :** jsarmiento17\_1@unc.edu.pe

#### II. DATOS DEL PROYECTO

**Proyecto (\*) :** Tesis: Influencia de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión de un concreto de Fc=210 en la ciudad de Cajabamba, 2025.  
**Ubicación (\*) :** Cajabamba

#### III. FECHAS

**Muestreo :** 2025-10-09 - Realizado por el cliente **Inicio de Ensayos :** 2025-10-09  
**Recepción de muestra :** 2025-10-09 **Término de Ensayos :** 2025-10-17  
**Emisión de Informe :** 2025-10-17

#### IV. MUESTRA Y CONTRAMUESTRA

HURTECO SRL no ha participado en la toma de muestras, el muestreo ha sido realizado por el CLIENTE.  
 Se almacena contramuestra, por un periodo de 15 días calendario.  
 El día 2025-10-09, el laboratorio recibió la muestra, con las siguientes características:

CUADRO No. 01: MUESTRA Y CONTRAMUESTRA

No.	CÓDIGO DE MUESTRA (*)	MATERIAL / PROCEDENCIA (*)	CÓDIGO DE MUESTRA (LAB. HURTECO)	TIPO	CANTIDAD
01	M1	Muestra alterada de agua / PTAR CAJABAMBA	LH-B-M-2025-0363	Mab(±)	1

#### V. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Agregados de la empresa Hnos. Urteaga Contratistas S.R.L, ubicado en la Av. El Poroncho No. 118, Sector Armando Revoredo Iglesias, Caserío de Tartar Distrito, Baños del Inca, Cajamarca. Los ensayos se realizaron bajo Normas Estandarizadas indicadas en el siguiente cuadro:

CUADRO No. 02: ENSAYOS DE LABORATORIO

CANTIDAD	ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	MÉTODO
01	Método de ensayo para determinar el pH de las aguas.	NTP 339.073	-
01	Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement.	ASTM C114-23	-
01	Método de ensayo para determinar el contenido de sulfatos de las aguas.	NTP 339.074	-
01	Método de ensayo para determinar el contenido de cloruros de las aguas.	NTP 339.076	-
01	Método de ensayo para determinar por oxidabilidad el contenido de materia orgánica de las aguas.	NTP 339.072	-
01	Standard Test Method for Measurement of Solids in Water	ASTM C1603-23 Agua	-

(\*) Los datos indicados han sido proporcionados por el cliente.

(\*\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA, bajo registro No. 126.

(†) Mab: Muestra alterada en botella, aproximadamente 3 Litros.

HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L.

Ing. Adriana Y. Acosta Díaz  
 Reg. CIP 282198  
 COORDINADORA DE LABORATORIO



LABORATORIO DE ENSAYOS QUE CUMPLE CON UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD BASO EN LA NORMA INTERNACIONAL ISO/IEC 17025

Código :	LH-FOR-226	Fecha :	07/05/2025	Versión :	03	Aprobación :	JL	Estado:	Aprobado
----------	------------	---------	------------	-----------	----	--------------	----	---------	----------

VI. RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Nota: Los resultados se presentan en la parte de anexos.

(\*\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA, bajo registro No. 126.

VII. NOTAS

1. El presente informe de ensayo solo puede ser difundido en su totalidad y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la aprobación escrita del laboratorio HURTECO.
2. Informes sin firma y sello carecen de validez.
3. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
4. Los resultados corresponden a los ensayos realizados a las muestras proporcionadas por el cliente tal cual se recibió en el Laboratorio HURTECO.

Notas Referidas a la muestra de ensayo :	No aplica
Código del informe al que reemplaza:	No aplica
Motivo:	-

VIII. PERSONAL RESPONSABLE

Procesamiento	Revisión	Aprobación
Ing. J. Andy Pinedo Cortez  HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L. Ing. Andy Pinedo Cortez SUPERVISOR DE LABORATORIO Reg. CIP. 228491	Ing. J. Andy Pinedo Cortez  HNOS. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L. Ing. Andy Pinedo Cortez SUPERVISOR DE LABORATORIO Reg. CIP. 228491	Ing. Adriana Marin Diaz

Hnos. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L.

Domicilio social: Jr. La Mar N° 224 RUC: 20453782761 Teléfono: 076- 365288  
Visite nuestra página web: [www.hurteco.com](http://www.hurteco.com)



## ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA (\*)

Código: LH-FOR-183 Fecha : 21/08/2023 Versión: 03 Aprobación: JL Página: 01 de 01

Proyecto (**)	Tesis: Influencia de la sustitución del agua potable por agua residual tratada como agua de mezcla en la resistencia a la compresión de un concreto de $f_c=210$ en la ciudad de Cajabamba, 2025.		Informe No.	LH-INF-2025-191
Ubicación (**)	Cajabamba		Fecha de Muestreo (**)	2025-10-09
Cliente	JULISSA MILAGROS SARMIENTO ORTIZ		Fecha de Recepción	2025-10-09
Material (**)	Muestra alterada de agua		Fecha de Informe	2025-10-17
Procedencia (**)	PTAR CAJABAMBA		Técnico Encargado	Ing. Hugo Mosqueira
Código de Muestra (**)	M1		Hora de Muestreo (**)	-
Código de Laboratorio	LH-B-M-2025-0363		Clima (**)	-
Ubicación de Muestreo (**)	-		Muestreado por (**)	-
Coordenadas (**)	-		Fechas de Ejecución del Ensayo :	
Condiciones Ambientales :	Inicial	Final	Inicio de Ensayo	2025-10-09
Temperatura	-	-	Fin de Ensayo	2025-10-17
HR	-	-		

### I. ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

COLOR:	Turbio Opaco
OLOR:	Fetido
SEDIMENTOS:	-

### II. ANÁLISIS FÍSICO

pH: (NTP 339.073) (*)	7,8
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (ASTM C1603-23) (*)	1820,00 ppm
Materia Orgánica (NTP 339.072) (*)	310,00 ppm
CLORUROS ( $Cl^{-1}$ ) (NTP 339.076) (*)	89,20 ppm
SULFATOS ( $SO_4^{-2}$ ) (NTP 339.074) (*)	81,70 ppm
ALCALIS ( $Na_2O+0.65K_2O$ ) (ASTM C 114-23) (*)	0,06 %

#### CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en el análisis referido de Sulfatos, Cloruros, pH y el nivel de la calidad de agua, están dentro de los límites establecidos para el uso, amasado y curado de concreto.

Revisó y aprobó:

Hnos. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L.  
Ing. Adriana Y. Martín Díaz  
Reg. CIP 282195  
COORDINADOR DE LABORATORIO

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(\*\*) Los datos indicados han sido proporcionados por el cliente.

**Hnos. URTEAGA CONTRATISTAS S.R.L.**

Domicilio social: Jr. La Mar N° 224 RUC: 20453782761 Teléfono: 076- 365288  
Visite nuestra página web: [www.hurteco.com](http://www.hurteco.com)

Página 3 de 3



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
 GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA**  
 CON REGISTRO N° LE-084



**INACAL**  
 DA - Perú  
 Laboratorio de Ensayo  
 Acreditado

Registro N° LE - 084

**INFORME DE ENSAYO N° IE 10251484.1**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **SARMIENTO ORTIZ JULISSA MILAGROS**

Dirección

Persona de contacto **SARMIENTO ORTIZ JULISSA MILAGROS** Correo electrónico [jsarmiento17\\_1@unc.edu.pe](mailto:jsarmiento17_1@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-	Matriz	Agua
Procedimiento de Muestreo	*				<b>Categorías</b>
			<b>Natural</b>	<input type="checkbox"/>	<b>Salina</b> <input type="checkbox"/>
Tipo de Muestreo	<b>Puntual</b>		<b>Residual</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Uso y Consumo Humano</b> <input type="checkbox"/>
Número de puntos de muestreo	<b>01</b>		<b>Proceso</b>	<input type="checkbox"/>	
Ensayos solicitados	<b>Químicos Instrumentales-Microbiológicos</b>				
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación				
Referencia de la Muestra:	Cajabamba- Cajamarca				
Observaciones:	-				

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato	<b>SC-1522-2025</b>	Cadena de Custodia	<b>CC - 1484 - 25</b>
Fecha y Hora de Recepción	<b>28.10.25 14:30</b>	Inicio de Ensayo	<b>28.10.25 14:45</b>
Reporte Resultado	<b>06.11.25 15:15</b>	Lugar de ejecución de ensayos	<b>Laboratorio Regional del Agua (L.RA)- Cajamarca</b>

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO Edder Miguel F.A.U. 20463744108 v.01  
 Modelo: Sig y el suro del documento  
 Fecha: 06/11/2025 04:34 p.m.

Edder Neyra Jaico  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028

**INFORME DE ENSAYO N° IE 10251484.1**

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	PTAR Lareda		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	10251484-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	Agua Potable- Municipal		-	-	-	-	-	-
Fecha- Hora Muestreo	28.10.25 10:00		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Cajabamba		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.50	206.50	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.60	176.00	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.30	366.03	-	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.70	56.50	-	-	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LIZCA, Freddy Alejandro  
FID 2041374100 con  
Motivo: Visto en orden de  
conformidad  
Fecha: 06/11/2025 04:25 p. m.

Cajamarca, 06 de Noviembre de 2025

Página: 2 de 4

**INFORME DE ENSAYO N° IE 10251484.1**

ENSAYOS			Microbiológicos				
Código de la Muestra	PTAR Lanta		-	-	-	-	-
Código Laboratorio	10251484-01		-	-	-	-	-
Matriz	Agua Potable- Municipal		-	-	-	-	-
Fecha- Hora Muestreo	28.10.25 10:00		-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Cajabamba		-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos				
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	7.8	<1.8	-	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <? significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian estructuras biológicas en la muestra. VE: valor estimado

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por  
ZULEYKA SARA DE CRUZ CRESPI  
CAJ 20451768168-001  
Motivo: Valor en señal de  
confirmación  
Fecha: 06/11/2025 04:23 p.m.

Cajamarca, 06 de Noviembre de 2025

**INFORME DE ENSAYO N° IE 10251484.1**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H- B, 24 th Ed. 2023: pH Value, Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids, Total Suspended Solids Dried at 103-105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B, 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure

**NOTAS FINALES**

- ✓ "Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida NTP-ISO/IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio".
- ✓ "Este informe de ensayo/certificado de calibración/informe de resultados, al estar en el marco de la acreditación del INACAL – DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC".
- ✓ LRA-GRC ASEGURA LA CONFIABILIDAD Y CONFIDENCIALIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO.
- ✓ "Este informe corresponde únicamente a resultados obtenidos mediante métodos acreditados. Para resultados no acreditados, ver informe 10251484.2."
- ✓ Los resultados indicados en este informe corresponden única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua, según cobización y cadena de custodia.
- ✓ Cuando la muestra es tomada por el cliente, El Laboratorio Regional del Agua no se responsabiliza por la exactitud o la verificación de la información sobre la muestra. Los resultados del ensayo están basados en la muestra tal como fue recibida y en los datos proporcionados por el cliente.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmendadas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días después de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminados salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.
- ✓ El código QR permitirá la visualización y descarga del documento (según oficio múltiple N° 007-2024-INACAL/DA), por lo que, una vez emitido el informe de ensayo, queda bajo responsabilidad del cliente a quien le de acceso dicho código; además, el link vinculado al código QR también se proporcionará al repositorio del INACAL (según oficio múltiple N° 003-2024-INACAL/DA) para consultas sobre autenticaciones, falsificaciones o adulteraciones del presente documento.
- ✓ **Le recordamos que dispone de 30 días calendario desde la fecha de emisión de este informe para presentar cualquier queja, reclamo o solicitar correcciones. Pasado este plazo, no se aceptarán modificaciones ni reclamaciones asociadas al presente informe.**

--- Fin del documento ---

Código del Formato: P-23-F01 Ver: 04 Fecha: 06/05/2025

Cajamarca, 06 de Noviembre de 2025



Firmado digitalmente por  
Cecilia VELÁSQUEZ Juan José  
#02 2005746160 web  
Motivo: Visto en señal de  
conformidad  
Fecha: 06/11/2025 04:30 p.m.

## K. Panel Fotográfico

### Fotografía 1

*Obtención de los agregados en la Cantera Palo Amarillo*



### Fotografía 2

*Planta de Tratamiento de Agua Residuales Lanla en Cajabamba*



### Fotografía 3

*Toma de muestras de Agua Residual Tratada en la PTAR Lanla*



### Fotografía 4

*Personal encargado de la operación de la PTAR Lanla*



## Fotografía 5

*Planta de Tratamiento de Agua Residuales Parubamba en Cajabamba*



## Fotografía 6

*Realización de la encuesta en las obras de construcción en la ciudad de Cajabamba*



**Fotografía 7**

*Análisis granulométrico de los agregados*



**Fotografía 8**

*Ensayo del peso unitario del agregado fino*



**Fotografía 9**

*Ensayo del peso unitario suelto seco del agregado fino*



**Fotografía 10**

*Ensayo del material más fino que pasa el tamiz N°200*



**Fotografía 11**

*Ensayo del peso unitario seco compactado del agregado grueso*



**Fotografía 12**

*Ensayo del peso específico y absorción del agregado grueso*



**Fotografía 13**

*Ensayo de abrasión del agregado grueso*



**Fotografía 14**

*Ensayo del peso específico del Agua Residual Tratada*



**Fotografía 15**

*Elaboración de las probetas*



**Fotografía 16**

*Elaboración de las probetas*



**Fotografía 17**

*Cono de Abrams empleado para el ensayo de asentamiento (Slump)*



**Fotografía 18**

*Medición de asentamiento (Slump) de las mezclas*



## Fotografía 19

### *Elaboración de las probetas*



## Fotografía 20

### *Elaboración de probetas con supervisión del asesor*



**Fotografía 21**

*Midiendo las dimensiones de las probetas elaboradas*



**Fotografía 22**

*Determinando el peso de las probetas elaboradas*



### Fotografía 23

*Rotura de probetas a los 7 días de edad con supervisión del asesor*



### Fotografía 24

*Ensayo de compresión uniaxial con deformímetro*



## Fotografía 25

*Rotura de probetas a los 14 días de edad con supervisión del asesor*



## Fotografía 26

*Rotura de probetas a los 28 días de edad con supervisión del asesor*



**Fotografía 27**

*Rotura de probetas a los 28 días de edad con supervisión del asesor*



**Fotografía 28**

*Probetas de 28 días de edad después del ensayo de compresión*

