



# UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200

### TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

### AUTORES

Cardenas More, Luisa Fernanda  
ORCID: 0009-0001-0819-4079

Conde Martinez, Diego Cristofer  
ORCID: 0009-0006-6597-1766

### ASESORA

Chavarría Reyes, Liliana Janet  
ORCID: 0000-0002-1759-2132

**Lima, Perú**

**2023**

## **METADATOS COMPLEMENTARIOS**

### **Datos de autores**

Cardenas More, Luisa Fernanda

DNI: 60960711

Conde Martinez, Diego Cristofer

DNI: 72737081

### **Datos de asesor**

Chavarría Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

#### **JURADO 2**

Torres Chung, Cesar Roberto

DNI: 41182279

ORCID: 0000-0002-3212-2817

#### **JURADO 3**

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Luisa Fernanda Cardenas More, con código de estudiante N° 201811355, con DNI N°60960711, con domicilio en Cooperativa uranmarca Mz L lote 22 Calle las Orquídeas, distrito San Juan de Miraflores, provincia y departamento de Lima, y, Diego Cristofer Conde Martinez, con código de estudiante N° 201811340, con DNI N° 72737081, con domicilio en Av. 1 de mayo 1947 Torre 33 Condominio los parques de Villa el Salvador, distrito Villa el Salvador, provincia y departamento de Lima.

En nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Mg. Liliana Janet Chavarría Reyes, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc; la cual ha sido sometida al antiplagio Turnitin y tiene el 23% de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumo responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes.

Surco, 19 de Octubre de 2023



---

Luisa Fernanda Cardenas More

60960711



---

Diego Cristofer Conde Martinez

72737081

## INFORME DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN

Aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>23%</b>	<b>22%</b>	<b>3%</b>	<b>12%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	<b>5%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Católica de Santa María</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorioacademico.upc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

  
Dra. Vargas Chang Esther Joni

## **DEDICATORIA**

Deseo expresar mi dedicación a mis padres, Wilber Conde Aroni y Kela Martinez Galindo, quienes han sido mis guías a lo largo de mi camino. Agradezco profundamente su apoyo constante y los innumerables sacrificios que realizaron para hacer posible mi educación y formación. También deseo dedicar este logro a mis hermanos, Sebastian y Alessandro, así como a aquellos más cercanos, cuyo aliento y motivación me acompañaron a lo largo de este trayecto. Cada uno de ustedes ha representado una fuente inagotable de inspiración. Este trabajo es el resultado de su influencia positiva en mi vida. Gracias por siempre creer en mí.

Conde Martinez, Diego Cristofer

Dedico esta tesis con profundo agradecimiento y cariño a mis padres, Ismael Cardenas y Luisa More, por su inquebrantable apoyo, sacrificio, confianza y constante motivación a lo largo de mi carrera.

A Janet, por sus valiosos consejos y por nunca permitirme rendir en el proceso, impulsándome día a día hacia la meta.

A la Dra. María Teresa Méndez quien ha sido mi guía y quien deposito mi más sincera gratitud por brindarme la oportunidad de embarcarme en la investigación desde el primer año de universidad en el CECOS BRIGURP.

Cardenas More, Luisa Fernanda

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestra alma mater por los fundamentos académicos y el acceso al Laboratorio de Ensayo de Materiales. Agradecemos profundamente a la Mg. Liliana Chavarría Reyes por su orientación excepcional a lo largo de este proceso y al Ing. Frank Galindo Conde por su disposición a compartir su experiencia y conocimiento. También dedicamos un reconocimiento especial a nuestros padres y familiares, cuyo apoyo incondicional fue esencial en el desarrollo de esta tesis y en nuestra formación como profesionales de la ingeniería.

Cardenas More, Luisa Fernanda  
Conde Martinez, Diego Cristofer

## ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS .....	II
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	III
INFORME DE ORIGINALIDAD DE TURNITIN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE GENERAL .....	VII
ÍNDICE DE TABLA .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	1
1 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.1.1 Problema e importancia.....	2
1.1.2 Árbol del problema (Causas — Problema — Consecuencias) .....	3
1.2 Formulación del problema .....	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos .....	3
1.3 Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Delimitación de la investigación.....	4
1.4.1 Geográfica .....	4
1.4.2 Temporal .....	4
1.4.3 Temática.....	4
1.4.4 Muestral.....	4
1.5 Justificación del estudio.....	5
1.5.1 Conveniencia.....	5
1.5.2 Relevancia social.....	5
1.5.3 Aplicaciones prácticas.....	5
1.5.4 Valor teórico.....	5
1.6 Importancia del estudio.....	5
1.6.1 Nuevos conocimientos .....	5

1.6.2	Aporte.....	5
1.7	Limitaciones del estudio .....	6
1.7.1	Falta de estudios previos de investigación.....	6
1.7.2	Metodológicos o prácticos .....	6
1.7.3	Medidas para la recolección de los datos .....	6
1.7.4	Obstáculos de la investigación .....	6
1.8	Alcance .....	6
1.9	Viabilidad del estudio .....	6
2	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	7
2.1	Marco histórico .....	7
2.2	Investigaciones relacionadas con el tema .....	8
2.2.1	Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2	Investigaciones nacionales .....	10
2.2.3	Artículos relacionados con el tema .....	20
2.3	Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	23
2.3.1	Aditivo químico .....	23
2.3.2	Aditivo reductor de agua de alto rango .....	23
2.3.3	Propiedades físicas .....	24
2.3.4	Propiedades mecánicas.....	24
2.3.5	Agregados del concreto.....	24
2.3.6	Material que pasa la malla N° 200 .....	25
2.4	Definición de términos básicos.....	25
2.5	Fundamentos teóricos que sustentan la tesis.....	26
3	CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	27
3.1	Hipótesis .....	27
3.1.1	Hipótesis general.....	27
3.1.2	Hipótesis específicas .....	27
3.2	Variables .....	27
3.2.1	Variable independiente.....	27
3.2.2	Variable dependiente.....	27
3.3	Sistema de variables.....	27
3.3.1	Definición conceptual .....	27
3.3.2	Definición operacional .....	28
3.3.3	Operacionalización de las variables .....	29



4	CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
4.1	Método de la investigación .....	30
4.2	Tipo de la investigación .....	30
4.3	Nivel de investigación .....	30
4.4	Diseño de la investigación .....	30
4.5	Población y muestra.....	31
4.5.1	Población.....	31
4.5.2	Muestra.....	31
4.6	Técnicas e instrumentación de recolección de datos .....	32
4.6.1	Herramientas e instrumentos de recolección de datos .....	32
4.6.2	Métodos y técnicas .....	32
5	CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	39
5.1	Características de los agregados .....	39
5.1.1	Propiedades del agregado fino .....	39
5.1.2	Propiedades del agregado grueso .....	57
5.2	Diseño de mezcla de concreto .....	63
5.2.1	Características de los materiales .....	63
5.2.2	Diseño de mezclas.....	64
5.2.3	Dosificaciones .....	68
5.3	Resultados de la investigación.....	69
5.3.1	Ensayos de concreto en estado fresco .....	69
5.3.2	Ensayos de concreto en estado endurecido .....	73
5.4	Análisis y contrastación de hipótesis según resultados .....	80
5.4.1	Contrastación de la primera hipótesis .....	80
5.4.2	Contrastación de la segunda hipótesis.....	81
5.4.3	Contrastación de la tercera hipótesis.....	82
	DISCUSIÓN .....	85
	CONCLUSIONES .....	87
	RECOMENDACIONES.....	89
	REFERENCIAS.....	90
	ANEXOS .....	95
	Anexo A Matriz de consistencia.....	96
	Anexo B Operacionalización de variables.....	97
	Anexo C Ensayo a los agregados empleados.....	98

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1</b> Relaciones a/c en los diseños de mezcla.....	9
<b>Tabla 2</b> Resistencia a la compresión según aditivo .....	9
<b>Tabla 3</b> Resistencia a la compresión según relación a/c y aditivo .....	13
<b>Tabla 4</b> Resistencia a la flexión según relación a/c y aditivo.....	13
<b>Tabla 5</b> Asentamientos al reemplado de aditivo .....	15
<b>Tabla 6</b> Contenido de agua según método del ACI y agua real empleado en obra .....	17
<b>Tabla 7</b> Resumen de dosificación volumétrica de los diseños de mezclas.....	19
<b>Tabla 8</b> Proporciones de mezcla de concreto .....	21
<b>Tabla 9</b> Resultado de pruebas de concreto fresco y endurecido .....	22
<b>Tabla 10</b> Clasificación según la ASTM C494 de aditivos químicos .....	23
<b>Tabla 11</b> Clasificación de los aditivos reductores de agua .....	24
<b>Tabla 12</b> Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino.....	25
<b>Tabla 13</b> Operacionalización de variables .....	29
<b>Tabla 14</b> Cronograma de rotura de especímenes de concreto .....	31
<b>Tabla 15</b> Diseños planteados por cantera .....	31
<b>Tabla 16</b> Muestra según procedencia del agregado fino.....	32
<b>Tabla 17</b> Procedencia de agregados.....	39
<b>Tabla 18</b> Límites granulométricos del agregado fino.....	39
<b>Tabla 19</b> Módulo de finura del agregado fino AF-1 .....	47
<b>Tabla 20</b> Modulo de finura del agregado fino AF-2.....	47
<b>Tabla 21</b> Promedio de peso unitario del agregado fino AF-1 .....	49
<b>Tabla 22</b> Peso unitario del agregado fino AF-2 .....	49
<b>Tabla 23</b> Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-1 .....	51
<b>Tabla 24</b> Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-1 lavado.....	51
<b>Tabla 25</b> Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-2 .....	51
<b>Tabla 26</b> Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-2 lavado.....	51
<b>Tabla 27</b> Material que pasa por la malla N° 200 del agregado fino AF-1 .....	52
<b>Tabla 28</b> Material que pasa por la malla N° 200 del agregado fino AF-2 .....	53
<b>Tabla 29</b> Ensayo de equivalente arena para el agregado AF-1 .....	56
<b>Tabla 30</b> Ensayo de equivalente arena para el agregado AF-2 “San Bartolo” .....	56
<b>Tabla 31</b> Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	57
<b>Tabla 32</b> Módulo de finura del agregado grueso AG .....	61

<b>Tabla 33</b>	<i>Peso unitario del agregado grueso AG</i> .....	61
<b>Tabla 34</b>	<i>Tamaño de la muestra para el agregado</i> .....	62
<b>Tabla 35</b>	<i>Ensayo de peso específico y absorción para agregado grueso AG</i> .....	62
<b>Tabla 36</b>	<i>Material que pasa por la malla N° 200 del agregado grueso AG</i> .....	63
<b>Tabla 37</b>	<i>Características de los agregados</i> .....	63
<b>Tabla 38</b>	<i>Características del Cemento</i> .....	63
<b>Tabla 39</b>	<i>Características del aditivo</i> .....	64
<b>Tabla 40</b>	<i>Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos</i> .....	64
<b>Tabla 41</b>	<i>Relación agua-cemento por resistencia</i> .....	64
<b>Tabla 42</b>	<i>Requisitos para la estimación del agua de mezclado</i> .....	65
<b>Tabla 43</b>	<i>Descripción de casos para los diseños</i> .....	68
<b>Tabla 44</b>	<i>Dosificaciones para los concretos con AF-1</i> .....	68
<b>Tabla 45</b>	<i>Dosificaciones para los concretos con AF-2</i> .....	69
<b>Tabla 46</b>	<i>Asentamiento de los diseños de la serie C1</i> .....	70
<b>Tabla 47</b>	<i>Asentamiento de los diseños de la serie C2</i> .....	70
<b>Tabla 48</b>	<i>Peso unitario de los diseños de la serie C1</i> .....	72
<b>Tabla 49</b>	<i>Peso unitario de los diseños de la serie C2</i> .....	72
<b>Tabla 50</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C1-1</i> .....	76
<b>Tabla 51</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C1-2</i> .....	76
<b>Tabla 52</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C1-3</i> .....	77
<b>Tabla 53</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C1-4</i> .....	77
<b>Tabla 54</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C2-1</i> .....	78
<b>Tabla 55</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C2-2</i> .....	78
<b>Tabla 56</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C2-3</i> .....	78
<b>Tabla 57</b>	<i>Resistencia a la flexión del diseño C2-4</i> .....	79
<b>Tabla 58</b>	<i>Resistencias a la compresión al mantener la relación a/c</i> .....	81
<b>Tabla 59</b>	<i>Resistencias a la compresión al mantener la trabajabilidad</i> .....	82
<b>Tabla 60</b>	<i>Resistencias a la flexión al mantener la relación a/c</i> .....	83
<b>Tabla 61</b>	<i>Resistencias a la flexión al mantener la trabajabilidad</i> .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Árbol del problema</i> .....	3
<b>Figura 2</b> <i>Asentamiento según relación a/c con agregado la cantera Figueroa</i> .....	12
<b>Figura 3</b> <i>Asentamiento según relación a/c con agregado de Nauta</i> .....	14
<b>Figura 4</b> <i>Resistencia a la compresión al retemplar con aditivo</i> .....	15
<b>Figura 5</b> <i>Porcentaje que pasa la malla #200 para el Agregado fino</i> .....	16
<b>Figura 6</b> <i>Resistencia del concreto a 28 días</i> .....	17
<b>Figura 7</b> <i>Resistencia a la compresión según dosificación de aditivo</i> .....	18
<b>Figura 8</b> <i>Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla de concreto</i> .	19
<b>Figura 9</b> <i>Mapa conceptual que sustentan la tesis</i> .....	26
<b>Figura 10</b> <i>Obtención de muestras mediante el cuarteo de agregado fino</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Obtención de muestras mediante el cuarteo de agregado grueso</i> .....	34
<b>Figura 12</b> <i>Lavado en mezclador de agregado fino</i> .....	34
<b>Figura 13</b> <i>Traspaso de agua con finos</i> .....	35
<b>Figura 14</b> <i>Eliminación de finos pasante la malla N° 200</i> .....	35
<b>Figura 15</b> <i>Ensayo de temperatura en estado fresco del concreto</i> .....	36
<b>Figura 16</b> <i>Ensayo de asentamiento o toma de slump</i> .....	37
<b>Figura 17</b> <i>Ensayo de resistencia a la compresión</i> .....	38
<b>Figura 18</b> <i>Ensayo de resistencia a la flexión</i> .....	38
<b>Figura 19</b> <i>Tamizador eléctrico</i> .....	40
<b>Figura 20</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M1</i> .....	41
<b>Figura 21</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M2</i> .....	42
<b>Figura 22</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M3</i> .....	43
<b>Figura 23</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M1</i> .....	44
<b>Figura 24</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M2</i> .....	45
<b>Figura 25</b> <i>Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M3</i> .....	46
<b>Figura 26</b> <i>Ensayo de peso unitario del agregado fino</i> .....	48
<b>Figura 27</b> <i>Muestras de agregado fino sumergido en agua</i> .....	50
<b>Figura 28</b> <i>Picnómetro con muestra de agregado fino</i> .....	50
<b>Figura 29</b> <i>Lavado de muestras de agregado fino</i> .....	52
<b>Figura 30</b> <i>Equipo e instrumentos de ensayo</i> .....	53
<b>Figura 31</b> <i>Colocación de la solución preparada</i> .....	54
<b>Figura 32</b> <i>Irrigación hasta 15 pulgadas</i> .....	54

<b>Figura 33</b> <i>Sedimentación de las muestras</i> .....	55
<b>Figura 34</b> <i>Colocación de pisón</i> .....	55
<b>Figura 35</b> <i>Lectura de arena</i> .....	56
<b>Figura 36</b> <i>Análisis granulométrico de las muestras de agregado AG</i> .....	57
<b>Figura 37</b> <i>Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M1</i> .....	58
<b>Figura 38</b> <i>Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M2</i> .....	59
<b>Figura 39</b> <i>Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M3</i> .....	60
<b>Figura 40</b> <i>Temperatura del concreto y del ambiente</i> .....	69
<b>Figura 41</b> <i>Asentamiento por caso y R a/c de la serie C1</i> .....	70
<b>Figura 42</b> <i>Asentamiento por caso y R a/c de la serie C2</i> .....	71
<b>Figura 43</b> <i>Comparación de asentamientos obtenidos en C1 y C2</i> .....	71
<b>Figura 44</b> <i>Peso unitario de los diseños de la serie C1</i> .....	72
<b>Figura 45</b> <i>Peso unitario de los diseños de la serie C2</i> .....	73
<b>Figura 46</b> <i>Resistencia a la compresión de diseños C1</i> .....	74
<b>Figura 47</b> <i>Resistencia a la compresión de diseños C2</i> .....	75
<b>Figura 48</b> <i>Resistencia a la flexión de los diseños de la serie C1</i> .....	77
<b>Figura 49</b> <i>Resistencia a la flexión de los diseños de la serie C2</i> .....	79
<b>Figura 50</b> <i>Incremento en los asentamientos</i> .....	80

## RESUMEN

El objetivo de la tesis “Aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200” fue determinar el desempeño del aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200 y como objetivos específicos determinar el desempeño del aditivo superplastificante para mejorar el asentamiento, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto estructural. La investigación fue experimental, método deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo, nivel descriptivo, tipo descriptivo, explicativo y correlacional. El diseño fue experimental, longitudinal, prospectivo y estudio cohortes. Los resultados exhibieron una mejora notable en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200 al adicionar una dosis de 0.30% de aditivo superplastificante en los diseños que emplearon agregados de las canteras Miranda y San Bartolo. En conclusión, la incorporación del 0.30% de aditivo superplastificante en mezclas de concreto con alto contenido de finos de las canteras Miranda y San Bartolo resulta altamente beneficiosa. Aumenta el asentamiento en un 21% y 38%, respectivamente, y mejora la resistencia a la compresión a los 28 días en un 46% y 32%, superando a las mezclas sin aditivo. Además, incrementa la resistencia a la flexión alcanzando niveles equivalentes al 19% de la resistencia a la compresión de diseño. En conjunto, la incorporación de este aditivo superplastificante representa una mejora sustancial en las propiedades del concreto.

*Palabras claves:* Material que pasa la malla N° 200, asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, aditivo superplastificante.

## ABSTRACT

The objective of the thesis "Chemical additive to improve the physical and mechanical properties in structural concrete with excess residual material through mesh No. 200" was to determine the performance of the chemical additive to improve the physical and mechanical properties of structural concrete with excess residual material passed to the No. 200 mesh and as specific objectives determine the performance of the superplasticizing additive to improve the slump, compressive strength and flexural strength of the structural concrete. The research was experimental, deductive method, applied orientation, quantitative approach, descriptive level, descriptive, explanatory and correlational type. The design was experimental, longitudinal, prospective and cohort study. The results exhibited a notable improvement in the physical and mechanical properties of structural concrete with excess residual material passing through No. 200 mesh when adding a dose of 0.30% of superplasticizing additive in the designs that used aggregates from the Miranda and San Bartolo quarries. In conclusion, the incorporation of 0.30% of superplasticizer additive in concrete mixtures with high content of fines from the Miranda and San Bartolo quarries is highly beneficial. It increases slump by 21% and 38%, respectively, and improves compressive strength at 28 days by 46% and 32%, surpassing mixtures without additives. In addition, it increases the flexural resistance reaching levels equivalent to 19% of the design compression resistance. Overall, the incorporation of this superplasticizing additive represents a substantial improvement in the properties of the concrete.

*Keywords:* Material passing mesh N° 200, slump, compressive strength, flexural strength, superplasticizer additive.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta una demanda creciente que ha impulsado el aumento significativo de materiales fundamentales como el concreto, y, por consiguiente, ha aumentado la necesidad de sus insumos esenciales, como los agregados. Con el transcurso del tiempo, este aumento en la extracción de agregados ha llevado a una disminución en la calidad de las canteras, caracterizado por la acumulación excesiva de material fino que pasa la malla N° 200 en los agregados, superando los límites normativos establecidos. Este problema conlleva consecuencias significativas tanto en la performance del concreto como en las prácticas ambientales. Por un lado, compromete la integridad del concreto, mientras que, por otro lado, induce a prácticas perjudiciales, como el venteo, que contribuye a la contaminación del aire, y el lavado de agregados, resultando en un uso ineficiente del recurso hídrico.

La investigación destaca la importancia de emplear material residual fino que pasa por la malla N° 200 con la incorporación de un aditivo superplastificante, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural. Esta investigación no solo establece una base teórica para futuras dosificaciones y consideraciones en el diseño de mezclas, sino que también sugiere una alternativa sostenible al proponer el empleo de estos agregados. Los resultados obtenidos poseen aplicaciones prácticas valiosas en proyectos de ingeniería que requieran la utilización de agregados con material residual, ofreciendo una opción versátil y, a la vez, aportan al conocimiento teórico en este campo. Se lleva a cabo un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural con material residual pasante la malla N° 200. En esta investigación, se estudia la influencia de la incorporación de un aditivo superplastificante, evaluando específicamente su asentamiento, resistencia a la compresión y a la flexión que permiten cuantificar los beneficios obtenidos por la adición del aditivo.

Esta investigación se estructura en cinco capítulos. El primero abarca el planteamiento del problema, objetivos, delimitaciones, justificaciones, importancia y limitaciones. En el segundo, se presenta el marco teórico con la revisión histórica, estructura teórica y científica, definición de términos básicos y fundamentos teóricos. El tercero, se enfoca en las hipótesis, variables y su operacionalización. El cuarto, detalla el marco metodológico incluyendo el tipo, nivel, diseño, población, muestra, técnicas de recolección de datos e instrumentos, así como el proceso de análisis. El quinto exhibe los resultados, análisis y la contrastación. Por último, se presenta la discusión, conclusiones y sus recomendaciones.



## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

#### 1.1.1 Problema e importancia

La industria mundial de la construcción anualmente va en aumento y por ello nuestros recursos naturales usados para hacer concreto cada vez son más limitados. En el Perú, esto se evidencia en el incremento de la demanda de las canteras de agregado puesto al crecimiento en la demanda del cemento (INEI, 2021). Esto a su vez, genera escases de las canteras que cumplan las especificaciones solicitadas en la normativa peruana para la aceptación de agregados, siendo uno de los problemas el exceso del material en el que tanto los agregados finos como los gruesos pasan a través de un tamiz estándar de 75  $\mu\text{m}$ , lo que limita la producción de concreto.

La eliminación del exceso de material residual es un problema medioambiental ya que generalmente terminan siendo eliminados en vertederos y sus partículas muy finas dificultan la filtración de agua a las capas inferiores perjudicando acuíferos como también la vida vegetal (Aparecida et al., 2020).

Existe la posibilidad que empresas dueñas de cantera adopten malas prácticas tales como el lavado de agregados, lo cual representa un gasto significativo del agua; o el venteo de agregado generando contaminación ambiental al aire perjudicando a poblaciones aledañas. Del mismo modo, la presencia de finos como el limo y la arcilla generan patologías en el concreto.

Para el caso de presencia de arcillas que aumentan la superficie específica nos indica que el consumo de agua se incrementa pues es indispensable para mantener la trabajabilidad solicitada, influyendo en la reducción de la resistencia a cargas axiales y variaciones volumétricas como puede ser la contracción por secado. Con lo ya mencionado podemos entender como la durabilidad, calidad y las principales propiedades del concreto se ven perjudicadas (De la Rosa, 2014).

Muñoz (1995) indicó que, en el análisis granulométrico de un agregado, se entiende como material pasando la malla N° 200 (ASTM), aquellas partículas con diámetros menores a las 75 micras (0.075mm). Esta parte tan fina del agregado se halla constituida principalmente de impurezas orgánicas, arcillas, limos y polvo, los cuales aparecen en forma de partículas sueltas, o bien, adheridas en granos de mayor tamaño. Dependiendo del origen y cantidad, su presencia interviene en el desempeño del concreto, ya sea con la presencia de impurezas que interfieren durante la etapa de hidratación del cemento,

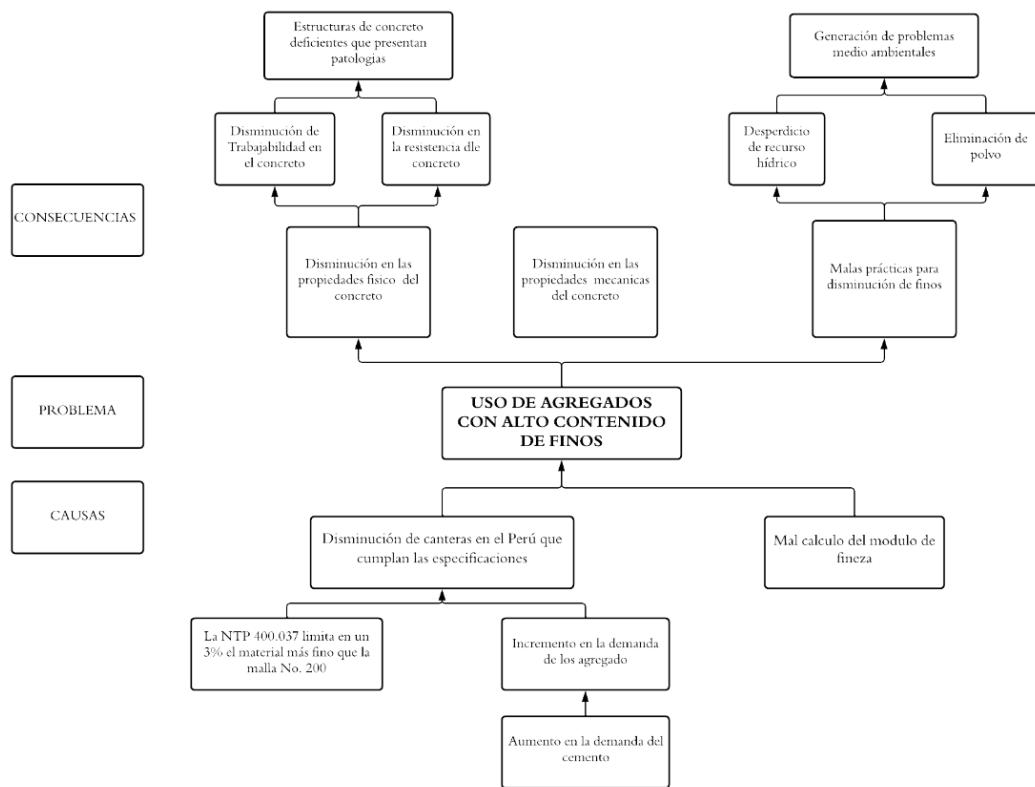
como también dificultando la adecuada cohesión entre la pasta del cemento (recubrimiento) y el agregado.

### 1.1.2 Árbol del problema (Causas — Problema — Consecuencias)

Para comprender el contexto de la realidad problemática, se desarrolló un árbol del problema; dicho árbol, ilustrado en la Figura 1, que contiene relaciones causa-efecto.

**Figura 1**

*Árbol del problema*



*Nota.* Elaboración propia

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema general

¿En qué medida la incorporación de aditivos químicos influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante la malla N° 200?

### 1.2.2 Problemas específicos

a. ¿En qué medida la incorporación del aditivo superplastificante influye en el asentamiento del concreto estructural?

b. ¿En qué medida la incorporación del aditivo superplastificante influye en la resistencia a la compresión del concreto estructural?

c.¿En qué medida la incorporación del aditivo superplastificante influye en la resistencia a la flexión del concreto estructural?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar el desempeño del aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

a.Determinar el desempeño del aditivo superplastificante para mejorar el asentamiento del concreto estructural.

b.Determinar el desempeño del aditivo superplastificante para mejorar la resistencia a la compresión del concreto estructural.

c.Determinar el desempeño del aditivo superplastificante para mejorar la resistencia a la flexión del concreto estructural.

### **1.4 Delimitación de la investigación**

#### ***1.4.1 Geográfica***

El estudio se realiza en el laboratorio de Ensayos de Materiales en la Universidad Ricardo Palma.

#### ***1.4.2 Temporal***

El presente estudio se enfoca en el intervalo de tiempo de mayo a octubre del año 2023 donde se tendrá en cuenta 8 semanas para la ejecución de lo experimental.

#### ***1.4.3 Temática***

El estudio muestra una investigación para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con material residual pasante de la malla N° 200 usando un porcentaje de aditivo químico, a fin de establecer el escenario en el cual la resistencia y trabajabilidad del concreto sean favorables para las propuestas de diseño de mezcla.

#### ***1.4.4 Muestral***

La muestra de la investigación está conformada por la recopilación de una gama de ensayos propios en el laboratorio, los cuales consideran las situaciones del diseño de mezcla con diferentes fuentes de agregado y la comparación con el uso de aditivos; así como también de resultados obtenidos de la documentación recopilada.

## **1.5 Justificación del estudio**

### ***1.5.1 Conveniencia***

La investigación presentada sirve de base teórica del uso de material residual pasante malla N° 200 usando un porcentaje de aditivo químico para incrementar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural, del mismo modo servirá para futuras investigaciones y consideraciones para su dosificación en los diseños de mezcla en lugares que lo requieran.

### ***1.5.2 Relevancia social***

El estudio de la investigación presentada formula incrementar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con material residual pasante de la malla N° 200 y la adición de un aditivo superplastificante por lo que se propone la utilización de estos agregados como una alternativa ecológica.

### ***1.5.3 Aplicaciones prácticas***

La investigación presenta un desarrollo que puede ser usado como referencia para diversos proyectos de ingeniería donde se plantee necesario el uso de canteras de agregados con existencia de material residual la cual pasa la malla normalizada de 75  $\mu\text{m}$ , dando así mayores opciones para los diseños de mezclas.

### ***1.5.4 Valor teórico***

El estudio contribuye con el aporte referente al uso del material residual más fino que la malla N° 200 y un aditivo superplastificante con el motivo de incrementar tanto las propiedades físicas como mecánicas del concreto estructural. Además, da posibilidad a usar los resultados obtenidos para futuras investigaciones.

## **1.6 Importancia del estudio**

### ***1.6.1 Nuevos conocimientos***

Como estudio nos proporciona una opción adicional para la formulación de diseños nuevos de mezcla del concreto que contenga agregado fino con exceso de material residual mediante las tecnologías del concreto como son los aditivos químicos.

### ***1.6.2 Aporte***

El trabajo realizado contribuye al diseño de nuevo concreto con material residual pasante la malla N° 200 con el empleo de aditivos reductores de agua para aumentar el desempeño de las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con la intención de incorporarlo dentro del sector construcción; además de cumplir un rol significativo en la disminución de la contaminación ambiental civil e industrial causada por la ingeniería.

## **1.7 Limitaciones del estudio**

### ***1.7.1 Falta de estudios previos de investigación***

Por ser un residuo proveniente de canteras y uso no frecuente, se ha tenido que tomar investigaciones internacionales y nacionales como referentes para el tema.

### ***1.7.2 Metodológicos o prácticos***

Para la presente investigación se contó con facilidades para la ejecución de ensayos dentro de las instalaciones de la Universidad Ricardo Palma. De modo que, no se presenta limitaciones.

### ***1.7.3 Medidas para la recolección de los datos***

La recolección de datos se dio a partir de ensayos realizados en la bibliografía revisada así como también los ensayos propios en laboratorio siguiendo procedimientos estandarizados. Por lo expuesto, al realizar comparaciones se pueden dar resultados distintos.

### ***1.7.4 Obstáculos de la investigación***

La investigación cuenta con las canteras de agregados necesarias para los estudios correspondientes asimismo del aditivo superplastificante y cemento, por lo que no se presentaron limitaciones en material. Sin embargo, los diversos artículos de distintos idiomas, complicaron el proceso de búsqueda y la recopilación de información.

## **1.8 Alcance**

El fundamento de esta investigación se radica en el análisis de las características del concreto de diseños de mezclas con presencia de material residual, extraído de diversas canteras, las cuales exceden lo normado para partículas pasante la malla N° 200 así como también la variación en el comportamiento por la incorporación de un aditivo superplastificante.

## **1.9 Viabilidad del estudio**

El trabajo investigativo es factible, puesto que se tiene todos los medios económicos, humanos y materiales necesarios para llevar a cabo con éxito. Además de contar con el apoyo de técnicos de laboratorio que nos guiarán en base a su experiencia en la realización de estos ensayos y están preparados para ejecutar los procedimientos estandarizados en el laboratorio teniendo como alineamientos las normas respectivas; y del mismo modo respetando los tiempos establecidos de la investigación según cronograma de actividades.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

El uso del concreto u hormigón data desde el imperio romano como elemento constructivo en estructuras e infraestructuras tales como: acueductos, fortalezas, puentes, puertos, teniendo como ligante principal la cal. Para la preparación de mezclas de morteros y hormigones antiguamente se utilizaban productos como clara de huevo, sangre, manteca o leche obtener una mejor trabajabilidad (Coutinho, 1997).

En la Edad Media en Europa se utilizaba la adición de huevos, aceite, pasta de arroz glutinoso, melaza negra, laca, concentrado de olmo empapados en plátanos con agua; mientras que en Perú se utilizaba el jugo de cactus y látex de plantas de caucho (Sotomayor, 2020).

En 1930, se desarrolló los primeros aditivos modificadores de propiedades reológicas de diversas mezclas elaboradas a partir del cemento portland. La primera generación de aditivos fue a base de lignosulfonatos, los cuales son obtenidos de recuperación de celulosa de la madera. Usualmente son empleados con el fin de aminorar los niveles de azúcares y disminuir el impacto retardante (Valverde et al., 2016).

Tiene como característica fundamental la disminución del agua en la mezcla de concreto hasta un 10%, además que aumenta la fluidez y mantiene constante la misma proporción agua-cemento mejorando la trabajabilidad de un diseño convencional de concreto.

En 1960, se diseñó la segunda generación de aditivos, esta da lugar en Japón. La nueva generación denominada naftalenos sulfonatos, producto del refinado del carbón, con intención de reducir la relación agua-cemento. Como característica principal se destaca la reducción aproximada de un 20% del agua en la mezcla, teniendo una buena trabajabilidad y una mejora de la resistencia a los 28 días (Valverde et al., 2016).

Asimismo, en Alemania aparecían los condensados de melamina sulfonato, estos con la idea de no modificar la proporción agua-cemento e incrementar la fluidez. Estas tienen una disminución del agua similar a los aditivos químicos basados en naftalenos, añadiendo como principal cualidad obtener a edades tempranas una resistencia elevada (Valverde et al., 2016).

En la tercera generación de aditivos, encontramos a los superplastificantes, desarrollados con tecnologías como el copolímero de vinilo entre otros polímeros sintéticos. Tiene como característica principal mayor plasticidad y una disminución de agua hasta el 30% en la mezcla de concreto, obteniendo una buena trabajabilidad. Los superplastificantes a

base de copolímeros de vinilo se han usado en la elaboración de concretos autocompactantes, sean solos o combinados con aditivos viscosos, obteniendo buenos resultados (Valverde et al., 2016).

En los últimos años, los policarboxilatos son la base principal para la tecnología de aditivos superplastificantes, los cuales son usados en concretos autocompactantes, dada sus características como buena cohesión y buen tiempo de trabajabilidad. Estos contienen moléculas las cuales multiplican hasta 5 veces más el tamaño de las moléculas originales de los superplastificantes tales como: naftalenos, vinilos y melaninas (Hermida, 2013).

## **2.2 Investigaciones relacionadas con el tema**

### **2.2.1 Investigaciones internacionales**

Cárdenas y Cárdenas (2022) mencionan que:

Dada la importancia de la industria del hormigón premezclado y la escasez de investigaciones sobre la aplicación eficiente de los aditivos superplastificantes, se busca analizar las resistencias a la compresión en mezclas que tienen contenidos de cemento entre 250 y 350 kg/m<sup>3</sup> con superplastificantes a base de naftalenos y policarboxilatos. Para las mezclas elaboradas, se empleó agregado fino proveniente de la zona de San Antonio de Pichincha, con un porcentaje de material que pasa la malla N° 200 de 16.95%. Además, se mantuvo un asentamiento de 18 ± 4 cm para todos los diseños. (pp. 4-24)

En la Tabla 1 se aprecia cómo la búsqueda de un asentamiento constante se ve reflejada en la reducción de agua para los diseños que contienen aditivo, en comparación con las mezclas patrón.

**Tabla 1***Relaciones a/c en los diseños de mezcla*

Diseños de mezcla	Contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )				
	250	275	300	325	350
Sin aditivo (Patrón)	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
Con aditivo (Naftalenos)	0.67	0.60	0.56	0.53	0.49
Con aditivo (Policarboxilatos)	0.67	0.60	0.56	0.53	0.49

*Nota.* Adaptado de Cárdenas y Cárdenas (2022).

Respecto a la resistencia a la compresión se puede observar en la Tabla 2 las diferencias en las resistencias a 7 y 28 días de curado en condiciones de laboratorio. Del mismo modo, se puede apreciar cómo las resistencias óptimas se logran mediante el uso del del aditivo a base de policarboxilatos.

**Tabla 2***Resistencia a la compresión según aditivo*

Diseño de mezclas	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	f'c 7 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	f'c 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )
Mezcla Patrón Laboratorio	250	99.0	134.0
	275	130.5	183.3
	300	157.8	210.4
	325	191.0	255.9
	350	216.5	299.0
Naftaleno Laboratorio	250	130.6	170.9
	275	163.8	210.7
	300	181.9	241.1
	325	209.4	283.6
	350	235.5	330.4
Policarboxilatos Laboratorio	250	157.2	208.0
	275	195.7	253.7
	300	233.7	300.2
	325	253.8	362.2
	350	278.9	416.5

*Nota.* Adaptado de Cárdenas y Cárdenas (2022).

Gomes (2019) manifiesta que:

Diferentes regiones de Brasil presentan escasez de agregados naturales, por lo antedicho, establece como objetivo principal la evaluación de la influencia y sus efectos del remplazo parcial del árido fino por residuos de trituración de dos canteras diferentes los cuales presentan 10,7% y 11,7% de contenido de material



pulverizado. Para la formulación de sus diseños de mezcla se realizó el análisis de la curva granulométrica, con 4 diferentes porcentajes de sustitución de residuos 0%, 25%, 50% y 100% con los cuales pudieron obtener resultados como el asentamiento, masa específica y contenido de aire del concreto en estado fresco; mientras que en el estado endurecido pudieron evaluar las características de absorción, resistencia a la tracción y resistencia a la compresión. Concluyendo así que la presencia de finos implica en la disminución de la trabajabilidad del concreto y por consecuencia el aumento en la demanda de agua para lograr un asentamiento deseado, del mismo modo las resistencias a la compresión tuvieron un impacto negativo considerable respecto a la mezcla de referencia. (p. 8)

### **2.2.2 Investigaciones nacionales**

Trujillo (2021) manifiesta que:

Dada la geografía la cual tiene un transporte poco accesible, se usó la arena local obteniendo un módulo de fineza con un valor muy bajo y con un porcentaje de 15.71 de material que pasaba a través la malla N° 200. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue indagar la influencia del aditivo reductor de agua de alto rango como también el superplastificante sin retardo sobre las propiedades del concreto cemento-arena. Para las mezclas elaboradas se realizaron diseños usándose proporciones agua-cemento de 0.68, 0.62 y 0.56, considerando un concreto patrón sin aditivo; y una dosificación de 0.8% del peso del cemento en mezclas elaboradas con aditivo. Así mismo, se llevaron a cabo pruebas en estado fresco y endurecido tales como: asentamiento, temperatura, peso unitario, exudación, contenido de aire atrapado, resistencia a la compresión y flexión; teniendo resultados favorables en los diseños con aditivos respecto a los sin aditivos. Concluyendo que el aditivo usado en la investigación contribuyó ventajoso en las propiedades del concreto-cemento reduciendo la cuantía a usar del cemento y, por lo tanto, el costo, sin afectar las propiedades del material. (pp. 56-80)

Guerrero y Hoyos (2020) indican que:

Al tener poca información verídica de la influencia de los finos tuvieron como fin determinar la resistencia del concreto añadiendo porcentajes de 0%, 3%, 5%, 10% y 15% del pasante de la malla N° 200 en peso del agregado fino el cual se extrajo de una sola cantera para no modificar sus propiedades físicas o mecánicas y de

esta forma obtener resultados verdaderos. Se realizaron ensayos en estado fresco y endurecido del concreto tales como: contenido de aire, temperatura, peso unitario, asentamiento, resistencia a la compresión y flexión. Teniendo resultados favorables con la adición del 3% ya que respecto al patrón de 0% mostró un 3.96% de resistencia superior. Además, los porcentajes de 5%, 10% y 15% presentaron una disminución de resistencia frente al 3%. (pp. 11-52)

Ochoa (2018) manifiesta que:

Las construcciones en Piura en su mayoría presentan problemas de eflorescencia en parte por el uso de agregados locales o la tipología del suelo por ello contrastaron las características físicas y químicas de las arenas de Cerromochó y Chulucanas con el propósito de estudiar los efectos en el desempeño del concreto en estado fresco como también en estado endurecido. Teniendo como porcentajes pasante la malla N° 200 de 4.4% y 7.3% respectivamente, para ambas arenas se realizaron mezclas con una proporción de agua-cemento de 0.50; desarrollando ensayos en estado fresco y endurecido tales como: contenido de sales solubles, sulfatos, cloruros, porcentaje de vacíos, absorción, resistencia a la compresión y flexión. Concluyendo así con resultados favorables en la cantera Chulucanas dado que evidencia mejoras en las propiedades en estado fresco como la trabajabilidad, un mayor peso unitario y bajo contenido de aire dado a la composición química y a sus características físicas; por otro lado, la arena de Cerromochó muestra características no beneficiosas cuando se encuentra en estado fresco. (pp. 41-42)

Almonacid y Prétel (2015) exponen que:

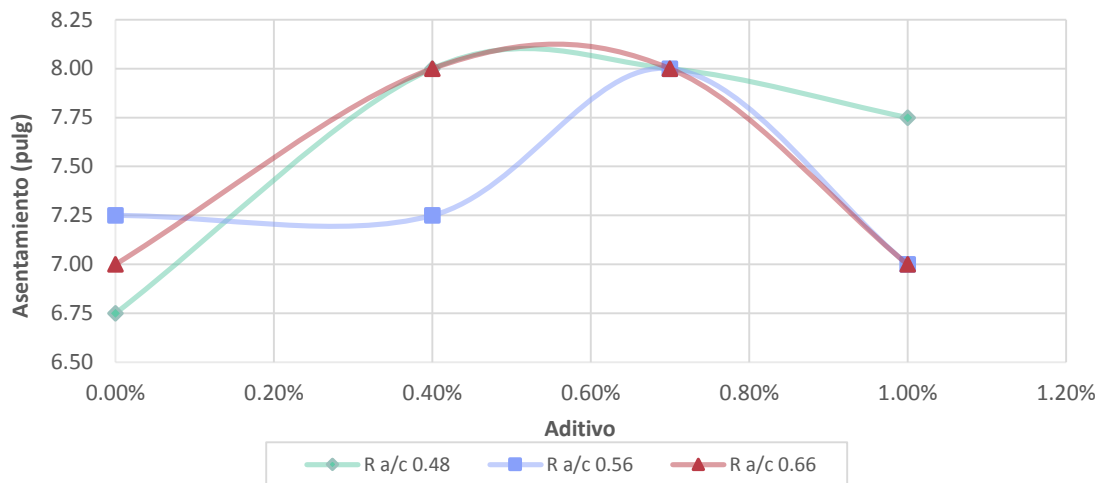
Debido a la poca difusión e importancia de los aditivos reductores de agua en Huánuco, tuvieron como propósito determinar la dosificación del concreto de resistencia moderada con el fin de mejorar la calidad del material y lograr resistencias satisfactorias. Se utilizó agregado de la cantera Figueroa en Huánuco teniendo un 8.56% de pasante de la malla N° 200, además de un superplastificante Sika viscocrete 3330 en dosificaciones de 0.4%, 0.7% y 1% con las siguientes relaciones agua-cemento: 0.48, 0.55 y 0.62. Las pruebas realizadas en la investigación son: el asentamiento para el estado fresco y en resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y tracción para el estado endurecido. Se tuvieron resultados favorables usando el superplastificante ya que incrementar el

desempeño en las propiedades del concreto de mediana resistencia y la reducción de agua es significativa ya que se tuvo una reducción hasta el 30% para los diseños de la investigación, además minimizó la desviación de los criterios de selección de la cantera Figueroa. También se concluyó que, usando extremos mayores de porcentajes de aditivos, no es favorable ya que reduce la resistencia a la compresión. (pp. 52-96)

En la Figura 2 se evidencia el incremento de asentamientos con la incorporación de aditivo a 0.40, 0.70 y 1.00%. Teniendo como porcentaje óptimo 0.70%, dado que al aumentar el porcentaje se muestra una disminución en la trabajabilidad para sus diseños.

### Figura 2

*Asentamiento según relación a/c con agregado la cantera Figueroa*



*Nota.* Adaptado de Almonacid y Prétel (2015).

Del mismo modo según lo obtenido por los autores en la Tabla 3 y Tabla 4 se logra evaluar el desarrollo de las resistencias a tanto a compresión como flexión a diferentes edades de curado.

**Tabla 3***Resistencia a la compresión según relación a/c y aditivo*

Diseño y Edad	Patrón (kg/cm <sup>2</sup> )	Aditivo = 0.70% (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento
a/c = 0.48   1 día	246	328	33.3%
a/c = 0.48   3 días	304	395	29.9%
a/c = 0.48   7 días	348	444	27.6%
a/c = 0.48   14 días	382	507	32.7%
a/c = 0.48   28 días	467	555	18.8%
a/c = 0.55   1 día	184	276	50.0%
a/c = 0.55   3 días	235	317	34.9%
a/c = 0.55   7 días	276	351	27.2%
a/c = 0.55   14 días	353	388	9.9%
a/c = 0.55   28 días	382	451	18.1%
a/c = 0.62   1 día	149	224	50.3%
a/c = 0.62   3 días	205	284	38.5%
a/c = 0.62   7 días	243	336	38.3%
a/c = 0.62   14 días	295	377	27.8%
a/c = 0.62   28 días	352	402	14.2%

*Nota.* Adaptado de Almonacid y Prétel (2015).**Tabla 4***Resistencia a la flexión según relación a/c y aditivo*

Diseño y Edad	Patrón (kg/cm <sup>2</sup> )	Aditivo = 0.70% (kg/cm <sup>2</sup> )	Incremento
a/c = 0.48   7 días	30	40	33.33%
a/c = 0.48   14 días	34	46	35.29%
a/c = 0.48   28 días	43	50	16.28%
a/c = 0.55   7 días	26	31	19.23%
a/c = 0.55   14 días	36	36	0.00%
a/c = 0.55   28 días	39	42	7.69%
a/c = 0.62   7 días	22	33	50.00%
a/c = 0.62   14 días	26	34	30.77%
a/c = 0.62   28 días	32	41	28.13%

*Nota.* Adaptado de Almonacid y Prétel (2015).

Isuiza y Montoya (2022) mencionan que:

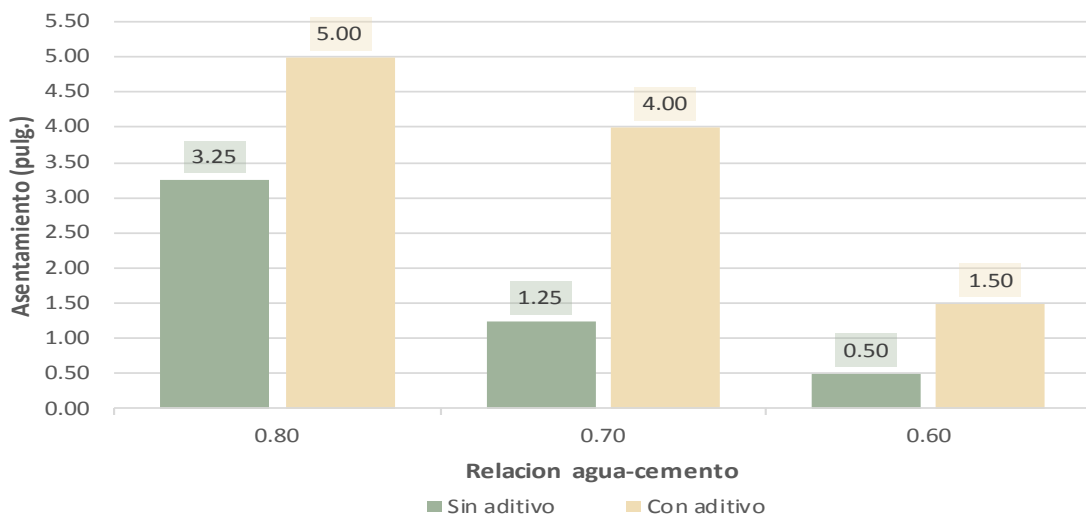
Dado el acceso limitado a la ciudad de Iquitos y el costo elevado por el transporte fluvial del agregado grueso es necesario usar el material denominado concreto “cemento-arena” en donde solo se utiliza el agregado fino, cemento y agua. El agregado fino usado en la investigación presenta un 5.7% de material que pasa la malla N° 200, además del uso del aditivo Z fluidizante SR y cemento sol tipo I.

Se prepararon tres mezclas patrones sin aditivos con relaciones agua cemento de 0.80, 0.70, 0.60 y tres mezclas empleando el aditivo en 0.8% respecto al peso del cemento. Se realizaron ensayos en estado fresco y endurecido lo cual conllevaron a resultados favorables en trabajabilidad y resistencia a la compresión y flexión. Concluyendo que, el uso del aditivo presentó leve mejora en la trabajabilidad con respecto a las mezclas patrones además del uso elevado de agua. Por otro lado, en los resultados de propiedades mecánicas a 7 y 28 días de la mezcla patrón no varían significativamente respecto al obtenido sin el uso del aditivo. (pp. 57-66)

En la Figura 3, se evidencia los incrementos de asentamientos con el uso del aditivo superplastificante a un 0.8% en las mezclas con relaciones agua-cemento de 0.80, 0.70 y 0.60.

**Figura 3**

*Asentamiento según relación a/c con agregado de Nauta*



*Nota.* Adaptado de Isuiza y Montoya (2022).

Huaycani y Huaycani (2018) sostienen que:

Debido al incremento del uso del concreto en diversas zonas del país, algunas con acceso limitado, conllevan a la dificultad en la producción de premezclados, tiempos de mezclado, entrega y colocación. Por lo que proponen, el reemplado con agua y con un aditivo superplastificante en tiempos de 60, 90 y 120 minutos teniendo en consideración el asentamiento de 7 a 9 pulgadas para concretos patrones los cuales no llevarán aditivo. Se realizaron ensayos en estado fresco y

endurecido, teniendo resultados de pérdida de asentamiento de manera progresiva en 60, 90 y 120 minutos y mostrando una tendencia de consistencia fluida a seca. Por otro lado, para el caso del reemplado con aditivo superplastificante tuvo resultados óptimos restaurando el asentamiento inicial requerido con un 0.37% de aditivo. (pp. 61-115)

De ese modo a través de la Tabla 5 y Figura 4 el autor permite evaluar el comportamiento físico-mecánico de un concreto al incorporar un aditivo superplastificante como un agente fluidificante.

**Tabla 5**

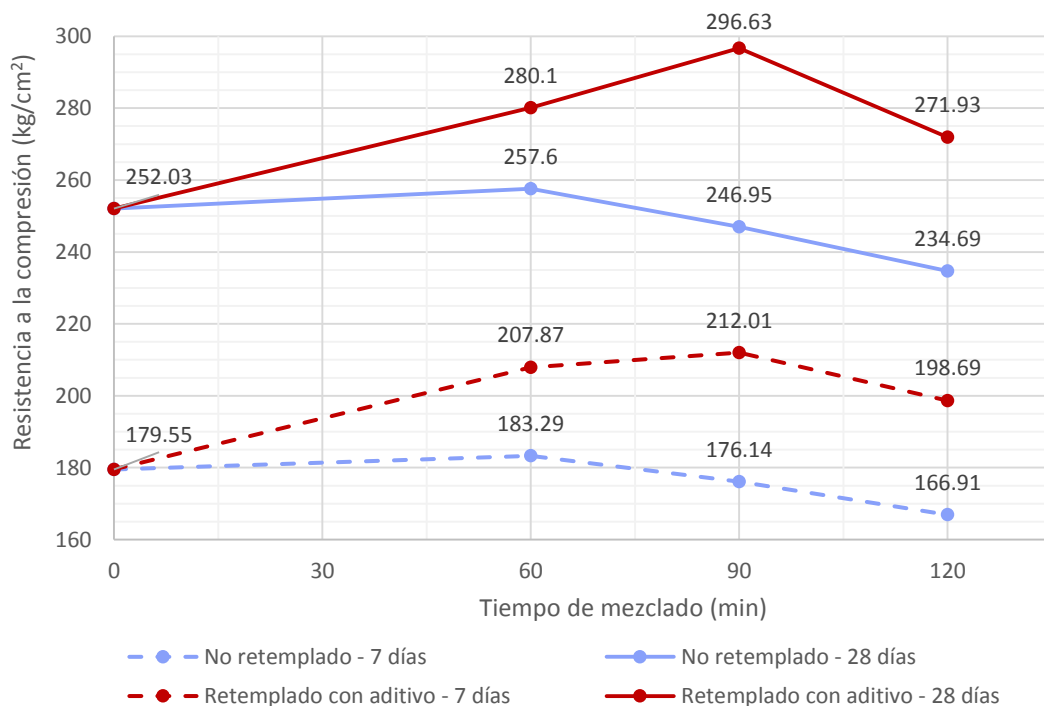
*Asentamientos al reemplado de aditivo*

Tiempo de Mezclado	No reemplado		Reemplado con aditivo	
	Asentamiento	Disminución	Aditivo necesario	Asentamiento
inicial	6 3/4"	-	-	-
60 min	4 1/4"	2 1/2"	0.37%	6 3/4"
90 min	3 1/4"	3 1/4"	0.44%	6 3/4"
120 min	2 1/2"	4"	0.50%	6 3/4"

*Nota.* Adaptado de Huaycani y Huaycani (2018).

**Figura 4**

*Resistencia a la compresión al reemplar con aditivo*



*Nota.* Adaptado de Huaycani y Huaycani (2018).

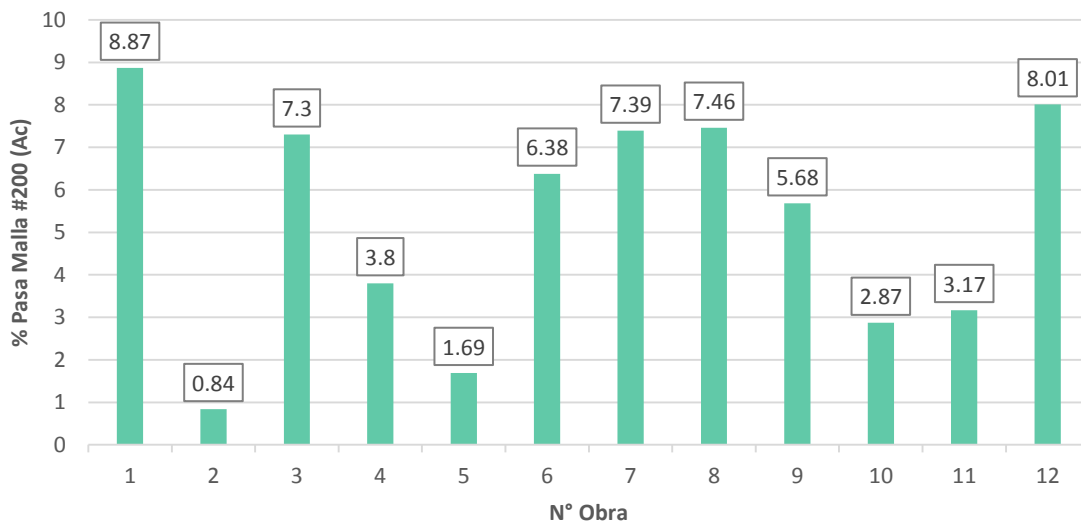
Garay y Quispe (2016) mencionan que:

Dado a la autoconstrucción en Lima e incumplimiento de las normas, tuvieron como objetivo estudiar el comportamiento del concreto producido por la autoconstrucción, para lo cual visitaron 12 obras de autoconstrucción y eligieron como material de estudio las losas aligeradas de las viviendas permitiendo analizar muestras del concreto sin ningún cambio en su producción como también muestras del concreto con aditivo superplastificante, estas se entregaron a los constructores con el fin de modificar las propiedades del concreto y se vio reflejado la reducción de la cantidad de agua de mezcla al usar aditivo. Realizaron los ensayos a los agregados utilizados en cada obra como también ensayos en estado fresco y endurecido tales como: asentamiento y resistencia a la compresión a 28 días de curado concluyendo que el aditivo superplastificante mejora la resistencia y trabajabilidad del concreto. (pp. 9-83)

En la Figura 5, se evidencia los distintos porcentajes de pasante malla N° 200 para las diversas obras analizadas. Las obras 1, 3, 6, 7, 8, 9 y 12 contienen un alto porcentaje de finos los cual serán considerados para el presente estudio.

### Figura 5

*Porcentaje que pasa la malla #200 para el Agregado fino*



*Nota.* Adaptado de Garay y Quispe (2016).

En la Tabla 6 se muestra la reducción de agua, en las diversas obras, generada por la corrección del diseño mediante el método del ACI y el aditivo superplastificante permitirá

recuperar la trabajabilidad para finalmente evaluar el desempeño de la resistencia a compresión como se observa en la Figura 6.

**Tabla 6**

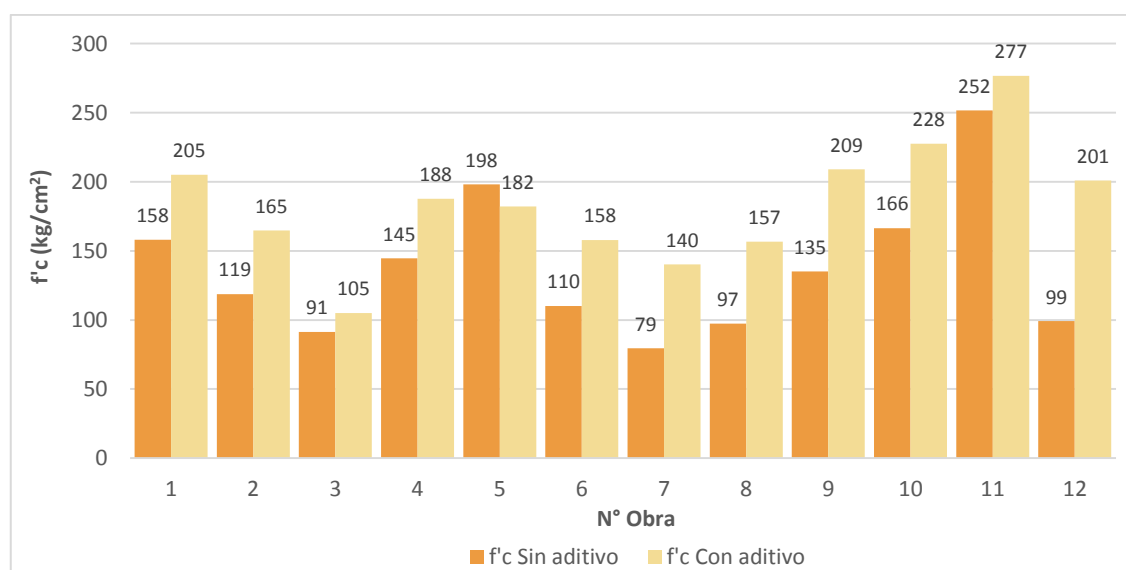
*Contenido de agua según método del ACI y agua real empleado en obra*

N° Obra	Agua utilizada (litros)	Agua según ACI (litros)
Obra 1	25.0	31.5
Obra 2	36.0	31.9
Obra 3	36.0	32.9
Obra 4	36.0	30.5
Obra 5	36.0	32.7
Obra 6	40.0	30.6
Obra 7	45.0	30.8
Obra 8	45.0	34.3
Obra 9	40.0	28.5
Obra 10	40.0	32.4
Obra 11	40.0	25.8
Obra 12	40.5	30.5

*Nota.* Adaptado de Garay y Quispe (2016).

**Figura 6**

*Resistencia del concreto a 28 días*



*Nota.* Adaptado de Garay y Quispe (2016).

Cahui (2021) sostiene que:

Debido a la deficiencia en las construcciones de edificaciones en Moquegua se planteó mejorar la resistencia de un concreto  $f'c$  210  $kg/cm^2$  con el empleo de aditivo superplastificante reductor de agua en proporciones respecto al peso de cemento de 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 3% a edades de 7, 14, 21 y 28 días de curado

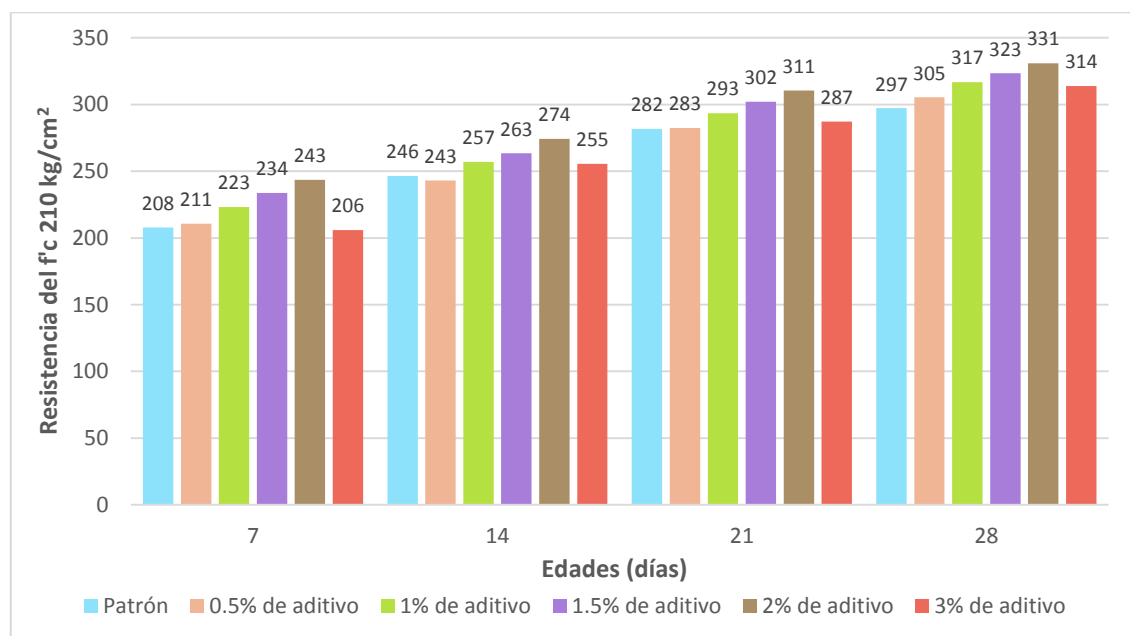


manteniendo la relaciona agua-cemento constante. Se realizaron ensayos a compresión teniendo resultados óptimos con el uso del aditivo incrementando la resistencia y alcanzando un resultado de 331.0 kg/cm<sup>2</sup>. (pp. 66-76)

En la Figura 7, se muestra los resultados de resistencia a la compresión donde se evidencia las resistencias a la compresión, al incrementar la dosificación de aditivo y trabajando de forma constante con la misma relación agua/cemento obteniendo así una dosificación óptima de 2%.

**Figura 7**

*Resistencia a la compresión según dosificación de aditivo*



*Nota.* Adaptado de Cahui (2021).

Heredia (2017) expone que:

La región San Martín tiene una tendencia de crecimiento constante en la construcción por ello, se usa los recursos de la zona como son los agregados que se encuentran en gran cantidad. Se usó agregados provenientes de la cantera Buenos Aires la cual tiene un porcentaje que pasa la malla N° 200 de 7.9%, por lo cual se planteó como objetivo elaborar un diseño de concreto de alta resistencia f'c 900 kg/cm<sup>2</sup> con el uso de aditivo superplastificante y microsílíce. Elaboró tres mezclas: concreto patrón con relación agua-cemento de 0.40, concreto con el uso de aditivo en una dosificación de 1.5% con una reducción de agua-cemento de 0.25 y por último un concreto con aditivo superplastificante de 1.4% más la

adición de microsílíce del 9.5%. Se realizó ensayos a compresión de las probetas curadas a 3, 7, 28 y 56 días. Presentó resultados de aumento de resistencia a 56 días con el empleo de aditivo superplastificante, pero un mayor crecimiento con la adición de microsílíce llegando a alcanzar los 1121 kg/cm<sup>2</sup>. (pp. 131-148)

En la Tabla 7 se muestra las proporciones por volumen en obra de los diseños de mezclas finales, por lo que se aprecia la disminución de agua en la mezcla con aditivo superplastificante.

**Tabla 7**

*Resumen de dosificación volumétrica de los diseños de mezclas*

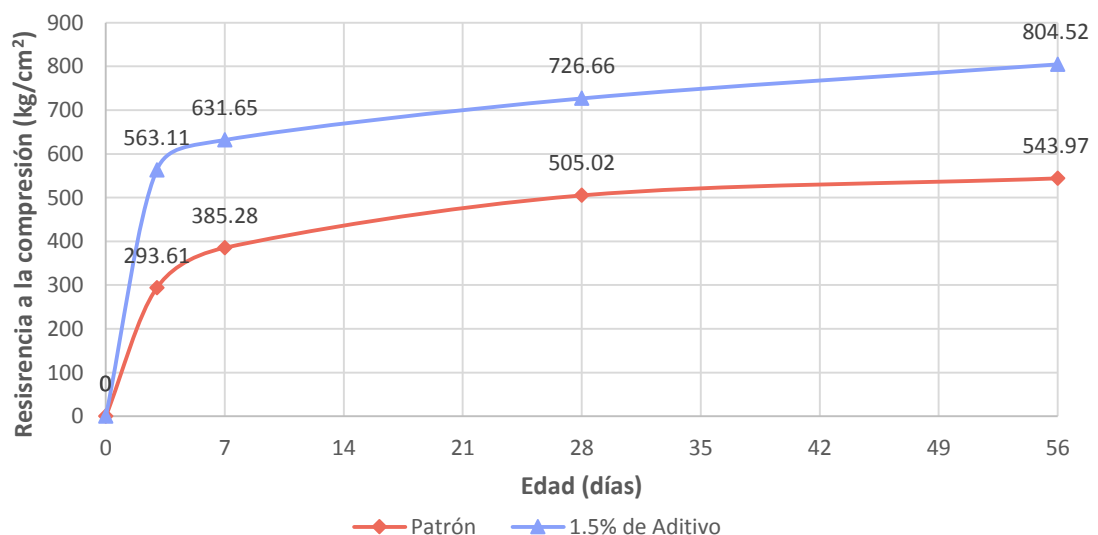
Mezcla	Cemento	Agua (l)	Agregado fino	Agregado grueso	Aditivo (kg)
Patrón	1	17.40	0.85	1.62	-
1.5% de Aditivo	1	11.20	0.97	1.90	0.64

*Nota.* Adaptado de Heredia (2017).

En la Figura 8, se evidencia el resultado del ensayo de resistencia a la compresión con una mejora significativa con el empleo de aditivo superplastificante de 1.5% a 3, 7, 28 y 56 días.

**Figura 8**

*Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla de concreto*



*Nota.* Adaptado de Heredia (2017).

### 2.2.3 *Artículos relacionados con el tema*

Martínez y Torres (2013) sostienen que:

Los áridos tienen relevancia en las propiedades del hormigón, ya que son materiales que representan aproximadamente el 50% de los recursos consumidos. Tuvieron como objetivo presentar la influencia de distintos niveles de finos calizos y arcillosos en las propiedades mecánicas y reológicas para los morteros. Se utilizó la adición de filler pasantes de la malla N° 200 en 3%, 5% y 7% de dos canteras: Canal de Cienfuegos y Coliseo de Matanzas. Se realizaron los ensayos correspondientes tales como resistencia a la compresión y flexión a los 3, 7 y 28 días y según los valores obtenidos, se destaca la arena de Coliseo de Matanzas dado a sus resistencias en flexión y compresión resultaron mayores a los de Canal de Cienfuegos, dado que existe una mayor cohesión entre la pasta de cemento y las partículas de arena. Además, la presencia de fillers calizos libres de arcilla influyen tienen un efecto positivo en la durabilidad, sin influir en los resultados mecánicos. (pp. 56-59)

Cabrera et al (2011) manifiestan que:

Dada la escasez de agregados naturales en algunas regiones provinciales de la República Argentina, investigaron de forma experimental el estado fresco de morteros y concretos con agregado fino de arenas de machaqueo, contrastando con arenas naturales, orientado a la influencia del contenido de polvo sobre la reología de las mezclas. Para ello realizaron comparativas entre dos agregados con diferentes cantidades de material que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  de (10% y 0.5%) con 4 distintas proporciones de agua-cemento 0.46, 0.51, 0.59 y 0.67; dando, así como conclusión que para mantener la proporción de a/c constante se reduce el asentamiento, la consistencia tendrá una reducción en la fluidez y la resistencia no se verá perjudicada. (pp. 405-407)

Abou-Zeid y Maher (2003) manifiestan que:

Dada al incremento de la trituración de rocas en las diferentes regiones de diversos países, se ha evidenciado un incremento en la cantidad de finos y a su vez generando preocupación a los productores de agregados. Por ello tuvieron como objetivo evaluar la influencia de los finos menores a 75  $\mu\text{m}$  en las propiedades clave del concreto, tales como la demanda de agua, densidad, asentamiento,

contenido de aire y resistencia a la compresión y flexión. Para llevar a cabo esta evaluación, se llevaron a cabo un total de 19 mezclas de concreto con agregado de dolomita y finos resultantes de su trituración, al mismo tiempo se emplearon aditivos tipo A y F según lo establecido en la norma ASTM C494. (pp. 281-285)

Las proporciones empleadas de las 19 mezclas se observan en la Tabla 8, donde se puede analizar la comparación entre los diseños 7 y 17 que involucra el empleo de un aditivo tipo F para así reducir la cantidad de agua.

**Tabla 8**

*Proporciones de mezcla de concreto*

Diseño	Cemento (kg)	Agua (kg)	a/c	A. Fino (kg)	A. Grueso (kg)	Finos %*	Aditivo (L)	Asentamiento (mm)
1	350	170	0.49	654	1176	0	-	80 a 100
2	350	152	0.43	667	1201	0	1.5 Tipo A	80 a 100
3	350	142	0.41	671	1208	0	2.5 Tipo A	80 a 100
4	350	170	0.49	619	1114	5	-	0
5	350	152	0.43	635	1143	5	1.5 Tipo A	0
6	350	142	0.41	643	1158	5	2.5 Tipo A	0
7	350	217	0.62	575	1034	5	-	80 a 100
8	350	191	0.55	602	1083	5	1.5 Tipo A	80 a 100
9	350	183	0.53	605	1088	5	2.5 Tipo A	80 a 100
10	350	141	0.43	623	1121	5	15 Tipo A	15
11	350	135	0.41	629	1133	5	15 Tipo A	10
12	350	141	0.41	680	1225	0	3.5 Tipo F	80 a 100
13	350	132	0.38	687	1237	0	7.0 Tipo F	80 a 100
14	350	141	0.41	651	1172	5	3.0 Tipo A	0
15	350	132	0.38	657	1182	5	7.0 Tipo A	0
16	350	175	0.5	616	1109	5	3.0 Tipo A	80 a 100
17	350	156	0.45	630	1134	5	7.0 Tipo F	80 a 100
18	350	127	0.41	635	1143	5	20 Tipo F	25
19	350	118	0.38	646	1163	5	20 Tipo F	20

*Nota.* Adaptado de Abou-Zeid y Maher (2003).

Del mismo modo en la Tabla 9 se puede observar y analizar los resultados de las diversas propiedades del concreto.

**Tabla 9***Resultado de pruebas de concreto fresco y endurecido*

Diseño	Densidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Aire %	Asentamiento (mm)	Resistencia a la compresión (MPa)			Resistencia a la flexión - 28 días (MPa)
				3 días	7 días	28 días	
1	2295	1.5	80 a 100	13.1	20.5	31.4	3.4
2	2355	1.8	80 a 100	28.6	33.6	36.2	4.8
3	2410	2.2	80 a 100	23.2	34.2	41.3	4.5
4	2360	3.2	0	25.1	26.2	33.6	4.4
5	2375	3.2	0	25.4	32.3	45.2	4.8
6	2405	3.1	0	12	22.7	47.3	4.7
7	2210	3.4	80 a 100	-	18.9	22.8	3.5
8	2285	2.9	80 a 100	22.2	26.5	34.2	4.5
9	2250	3.3	80 a 100	17.6	23.1	29.8	3.6
10	2210	4.8	15	0.4	0.8	3.2	0.2
11	2235	4.6	10	0.8	1.1	4.9	0.3
12	2395	1.3	80 a 100	25.6	27.6	39.3	4.7
13	2360	1.5	80 a 100	30.4	34.1	42.1	4
14	2415	2.3	0	28.2	32.9	39.8	4.7
15	2395	2.6	0	26.8	35.8	43.2	4.2
16	2325	2.9	80 a 100	23.5	27.7	34.8	4.6
17	2370	3.1	80 a 100	29	30.3	39.3	4.9
18	2245	3.9	25	24.3	30.9	40.9	3.4
19	2255	3.8	20	25.4	25.7	41.3	3.6

*Nota.* Adaptado de Abou-Zeid y Maher (2003).

Muñoz y Oreamuno (1995) sostienen que:

En el Valle Central de Costa Rica las arenas de tajo presentan un alto contenido de finos por ello, en su estudio busca determinar el efecto producido por los finos que pasan la malla N° 200 en las propiedades del concreto con adiciones. Para ello diseñaron diferentes tipos de mezclas teniendo dos cementantes diferentes, una con caliza y otra con puzolana, incorporaron el material fino en cantidades de 5%, 12% y 25%, con el fin de obtener resistencias de diseño de 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 7, 28, 56 y 100 días de curado. Finalmente determinaron con los resultados obtenidos que a mayores resistencias de diseño el efecto de retraso en el tiempo de fraguado final es menor, y mientras mayor cantidad del material fino que se encuentra por debajo del tamaño de la abertura de la malla N° 200, existe mayor tendencia a reducir las resistencias a edades tempranas. (pp. 71-81)

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Aditivo químico

“Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado” (Kosmatka, et al., 2004, p. 135).

Del mismo modo la normativa ASTM C494 considera cualquier aditivo químico que modifique las características tanto en estado fresco como posterior al fraguado del concreto, pudiendo así clasificar en 8 diferentes tipos como indica la Tabla 10 según el propósito, requerimiento o exigencia de las diferentes construcciones.

**Tabla 10**

*Clasificación según la ASTM C494 de aditivos químicos*

<b>Tipo</b>	<b>Función</b>
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos aceleradores
D	Aditivos reductores y retardadores de agua
E	Aditivos reductores de agua y aceleradores
F	Aditivos reductores de agua de rango alto
G	Aditivos reductores de agua, de alto rango y retardante
S	Aditivos de rendimiento específico

*Nota.* Obtenido de la norma ASTM C494 (2017).

### 2.3.2 Aditivo reductor de agua de alto rango

Estos aditivos químicos, presenta como beneficio principal disminuir de forma considerable la demanda de agua, o cemento permitiendo diseñar concretos con menor relación agua-cemento (Kosmatka et al., 2004) así como también mantener de forma eficaz una trabajabilidad en concreto de baja relación a/c por un tiempo adecuado (Sotomayor, 2020).

Los aditivos químicos con características de reducción de agua en los diversos concretos se pueden clasificar según su capacidad de reducción, o la materia prima que la compone, lo que se puede evidenciar en la Tabla 11.

**Tabla 11***Clasificación de los aditivos reductores de agua*

Descripción Capacidad de Reducción	Rango de dosis % del peso de cemento	Base del aditivo
De rango normal, con 5% a 8% de capacidad de reducción.	Desde 0.1% a 0.5%	Lignosulfonatos
De rango medio, con 6% a 12% de capacidad de reducción.	Desde 0.2% a 0.6.	Lignosulfonato, Polinaftaleno sulfonatado (PNS), policarboxilato éter (PCE)
Reductores de agua de rango (superplastificantes e hiperplastificantes), con un alcance de reducción entre el 12% a 40%.	Para el rango de reducción de 12% a 30%, con el uso del PNS será de 0.5% a 2.0%. Para alcanzar una reducción de 40%, se dará con el uso del PCE en dosis de 0.5% a 1.5%.	Polinaftaleno sulfonatado (PNS), policarboxilato éter (PCE), poliacrilato.

*Nota.* Adaptado de Sotomayor (2020).

### 2.3.3 *Propiedades físicas*

**2.3.3.1 Trabajabilidad.** “Representa la facilidad para preparar el concreto, transportarlo a obra, colocarlo al interior del encofrado, consolidarlo y darle el acabado final, sin que ocurra en ninguna de las etapas mencionadas problemas de segregación, exudación o asentamiento superficial” (Sotomayor, 2020, p. 258).

### 2.3.4 *Propiedades mecánicas*

La resistencia se considera como la capacidad estructural de soporte ante la ampliación de esfuerzo y cargas los cuales se encuentran relacionados con la relación agua-cemento del concreto, éstas resistencias llegan a alcanzar sus máximos valores mediante el proceso de hidratación y por el curado adecuado (Pasquel, 1998). Éstas se pueden evaluar mediante diversos esfuerzos como la compresión y flexión.

**2.3.4.1 Resistencia a la compresión.** Es la característica más relevante y valorada por los profesionales del ámbito de la construcción, ya sea en la elaboración de diseños estructurales o en campo como punto de conformidad para el encargado del control de calidad y/o supervisión (Sotomayor, 2020).

**2.3.4.2 Resistencia a la flexión.** Se puede cuantificar al evaluar una falla estructural en una losa o viga producto por momento, representada mediante el módulo de rotura (M.R.) siendo un valor aproximado entre una a dos décimas partes de la resistencia a la compresión del mismo material (NRMCA, 2016).

### 2.3.5 *Agregados del concreto*

Según el comité ACI E-701 (2016) los agregados son materiales compuestas por partículas sueltas y de textura granulada como grava, escoria de hierro de alto horno, piedra procesada, arena u hormigón de cemento hidráulico triturado.

Una especificación de consenso típica para agregados de concreto fino y grueso es la NTP 400.037 o su similar en ASTM C33, donde se considera los diferentes requisitos que debe tener el agregado, como gradación, inalterabilidad y los límites de sustancias deletéreas como se indica en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino*

Ensayo	Porcentaje del total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	3.0
Material más fino que la malla normalizada 75 µm (No. 200):	
Concreto sujeto a abrasión.	3.0 <sup>A</sup>
Otros concretos.	5.0 <sup>A</sup>
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0.5
Otros concretos.	1.0

<sup>A</sup> En el caso de arena manufacturada los porcentajes de material más fino que la malla normalizada 75 µm (No. 200) pueden aumentarse a 5.0% y 7.0% respectivamente, siempre que estén libres de arcillas o limos. Para la caracterización de esos finos, existen diversos métodos disponibles, dentro de ellos el de Equivalente de Arena de la norma ASTM D 2419.

*Nota.* Obtenido de la normativa (ASTM C33, 2018).

### **2.3.6 Material que pasa la malla N° 200**

El cálculo de la cantidad de material pasante la malla N° 200 se encuentra estandarizada en la norma ASTM C117 o su semejante NTP 400.018, el cual indica que una fracción del agregado será lavado mediante la agitación manual, y de ser necesario un agente disolvente; posteriormente se verterá el contenido sobre los tamices N°16 y N°200 hasta que el agua presente una apariencia limpia, finalmente el porcentaje se obtendrá de los pesos del material eliminado respecto a la muestra original seca.

## **2.4 Definición de términos básicos**

- Agregado fino: “Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 µm (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente norma” (NTP 400.037, 2018, p. 6).
- Relación agua – Cemento: “Se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en la condición de saturado superficialmente seco, es decir que ni toma ni aporta agua a la mezcla” (Rivva, 2013, p. 91)
- Concreto estructural: De acuerdo a la norma E.060 (2009) es “todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado” (p. 13).



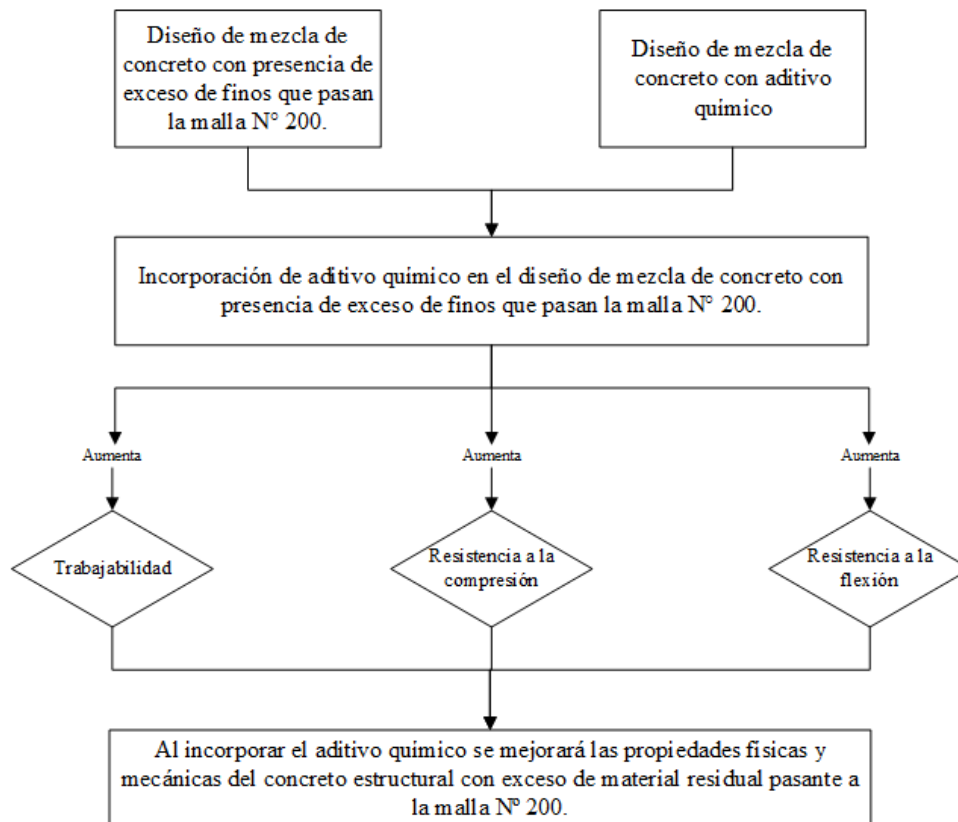
- Cemento: La norma E.060 (2009) lo define como “material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (p. 12).
- Dosificación: “Proceso de medición por peso o por volumen, de los ingredientes y su introducción a la mezcladora para una cantidad de concreto, mortero, grout o revoque” (ICG, 2010, p. 44).
- Consistencia: “Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada” (Abanto, 2018, p. 50).

## 2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la tesis

La Figura 9 presenta un diagrama flujo que representa la estructura conceptual que sustenta el desarrollo de la tesis.

**Figura 9**

*Mapa conceptual que sustentan la tesis*



*Nota.* Elaboración propia

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 *Hipótesis general*

Al incorporar el aditivo químico se mejora las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200.

#### 3.1.2 *Hipótesis específicas*

a. Al incorporar el aditivo superplastificante mejora el asentamiento del concreto estructural.

b. Al incorporar el aditivo superplastificante mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

c. Al incorporar el aditivo superplastificante mejora la resistencia a la flexión del concreto estructural.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 *Variable independiente*

Aditivo químico

#### 3.2.2 *Variable dependiente*

Propiedades físicas y mecánicas

### 3.3 Sistema de variables

#### 3.3.1 *Definición conceptual*

**3.3.1.1 Variable independiente aditivo químico.** Según el comité ACI 212 (2016) los aditivos químicos constituyen en su mayoría compuestos que presentan solubilidad en agua y son ampliamente utilizados con el propósito de alterar y ajustar las propiedades del concreto, mortero o lechada; ya sea en su estado plástico, cuando aún no ha fraguado, en estado endurecido, cuando ya ha adquirido resistencia o inclusive en ambos estados.

**3.3.1.2 Variable dependiente propiedades físicas y mecánicas.** Dentro de las propiedades de concreto estas se encuentran divididas en estado fresco y endurecido, siendo las más importantes la trabajabilidad, estabilidad, segregación para el estado fresco y propiedades como elasticidad, resistencia y extensibilidad para el estado endurecido (Pasquel, 1998).

### **3.3.2 Definición operacional**

**3.3.2.1 Variable independiente: aditivo químico.** El impacto de los aditivos en una mezcla de concreto busca aumentos en la resistencia mecánica en todas las edades, mejoras en la permeabilidad, fraguado, durabilidad, trabajabilidad, entre otras características (ACI Committee 212, 2016).

**3.3.2.2 Variable dependiente: propiedades físicas y mecánicas.** Las propiedades de concreto están en relación a la selección de estructura destinada, por ello es importante la colocación, calidad de concreto, y un adecuado diseño en la elaboración de mezclas (Rivva, 2013).

### 3.3.3 Operacionalización de las variables

**Tabla 13**

*Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Escala</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Herramientas</b>
V. I. Aditivos químicos	Según el comité ACI 212.3R (2016) los aditivos químicos constituyen en su mayoría compuestos que presentan solubilidad en agua y son ampliamente utilizados con el propósito de alterar y ajustar las propiedades del concreto, mortero o lechada; ya sea en su estado plástico, cuando aún no ha fraguado, en estado endurecido, cuando ya ha adquirido resistencia o inclusive en ambos estados	El impacto de los aditivos en una mezcla de concreto busca aumentos en la resistencia mecánica en todas las edades, mejoras en la permeabilidad, fraguado, durabilidad, trabajabilidad, entre otras características (ACI 212.3R, 2016).	Reductor de agua	Superplastificante	Dosificación	porcentaje	Cuantitativa Continua	Ficha técnica	Norma ASTM C494
V. D. Propiedades del concreto	Dentro de las propiedades de concreto están se encuentran divididas en estado fresco y endurecido, siendo las más importantes la trabajabilidad, estabilidad, segregación para el estado fresco y propiedades como elasticidad, resistencia y extensibilidad para el estado endurecido (Pasquel, 1998).	Las propiedades de concreto están en relación a la selección de estructura destinada, por ello es importante la colocación, calidad de concreto, y un adecuado diseño en la elaboración de mezclas (Rivva, 2013).	Físicas  Mecánicas	Trabajabilidad  Fluidez  Consistencia  Resistencia	Asentamiento  Compresión  Flexión	pulgadas  kg/cm2  kg/cm2	Cuantitativa Continua	Formato del laboratorio	Norma ASTM 400.037

*Nota.* Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Método de la investigación**

La investigación presentada se fundamentó en la utilización de un enfoque metodológico deductivo, en vista de que por medio del desarrollo experimental y la preparación de especímenes de concreto se estableció el desempeño del aditivo sobre las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto con presencia de finos. La orientación de esta investigación se clasifica como aplicada, ya que su enfoque principal es analizar y evaluar el rendimiento de las características físicas y mecánicas del concreto en presencia de material fino, al considerar la incorporación de un aditivo químico. Siguiendo la metodología empleada por Chavarry et al. (2020), el cual describe de la siguiente manera: método de la investigación deductivo, de orientación aplicada, enfoque cuantitativo, recolección de datos retrolectivo, de tipo descriptivo, explicativo y correlacional, con un diseño experimental, longitudinal y retrospectivo; siguiendo un estudio de cohorte.

El enfoque adoptado en este estudio es de naturaleza cuantitativa, puesto que se elaboraron cálculos durante y posterior a la ejecución de los ensayos propuestos, de igual forma se desarrolló cuadros estadísticos y gráficos que permiten reflejar los resultados de manera adecuada para poder contrastar las hipótesis planteadas.

El método utilizado para recolectar datos es retrolectivo porque se usó los formatos establecidos en laboratorio.

### **4.2 Tipo de la investigación**

La investigación expuesta se enmarca dentro de un enfoque descriptivo-explicativo y correlacional, descriptiva dado que detalla la problemática respecto a la disminución de canteras; y correlacional al examinar las relaciones causales y la interdependencia entre las variables analizadas en el estudio.

### **4.3 Nivel de investigación**

La presente investigación pertenece a un nivel descriptivo puesto que se cuantificó y representó los resultados de ensayos mediante una correlación básica mediante gráficos visuales y análisis de regresión lineal.

### **4.4 Diseño de la investigación**

Se consideró experimental en vista de que la presente investigación necesitó de procedimientos y ensayos propios en un laboratorio especializado para poder realizar un adecuado tratamiento de datos.

Además, se considera como un estudio longitudinal en vista que el número de mediciones está relacionado con lo indicado en la norma E. 060 respecto a las edades de ensayos de resistencia en los especímenes de concreto.

Dada la cronología de las observaciones, es prospectivos porque los datos fueron tomados de ensayos propios.

Para el estudio del diseño, dado que el estudio es experimental y los grupos de estudio se definieron por las exposiciones a la causa y se analizaron los efectos en los resultados, se considera de tipo cohortes.

## 4.5 Población y muestra

### 4.5.1 Población

Para el presente trabajo de investigación la población son todas las probetas y vigas diseñadas considerando las especificaciones de la Norma E 060.

### 4.5.2 Muestra

El muestreo del estudio es considerado de naturaleza no probabilístico, dado que los especímenes son diseñados y preparados por los investigadores, alineándose a las normativas vigentes, con la finalidad de tener un resultado adecuado y representativo.

La investigación presenta una muestra conformada por 48 vigas prismáticas de concreto de 6 x 6 x 20 pulgadas y 96 probetas cilíndricas de 4 x 8 pulgadas, estas se agruparon según la edad de la muestra, representada en la Tabla 14; según la cantidad de diseños, como se muestra en la Tabla 15; y al mismo tiempo según la procedencia del agregado, representado en la Tabla 16.

**Tabla 14**

*Cronograma de rotura de especímenes de concreto*

Especímen	Medidas	Cantidad por día de rotura				Cantidad total
		3 días	7 días	14 días	28 días	
Probeta	4" x 8"	3	3	3	3	12
Viga	6" x 6" x 20"	-	2	2	2	6

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 15**

*Diseños planteados por cantera*

Diseño de Mezcla	Descripción	Agua	Pasante malla N° 200	Uso de Aditivos
Caso 1	Mezcla limpia – patrón	Constante	No (Lavado)	No
Caso 2	Mezcla de baja trabajabilidad	Constante	Sí	No
Caso 3	Mezcla de baja resistencia	Aumenta	Sí	No
Caso 4	Mezcla propuesta con aditivos	Constante	Sí	Sí

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 16***Muestra según procedencia del agregado fino*

Cantera	N° de diseños	Especímenes por diseño	
		Probeta	Viga
A	4	48	24
B	4	48	24
<b>Total</b>	8	96	48

*Nota.* Elaboración propia

#### **4.6 Técnicas e instrumentación de recolección de datos**

##### **4.6.1 Herramientas e instrumentos de recolección de datos**

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Ricardo Palma. Los equipos e instrumentos son de última tecnología y están calibradas tal como indica la normativa. Además, tienen un constante mantenimiento, son de gran fiabilidad y poseen garantía de validez para las pruebas a realizarse.

Para la recolección de datos, se utilizó una ficha de cálculo para colocar la data obtenida en los ensayos, el cual permitió establecer las conclusiones del trabajo. Además, se utilizaron los formatos establecidos por el laboratorio para los ensayos a realizar.

Herramientas:

- ASTM C-172 / NTP 339.036 “Práctica normalizada para el muestreo de mezclas de concreto fresco”.
- NTP 339.184 “Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto”.
- NTP 339.035 / ASTM C 143 “Método de ensayo normalizado para la medición del asentamiento del concreto fresco con el cono de Abrams”.
- NTP 339.034 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”.
- NTP 339.079 “Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas con carga en el centro del tramo”.

##### **4.6.2 Métodos y técnicas**

Se emplearon métodos y técnicas como los ensayos en estado fresco y endurecido del concreto dentro del laboratorio para determinar el efecto del aditivo en las mezclas con material de menor tamaño que la abertura de la malla N° 200. Se utilizó como técnica la observación en los ensayos en estado fresco y la data recopilada de fuentes fidedignas,

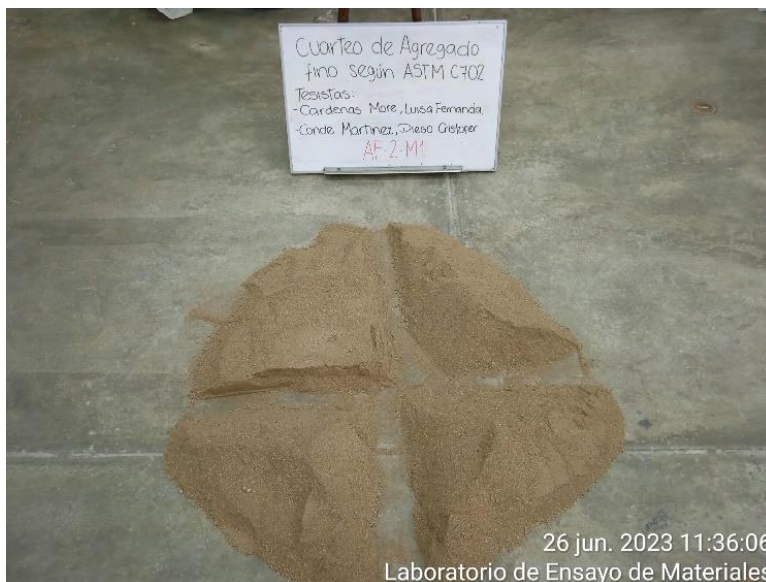
con estas se desarrolló cuadros, tablas personalizadas, gráficos de barras y pastel en el software Excel 2019 con el fin de efectuar los objetivos del presente trabajo investigativo.

Muestreo de agregado fino y grueso:

Para los ensayos de agregados se tomó una muestra representativa de la totalidad por el método del cuarteo como indica la norma ASTM C702 utilizando el método B o manual el cual consiste en colocar la muestra en una superficie nivelada para luego mezclar con una pala alrededor de 3 veces a más. Teniendo el mezclado uniforme, se procede a aplanar con la pala a un diámetro y grosor uniforme para dividir en cuatro cuartos iguales como se muestra en las Figura 10 y Figura 11, finalmente se extrae dos cuartos opuestos incluyendo el material fino.

### **Figura 10**

*Obtención de muestras mediante el cuarteo de agregado fino*



*Nota.* Elaboración propia



## Figura 11

*Obtención de muestras mediante el cuarteo de agregado grueso*



*Nota.* Elaboración propia

Lavado de agregado fino:

Para el lavado de agregado fino se vertió al mezclador una cantidad aproximada de 25 kg al cual se procedió a mezclar alrededor de 2 minutos como se muestra en la Figura 12. Para fines de comodidad primero se echó el agua a un recipiente mediano como se muestra en la Figura 13 para luego esta ser pasada por la malla N° 200 con el fin de eliminar y/o reducir la cantidad de finos como se observa en la Figura 14. Este proceso se repite hasta observar el agua clara sin evidencia de suciedad.

## Figura 12

*Lavado en mezclador de agregado fino*



*Nota.* Elaboración propia

### **Figura 13**

*Traspaso de agua con finos*



*Nota.* Elaboración propia

### **Figura 14**

*Eliminación de finos pasante la malla N° 200*



*Nota.* Elaboración propia

Toma de temperatura del concreto en estado fresco:

Para la toma de temperatura se hizo uso de un termómetro con una aproximación de 0.5°C, se colocará una vez la muestra de concreto haya sido descargada a un contenedor. Para la aplicación, este debe estar sumergido 75 mm o 3 pulgadas dentro del concreto, se

dejó reposar entre 2 a 5 minutos como se muestra en la Figura 15, finalmente se toma la lectura y se registra al 0.5°C más cercano.

### **Figura 15**

*Ensayo de temperatura en estado fresco del concreto*



*Nota.* Elaboración propia

Ensayo de asentamiento o slump:

Para llevar a cabo la prueba de medición del asentamiento o "slump" en el concreto, se requiere utilizar una lámina metálica sobre una superficie nivelada y plana. Esta lámina sirve de base para posicionar el cono de Abrams de manera que su diámetro más grande quede en la parte inferior, tal como se ilustra en la

**Figura 16.** A continuación, se procedió a llenar el cono con la mezcla de concreto en tres estratos equitativos en términos de volumen en el cono truncado. Antes de agregar el tercer estrato, es necesario realizar 25 compactaciones utilizando una varilla lisa con extremos semiesféricos. Esto asegurará una distribución homogénea de la mezcla. Una vez completada la colocación de la tercera capa, se debe dejar un excedente que permita nivelar la parte superior del cono de manera adecuada. Finalmente, se retira el cono en un movimiento vertical en un lapso de 3 a 5 segundos y se ubicó al lado de la muestra. Esto facilita la medición del asentamiento presentado por la mezcla de concreto durante la prueba.

## Figura 16

*Ensayo de asentamiento o toma de slump*



*Nota.* Elaboración propia

Ensayo de resistencia a la compresión:

Dentro del proceso de prueba normalizado empleado para analizar la capacidad de resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, se usarán las muestras que fueron curadas a 7, 14 y 28 días. A continuación, se llevará a cabo un procedimiento de secado superficialmente de las probetas, con el fin de registrar los valores de peso, diámetro y altura. Posteriormente se sitúa la probeta en las bases de neopreno según lo estipulado en la ASTM C1231 y se acomoda la probeta dentro del equipo de compresión (Figura 17) el cual se encarga de aplicar una carga gradual hasta alcanzar su punto de resistencia máxima. Posterior a ello, se registra el valor de la máxima resistencia que pudo soportar la muestra durante el ensayo.

Ensayo de resistencia a la flexión:

La técnica de prueba utilizada para analizar la capacidad de resistencia a la flexión del concreto en vigas de apoyo simple, sometidas a cargas ubicadas en los tercios del tramo, implica inicialmente el cálculo de las dimensiones de la viga que será sometida a ensayo. Una vez determinadas estas dimensiones, se procederá a colocar la muestra en el equipo de flexión hidráulica, que aplicará fuerzas de flexión gradualmente a la viga hasta que alcance el punto de fractura, tal como se ilustra en la Figura 18. Al concluir el proceso, se registrará el valor del esfuerzo máximo que la viga pudo resistir durante el ensayo.

### Figura 17

*Ensayo de resistencia a la compresión*



*Nota.* Elaboración propia

### Figura 18

*Ensayo de resistencia a la flexión*



*Nota.* Elaboración propia

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Características de los agregados

Los agregados son los materiales de mayor incidencia al momento de realizar mezclas de concreto, por lo que obtener sus características son relevantes para tener una mayor información de estos.

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron distintas procedencias como se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17**

*Procedencia de agregados*

Descripción	Ferretería*	Cantera**
Agregado fino AF-1	“Prada” San Juan de Miraflores	Miranda
Agregado fino AF-2	Acopio “Villa del Mar” Villa el Salvador	San Bartolo
Agregado grueso AG	“San Fernando” Santiago de Surco	Chancadora Limatambo

*Nota.* \*Lugar donde se obtuvo el agregado. \*\*Respuesta de las ferreterías acerca del lugar de procedencia.

#### 5.1.1 Propiedades del agregado fino

**5.1.1.1 Granulometría del agregado fino.** La distribución granulométrica de un agregado fino se encuentra alineado a las especificaciones establecidas en la ASTM C33 o la normativa técnica peruana 400.037, en la Tabla 18 se indican los límites recomendados de los porcentajes retenidos producidos por una malla o tamiz.

**Tabla 18**

*Límites granulométricos del agregado fino*

Tamiz #	Tamaño del tamiz en mm	Porcentaje que pasa
3/8”	9.5	100
N°4	4.75	95-100
N°8	2.36	80-100
N°16	1.18	50-85
N°30	600 µm	25-60
N°50	300 µm	5-30
N°100	150 µm	0-10

*Nota.* Adaptado de NTP 400.037 (2018).

Para el ensayo se tomaron los tamices en el siguiente orden 3/8”, N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100 como se muestra en la Figura 19.

## Figura 19

### *Tamizador eléctrico*



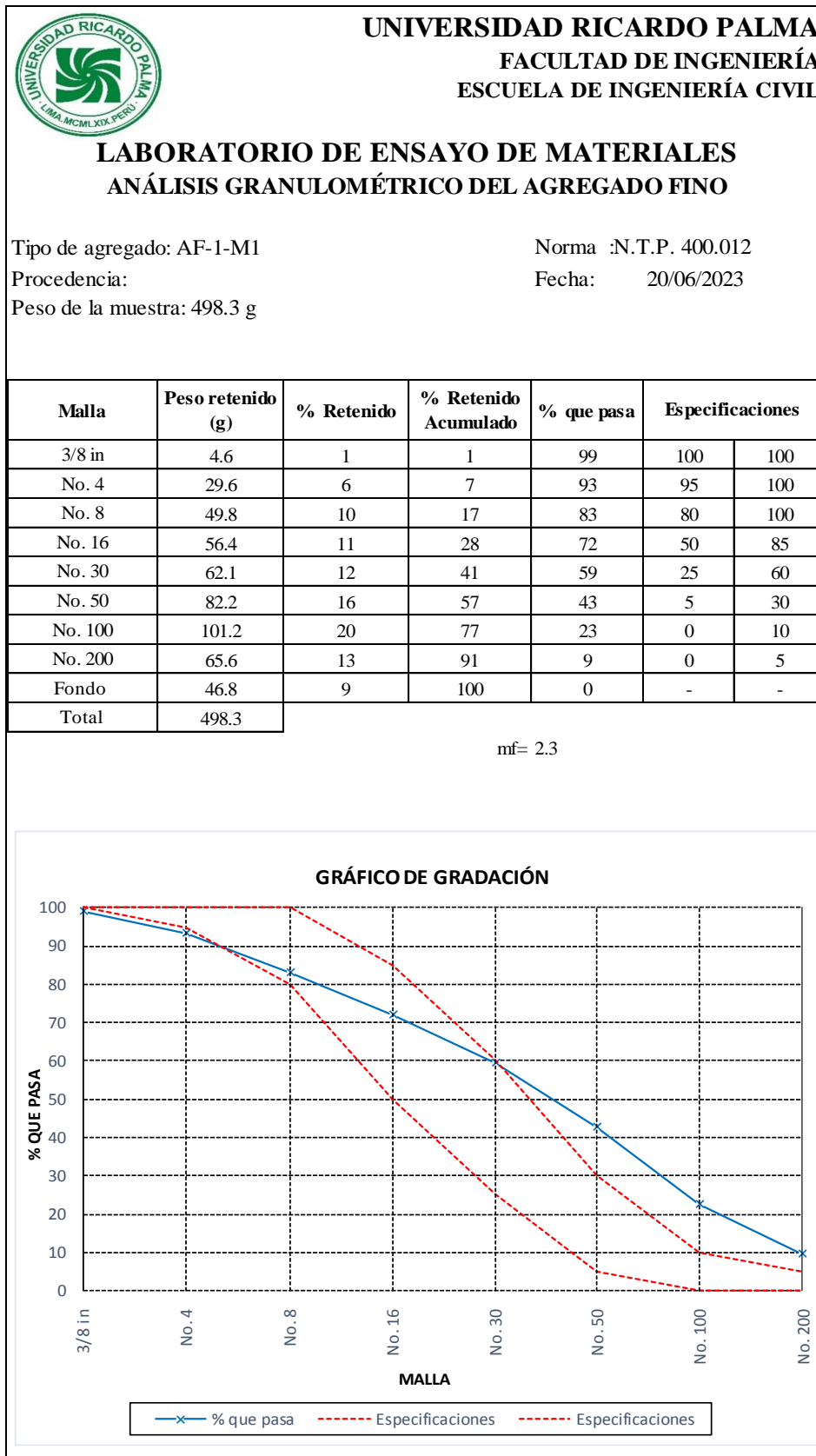
*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 20 **Figura 20**, Figura 21 y Figura 22 **Figura 22** se muestran los formatos de análisis granulométricos del agregado AF-1, con sus respectivas curvas de gradación para las tres muestras. Del mismo modo en las Figura 23, Figura 24 y Figura 25 se encuentra el análisis para el agregado AF-2.



**Figura 20**

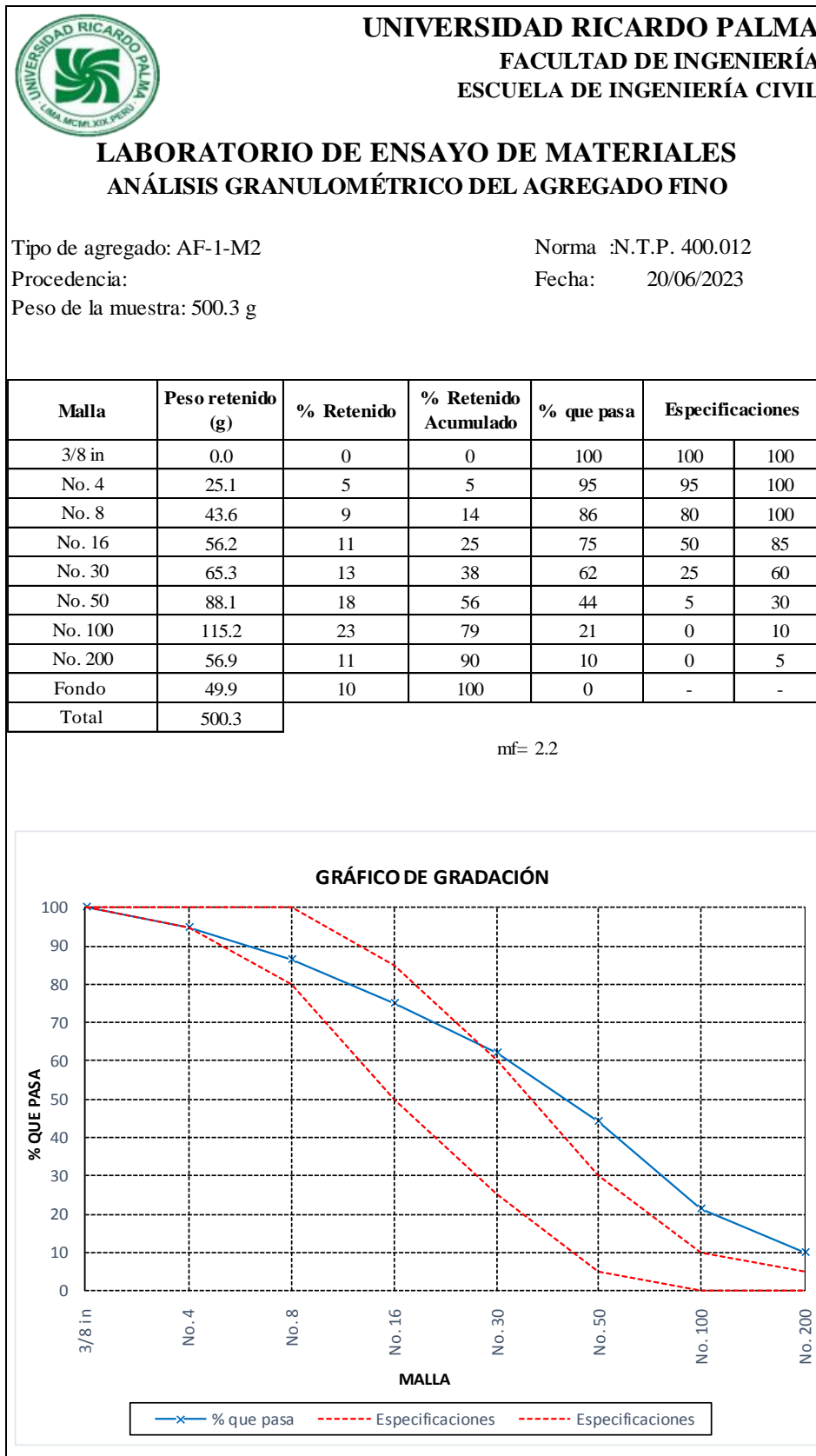
*Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M1*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 21**

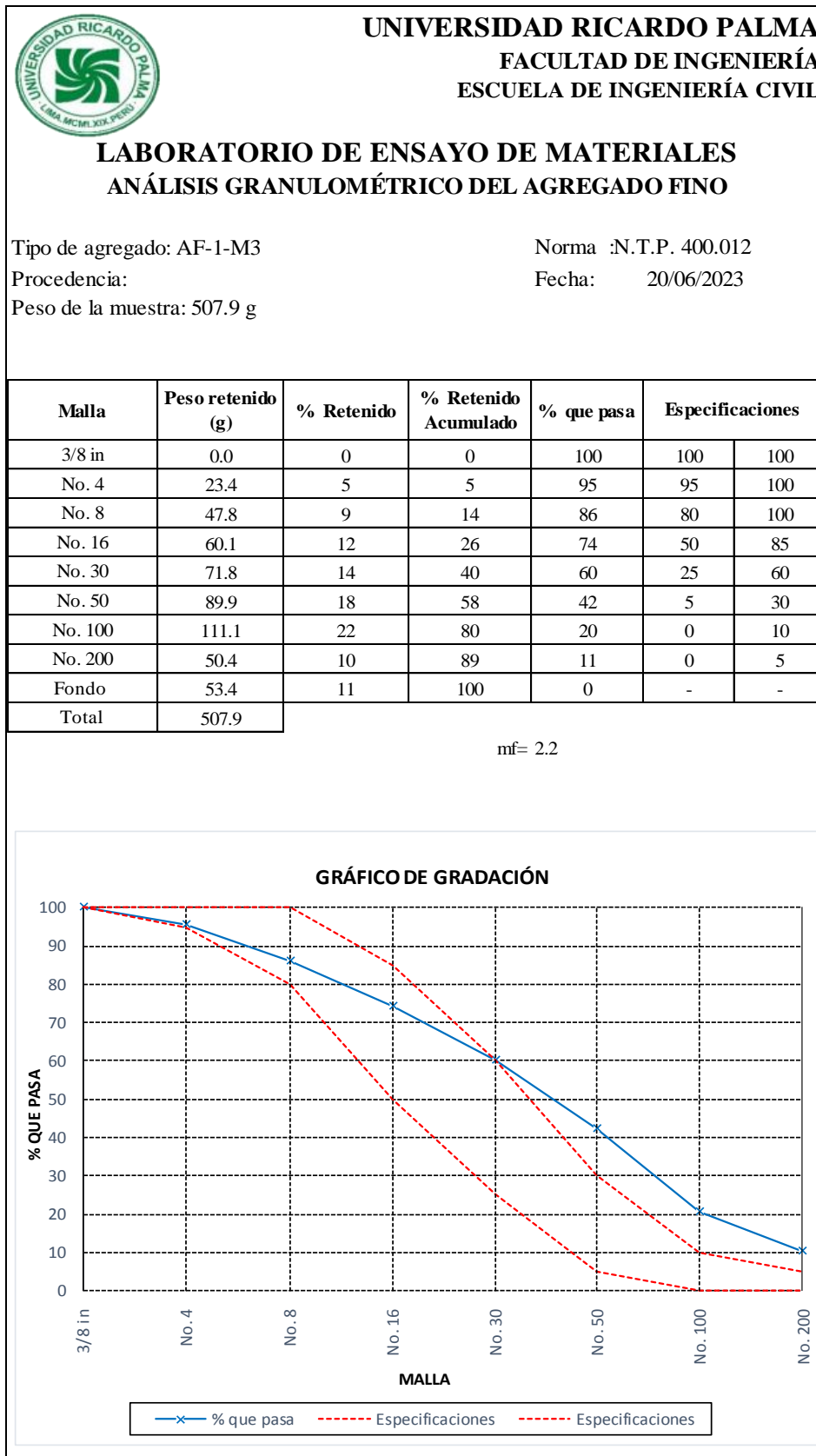
*Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M2*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 22**

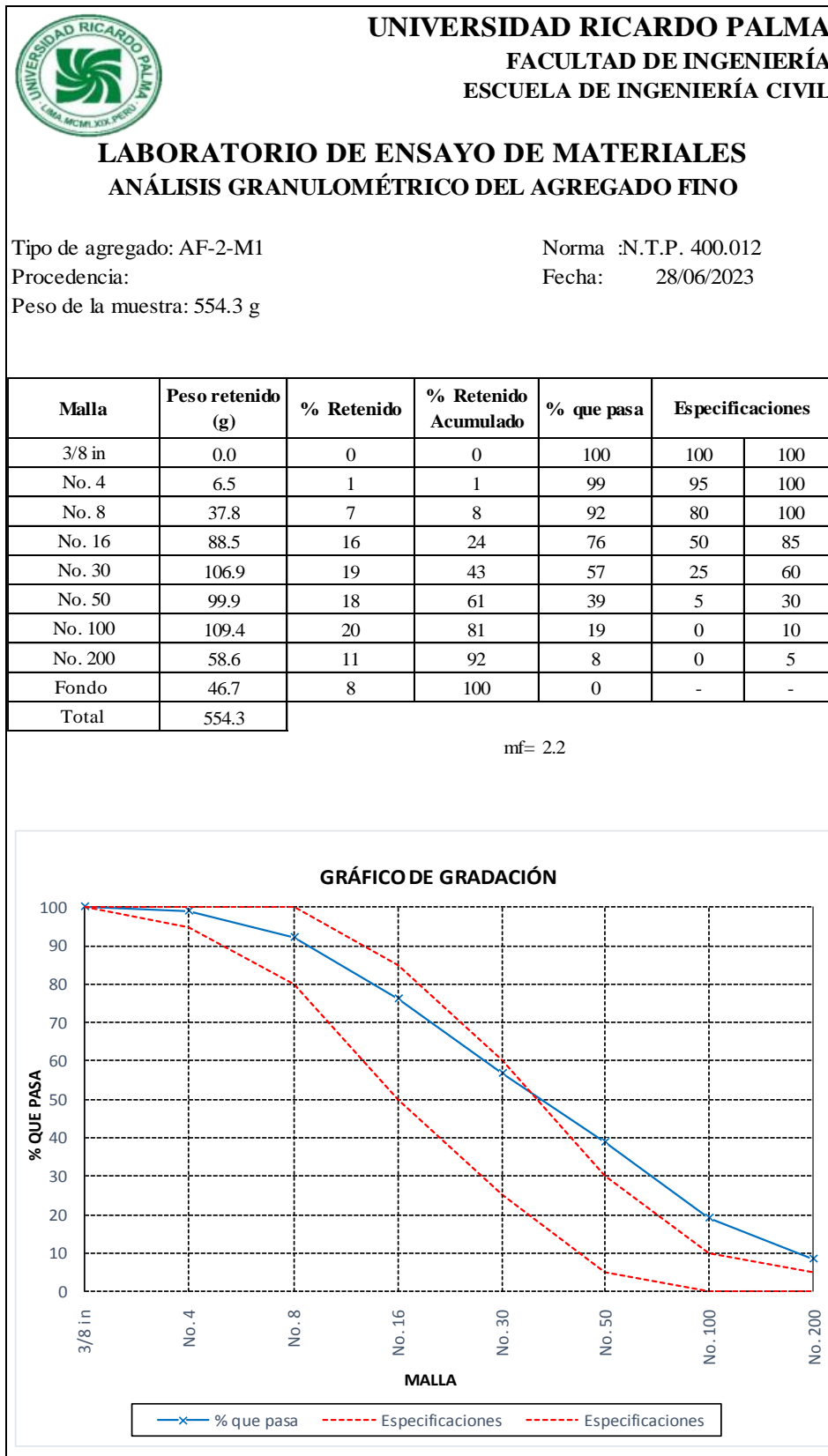
*Análisis granulométrico del agregado fino AF-1-M3*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 23**

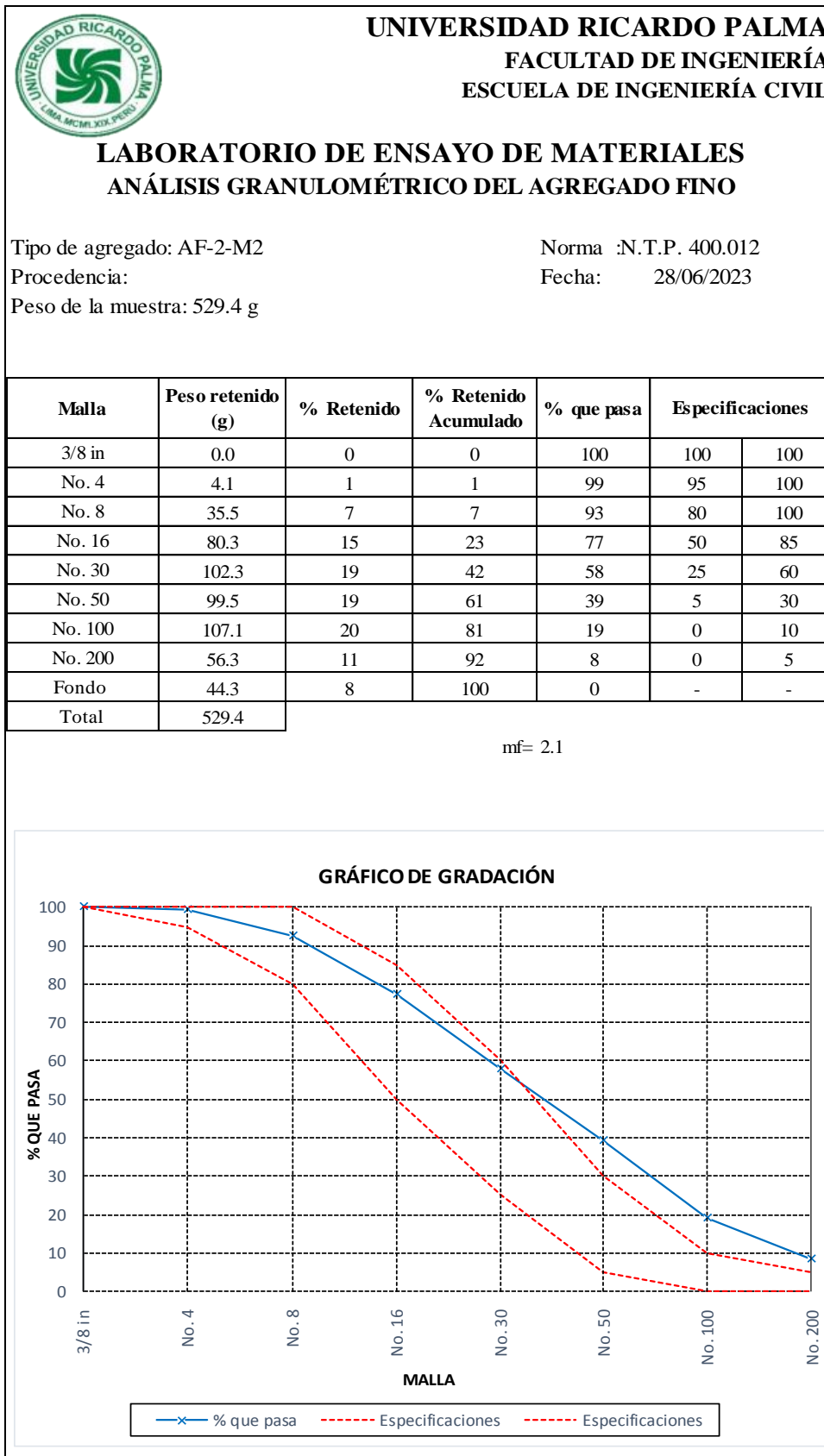
*Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M1*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 24**

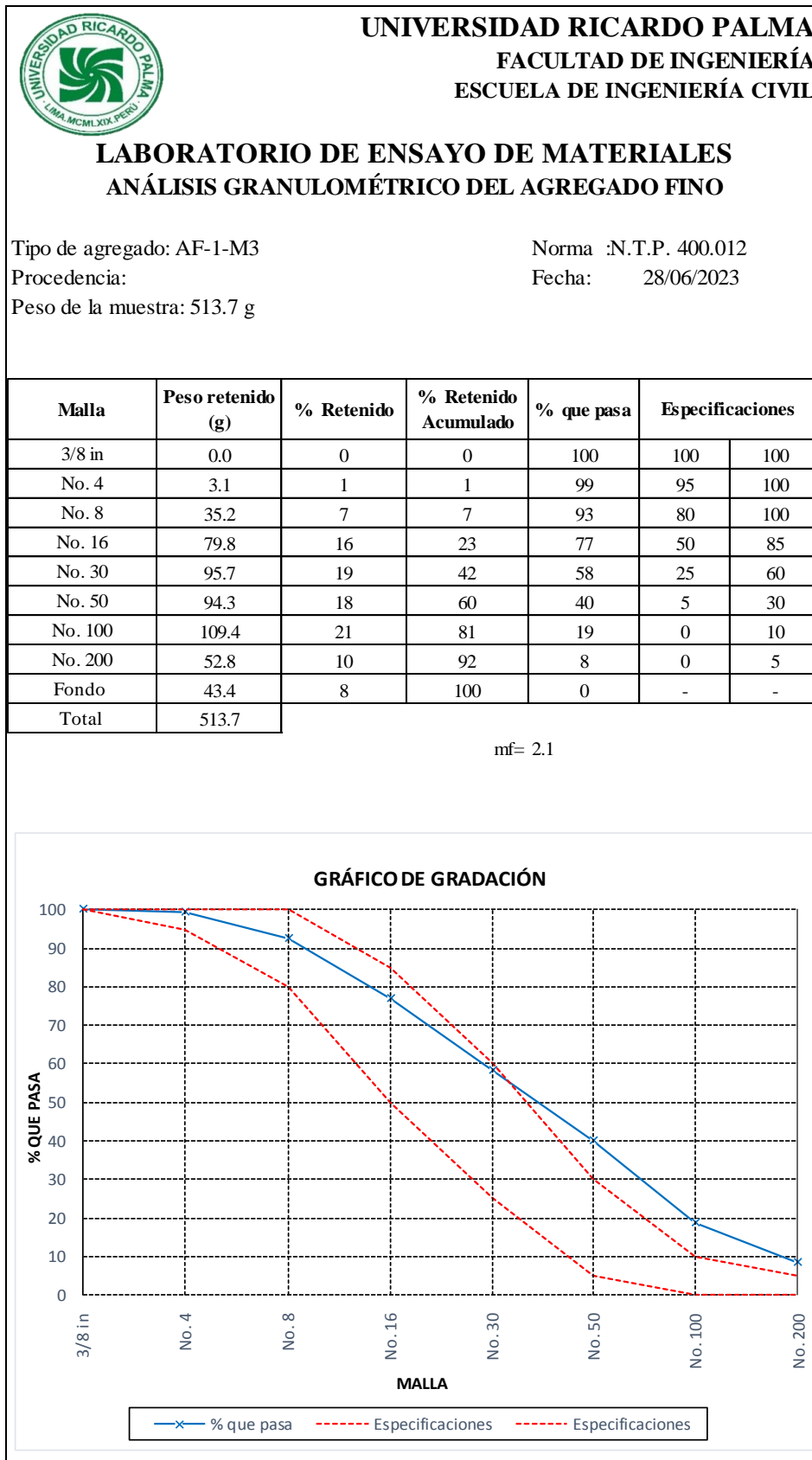
*Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M2*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 25**

*Análisis granulométrico del agregado fino AF-2-M3*



*Nota. Elaboración propia*

#### a)Módulo de finura

Para el cálculo del módulo de finura se debe sumar los porcentajes acumulados de retención en los tamices estándar y dividir la suma entre 100.

La norma técnica peruana 400.037 estipula que el módulo de finura debe situarse en un rango no menor a 2.30 ni mayor 3.10. Además, no debe variar más o menos de 0.20 respecto al valor de la base del módulo, en caso que ocurra variaciones fuera de este rango se debe ajustar la dosificación del concreto.

Los resúmenes de los módulos de finura del agregado dino provenientes de diversas fuentes se presentan en la Tabla 19 y Tabla 20.

**Tabla 19**

*Módulo de finura del agregado fino AF-1*

Descripción	Ensayos			mf Promedio
	AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3	
Módulo de finura	2.28	2.16	2.22	2.2

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 20**

*Modulo de finura del agregado fino AF-2*

Descripción	Ensayos			mf Promedio
	AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3	
Módulo de finura	2.19	2.15	2.14	2.2

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.1.2 Peso Unitario del agregado fino.** Para el cálculo del peso unitario, se usó el recipiente de 1/10 ft<sup>3</sup> al cual se le colocó agua a temperatura ambiente de 23°C obteniendo la densidad del agua para determinar el volumen del recipiente el cual es 0.002807 m<sup>3</sup>. Además, se tomó por muestra 2 ensayos que no deberían diferir en más de 40 kg/m<sup>3</sup> o una desviación estándar máxima de 14 kg/m<sup>3</sup>. (ASTM C29M, 2017)

#### a)Peso unitario suelto

Se llenó la medida del recipiente hasta que desborde, el agregado se coloca de una altura no mayor de 5 cm para evitar la segregación de los tamaños de partículas que componen la muestra ensayada como se muestra en la Figura 26. Se niveló con una regla quitando los excedentes y llenando los vacíos de la superficie.

## Figura 26

### *Ensayo de peso unitario del agregado fino*



*Nota.* Elaboración propia

#### b) Peso unitario compactado

En el recipiente de  $1/10 \text{ ft}^3$  se llenó la primera capa a un tercio y se niveló la superficie con los dedos, luego se procede a dar 25 golpes distribuido uniformemente en la superficie con una varilla. De igual forma en la segunda capa a dos tercios y finalmente en la tercera capa se debe llenar hasta rebosar y nivelar con una regla.

Finalmente, en la



Tabla **21** y Tabla 22 se obtiene el promedio de los pesos unitarios para los pesos unitarios del agregado AF-1 y AF-2 respectivamente.

**Tabla 21***Promedio de peso unitario del agregado fino AF-1*

Descripción	Símbolo	Muestra			Promedio	Unidad
		AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3		
Peso unitario suelto	PUS	1541	1545	1545	1544	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	PUC	1656	1674	1657	1662	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 22***Peso unitario del agregado fino AF-2*

Descripción	Símbolo	Muestra			Promedio	Unidad
		AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3		
Peso unitario suelto	PUS	1632	1636	1642	1637	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	PUC	1783	1787	1779	1783	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.1.3 Peso específico y absorción del agregado fino.** Para llevar a cabo el ensayo se usó 500 g con una tolerancia de  $\pm 10$  g de agregado fino, el cual se dejó reposar la muestra con agua en un recipiente por 24 horas como se muestra en la Figura 27. Posteriormente, se procedió con el proceso de decantación para eliminar el exceso de agua con precaución evitando la pérdida de finos. Luego, la muestra se expuso a una corriente de aire caliente hasta lograr una condición de saturación superficialmente seca. Para comprobar la condición solicitada se realizó la prueba de humedad superficial donde se tomó el cono y el pisón dando golpes en las capas y al retirar el cono se observó como el agregado fino se ha desplomado levemente. En el procedimiento gravimétrico se hizo uso del picnómetro el cual se llenó con 500g  $\pm$  10g de agregado fino saturado superficialmente seco y agua hasta una altura parcial para agitar manualmente con el fin de eliminar las burbujas de aires en un tiempo aproximado de 15 a 20 min. Una vez eliminada las burbujas de aire, se llenó el picnómetro hasta la altura marcada como se muestra en la Figura 28 y se registró los pesos, finalmente se vierte la muestra en un recipiente y es llevada a horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, tomando registro de los pesos secos.

### Figura 27

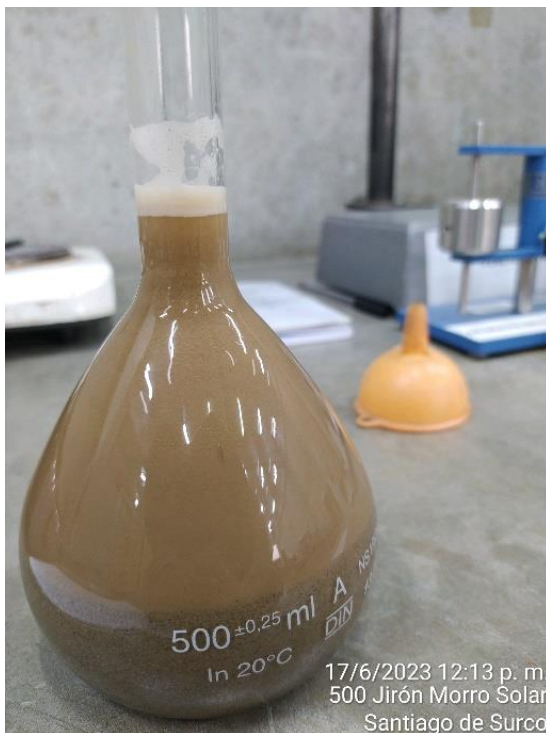
*Muestras de agregado fino sumergido en agua*



*Nota.* Elaboración propia

### Figura 28

*Picnómetro con muestra de agregado fino*



*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 23 y Tabla 24 se presenta los resultados del ensayo de peso específico y absorción del agregado fino AF-1. Mientras que en la Tabla 25 y Tabla 26 se muestra los resultados del agregado fino AF-2.

**Tabla 23***Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-1*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3		
Peso específico de masa seca	G	2.59	2.59	2.56	2.58	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa (sss)	Gsss	2.65	2.65	2.62	2.64	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	Ga	2.75	2.74	2.72	2.74	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	a%	2.3	2.0	2.3	2.2	%

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 24***Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-1 lavado*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3		
Peso específico de masa seca	G	2.68	2.68	2.68	2.68	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa (sss)	Gsss	2.69	2.70	2.70	2.70	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	Ga	2.73	2.73	2.73	2.73	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	a%	0.7	0.6	0.6	0.7	%

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 25***Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-2*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3		
Peso específico de masa seca	G	2.65	2.63	2.64	2.64	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa (sss)	Gsss	2.68	2.66	2.67	2.67	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	Ga	2.72	2.71	2.72	2.72	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	a%	1.1	1.0	1.1	1.1	%

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 26***Ensayo de peso específico y absorción para agregado fino AF-2 lavado*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3		
Peso específico de masa seca	G	2.66	2.66	2.67	2.67	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa (sss)	Gsss	2.68	2.68	2.69	2.69	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	Ga	2.72	2.71	2.73	2.73	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	a%	0.8	0.7	0.7	0.7	%

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.1.4 Material que pasa por la malla N° 200 del agregado fino.** Conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 400.018, el cálculo del porcentaje que pasa la malla N° 200 se logra restando el peso de la muestra lavada y secada del peso total de la muestra. Luego, se divide esta diferencia entre el peso total de la muestra y se multiplica por 100. El rango de precisión en agregados finos es de 1% a 3% del material que atraviesa el tamiz estandarizado de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200).

**Figura 29**

*Lavado de muestras de agregado fino*



*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 27 y Tabla 28 se muestran los resultados del ensayo realizado para el agregado AF-1 y AF-2 respectivamente.

**Tabla 27**

*Material que pasa por la malla N° 200 del agregado fino AF-1*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3		
Malla 200	A	9.4	10.0	10.5	10.0	%

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 28**

*Material que pasa por la malla N° 200 del agregado fino AF-2*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3		
Malla 200	A	8.5	8.4	8.5	8.5	%

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.1.5 Equivalente de Arena.** De acuerdo con la norma NTP 339.146, el objetivo del ensayo es determinar en condiciones normales las proporciones comparativas de suelos con características arcillosas o finas y partículas de polvo en suelos granulares y materiales finos que logran pasar a través del tamiz N° 4. Para el ensayo se prepara los instrumentos necesarios como se muestra en la Figura 30 y luego se sigue el procedimiento detallado a continuación.

**Figura 30**

*Equipo e instrumentos de ensayo*



*Nota.* Elaboración propia

Preparación de muestra y aparato:

Se preparó 1.5 kg para la muestra la cual debe ser pasada por el tamiz N° 4 y un tiempo de 24 horas en horno a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Además, se colocará la solución de cloruro de calcio en las probetas de plástico hasta la altura de 4 pulgadas con una tolerancia de más o menos 1 pulgada como se muestra en la

Figura **31**, mientras se prepara la muestra para ser colocada por un embudo en la probeta dejándose reposar por 10 minutos.

**Figura 31**

*Colocación de la solución preparada*



*Nota.* Elaboración propia

Procedimiento de irrigación:

Se mantiene la probeta vertical y la base en contacto con una superficie plana para colocar el tubo irrigador. Luego se lava el material de las paredes de la probeta, como se observa en la Figura 32 y se aplica punzadas y giros mientras se hace el lavado hasta llenar 15” de graduación para finalmente extraer el irrigador lentamente.

**Figura 32**

*Irrigación hasta 15 pulgadas*



*Nota.* Elaboración propia

Método de agitado manual:

Consiste en agitar la probeta 90 veces en un tiempo de 30 segundos, luego se coloca a reposar por un tiempo de 20 minutos con el fin de observar la sedimentación de la muestra



como se muestra en la Figura 33. Al finalizar el tiempo de reposo se tomará la lectura de arcilla.

### Figura 33

#### *Sedimentación de las muestras*



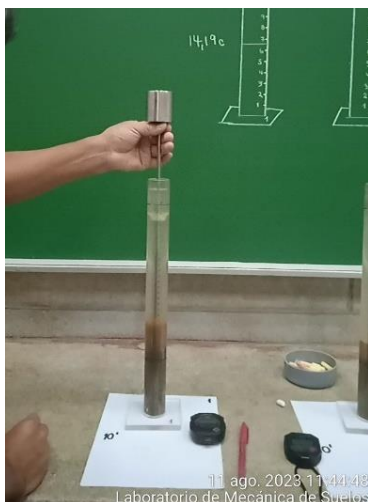
*Nota.* Elaboración propia

#### Lectura de arena

Se colocará el pisón sobre la probeta y se bajará lentamente hasta que llegue a descansar sobre la arena como se muestra en la Figura 34, cuando el pisón llegue a descansar sobre la arena se tomará lectura tal como se evidencia en la Figura 35 y se restará 10 pulgadas teniendo como resultado el valor de la lectura de arena.

### Figura 34

#### *Colocación de pisón*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 35**

*Lectura de arena*



*Nota.* Elaboración propia

Teniendo los valores registrados en los ensayos se procede a aplicar la formula (1).

$$EA = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

EA: Equivalente de arena

En la Tabla 29 y Tabla 30 se aprecian los resultados de equivalente de arena obtenidos en laboratorio de las muestras por procedencia de agregado fino.

**Tabla 29**

*Ensayo de equivalente arena para el agregado AF-1*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-1-M1	AF-1-M2	AF-1-M3		
Equivalente de arena	EA	66.3	75.2	82.9	74.8	%

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 30**

*Ensayo de equivalente arena para el agregado AF-2 “San Bartolo”*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AF-2-M1	AF-2-M2	AF-2-M3		
Equivalente de arena	EA	76.3	83.7	80.2	80.1	%

*Nota.* Elaboración propia

## 5.1.2 Propiedades del agregado grueso

**5.1.2.1 Granulometría del agregado grueso.** Se identificó el tamaño máximo nominal de 1" el cual requiere una cantidad de muestra de 10 kg para el presente ensayo según la Tabla 31.

**Tabla 31**

*Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global*

Tamaño máximo nominal Aberturas cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

*Nota.* Adaptado de NTP 400.012 (2021).

Para el ensayo de acuerdo a la norma ASTM C136 se utilizaron los tamices en el orden de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4 y N°8 para tres muestras del agregado grueso como se muestra en la Figura 36 y sus respectivos análisis granulométricos en la Figura 37, Figura 38 y Figura 39.

**Figura 36**

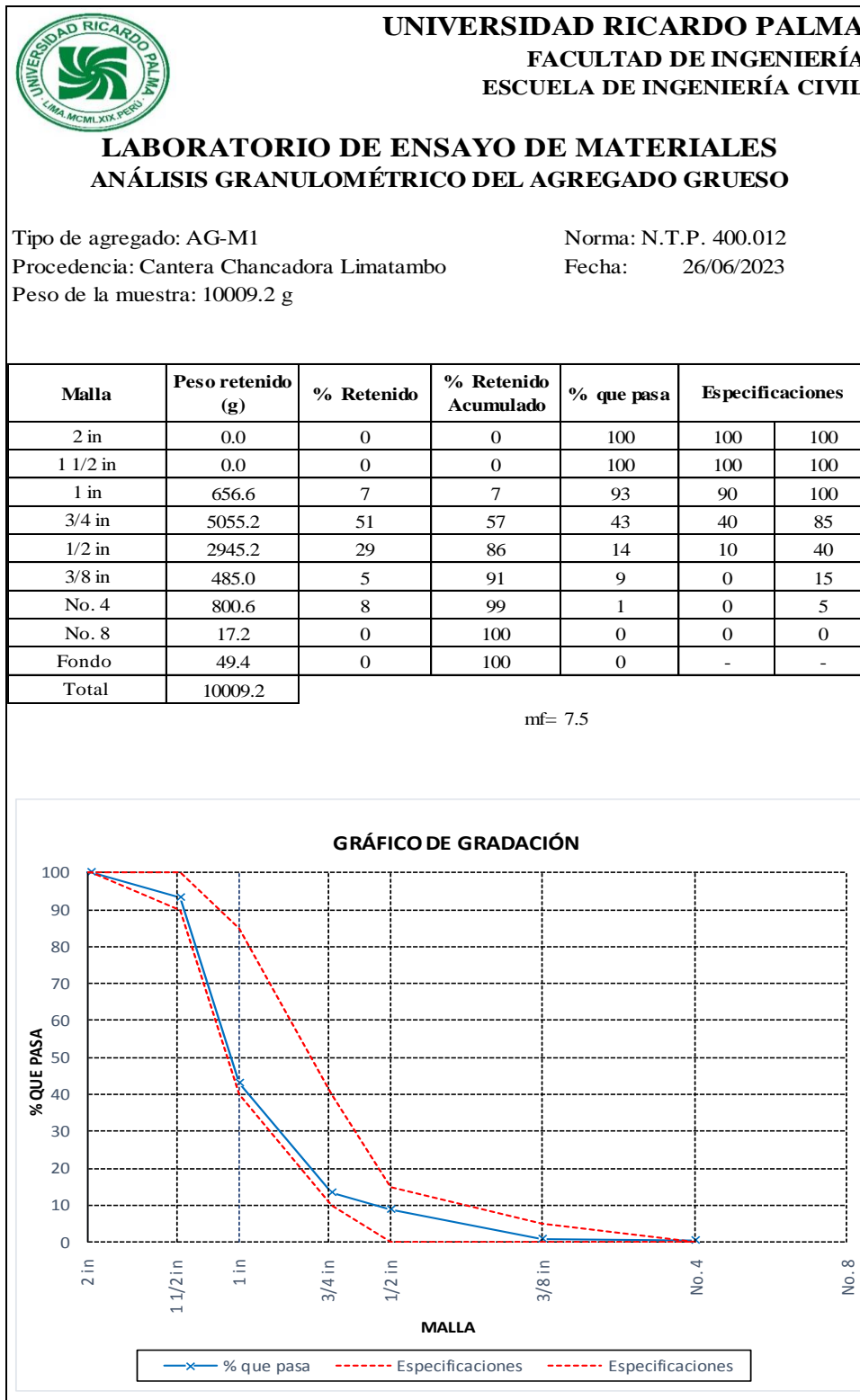
*Análisis granulométrico de las muestras de agregado AG*



*Nota.* Elaboración propia

**Figura 37**

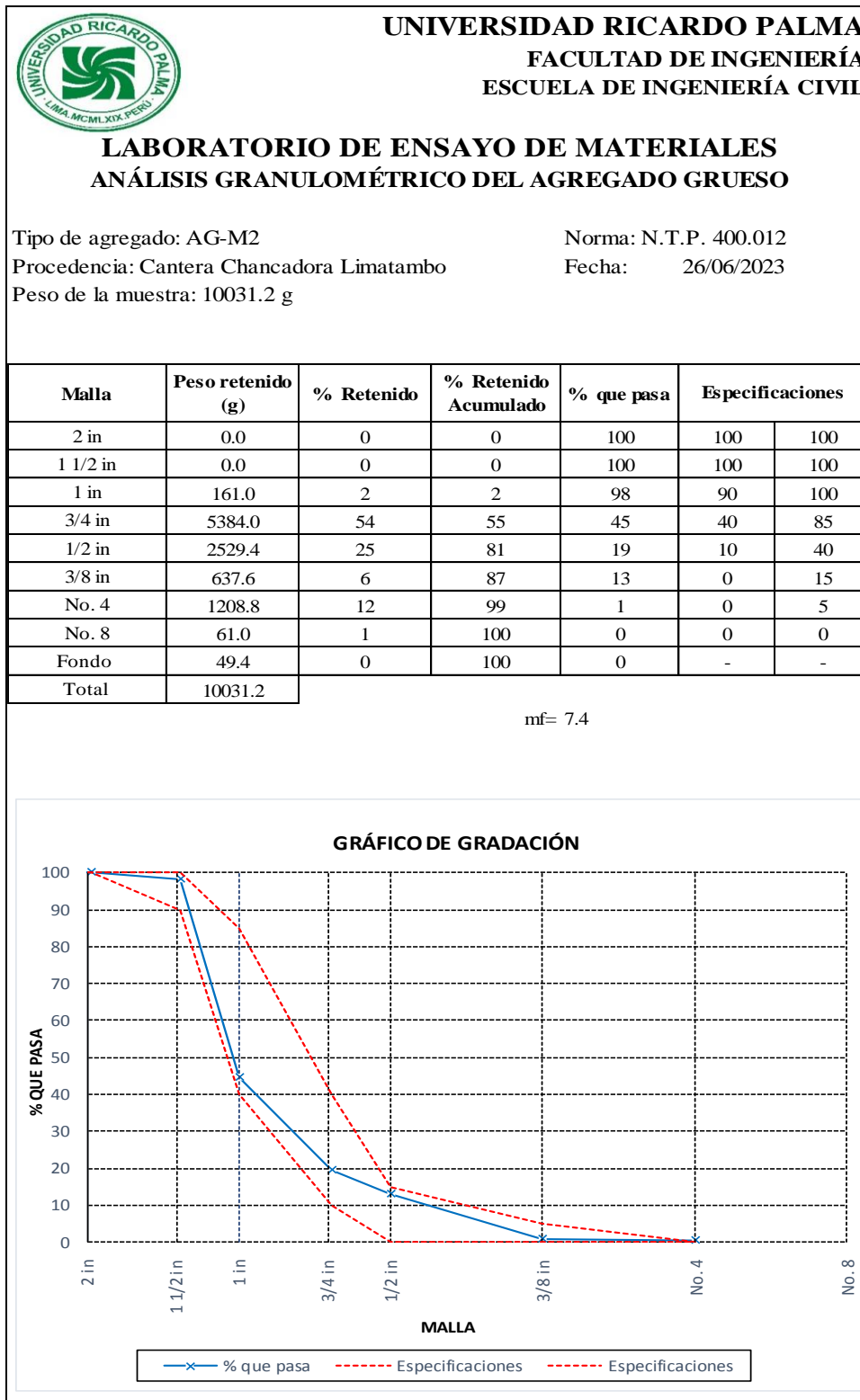
*Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M1*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 38**

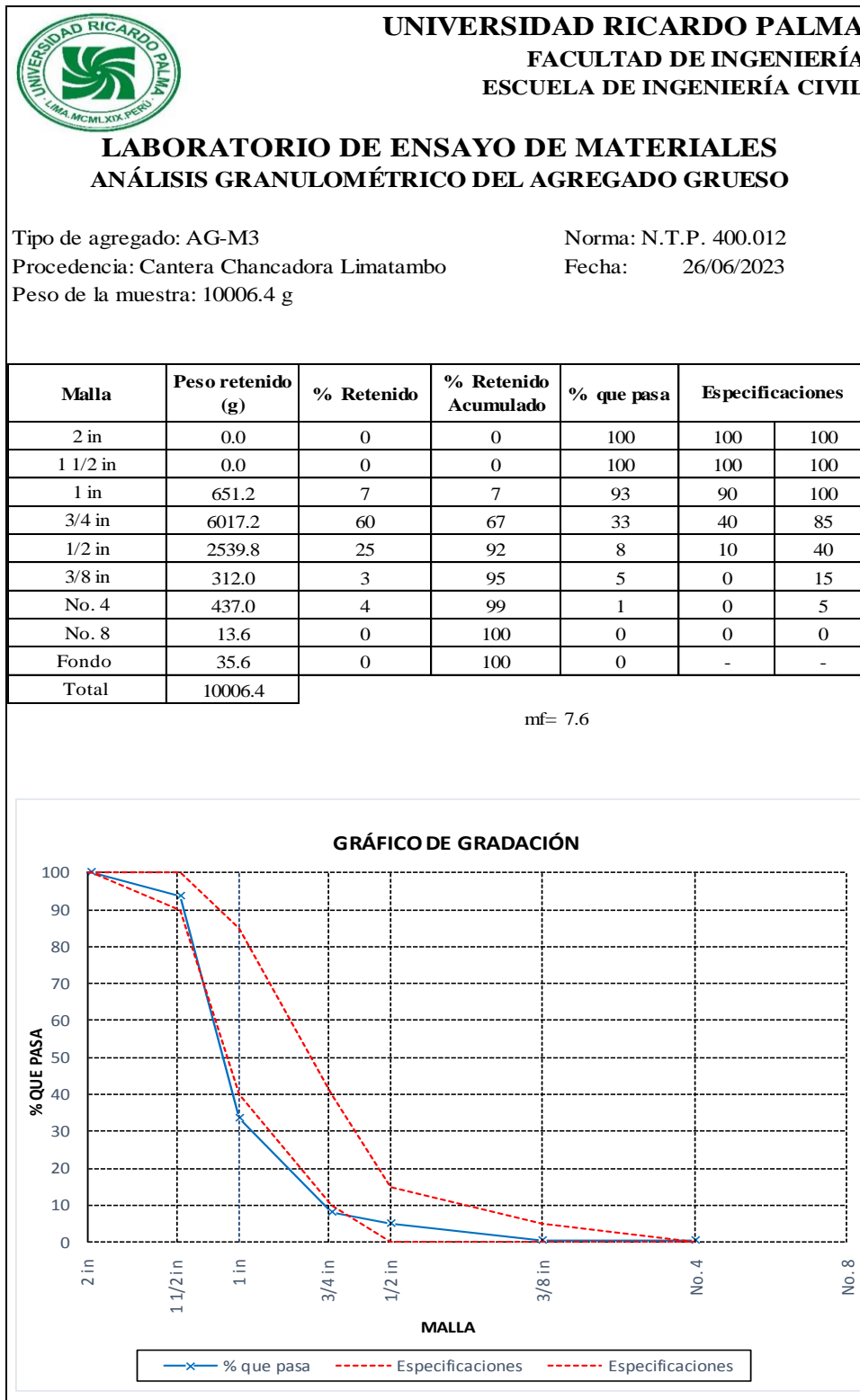
*Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M2*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 39**

*Análisis granulométrico del agregado grueso AG-M3*



*Nota. Elaboración propia*

a)Módulo de finura

En la Tabla 32 se presenta el promedio de los módulos de finura para el agregado grueso AG.

**Tabla 32**

*Módulo de finura del agregado grueso AG*

Descripción	AG-M1	Ensayos AG-M2	AG-M3	mf Promedio
Módulo de finura	7.47	7.41	7.61	7.5

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.2.2 Peso unitario del agregado grueso.** Con la identificación del tamaño máximo nominal, se utilizó el molde de 1/3 ft<sup>3</sup> el cual tiene una capacidad de 0.0093 m<sup>3</sup>. Por muestra analizada se tomaron 2 ensayos los cuales no deben diferir en más de 40 kg/m<sup>3</sup> o una desviación estándar máxima de 14 kg/m<sup>3</sup> (ASTM C29M, 2017).

a)Peso unitario suelto

Para el ensayo se coloca el material con cuidado hasta el punto de desborde, donde se tendrá que nivelar con una regla al ras del molde usado. Es importante mantener una altura de colocación no menor de 5 cm para evitar segregación de los tamaños de partículas ensayadas.

b)Peso unitario compactado

En el recipiente se coloca el material en tres capas equitativamente luego se procede a dar 25 golpes en cada capa distribuido uniformemente en la superficie con una varilla, hasta tener el llenado completo nivelado con una regla. Finalmente, en la Tabla 33 se obtiene el promedio de los pesos unitarios del agregado grueso.

**Tabla 33**

*Peso unitario del agregado grueso AG*

Descripción	Símbolo	AG-M1	Ensayos AG-M2	AG-M3	Promedio	Unidad
Peso unitario suelto	PUS	1428	1440	1439	1436	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	PUC	1588	1588	1581	1585	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia

**5.1.2.3 Peso específico y absorción del agregado grueso.** Para el ensayo se usó una cantidad de 4 kg por muestra debido al tamaño máximo nominal como muestra la Tabla 34.

**Tabla 34**

*Tamaño de la muestra para el agregado*

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Masa mínima de muestra de prueba (kg)
12.5 (1/2)	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Nota. Adaptado de ASTM C127 (2015).

En la Tabla 35 se muestra los resultados de peso específico y absorción para el agregado grueso.

**Tabla 35**

*Ensayo de peso específico y absorción para agregado grueso AG*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AG-M1	AG-M2	AG-M3		
Peso específico de masa seca	G	2.65	2.65	2.65	2.65	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa (sss)	Gsss	2.68	2.68	2.68	2.68	g/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	Ga	2.74	2.74	2.74	2.74	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	a%	1.18	1.13	1.18	1.16	%

Nota. Elaboración propia

**5.1.2.4 Material que pasa por la malla N° 200 del agregado grueso.** Según la NTP 400.037 indica que no debe exceder el 1% el material pasante por la malla N°200, en caso aumente a 1.5% no deberá contener limos ni arcillas. En la Tabla 36 se muestra el promedio del ensayo del agregado grueso, teniendo un valor aceptable.



**Tabla 36***Material que pasa por la malla N° 200 del agregado grueso AG*

Descripción	Símbolo	Muestras			Promedio	Unidad
		AG-M1	AG-M2	AG-M3		
Malla 200	A	0.4	0.3	0.3	0.3	%

*Nota.* Elaboración propia**5.2 Diseño de mezcla de concreto****5.2.1 Características de los materiales**

Para la elaboración de los diseños de mezclas se utilizaron las características presentes en la Tabla 37 donde se resume las propiedades obtenidas previamente, y en la Tabla 38 y Tabla 39 las características de los materiales como el cemento y aditivo usados.

**Tabla 37***Características de los agregados*

Descripción	Agregado Fino 1 (AF-1)	Agregado Fino 2 (AF-2)	Agregado Grueso	Unidad
Peso específico de masa	2.58	2.64	2.65	g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco	1544	1637	1436	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado seco	1662	1783	1585	kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad	2.5	1.3	0.2	%
Absorción	2.2	1.1	1.16	%
Absorción posterior al lavado	0.7	0.7	-	%
Tamaño máximo nominal	-	-	1	pulg
Material que pasa la malla N° 200	10.0	8.5	0.3	%
Módulo de finura	2.2	2.2	7.5	-

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 38***Características del Cemento*

Parámetros del cemento	Cemento Sol	Unidad
Tipo	I	-
Densidad	3.13	g/cm <sup>3</sup>
Superficie específica	323	m <sup>2</sup> /kg
Contenido de Aire	7	%

*Nota.* Adaptado de UNACEM (2023).

**Tabla 39***Características del aditivo*

Datos técnicos	Dynamon SP 45/AC
Tipo:	Superplastificante de base acrílica modificada
Consistencia:	Líquido
Color:	Ámbar
Densidad ISO 758:	1.15 ± 0.03 a 20°C
Clasificación según EN 934-2:	aumento de la trabajabilidad y/o reducción del agua del amasado y rápido desarrollo de las resistencias mecánicas
Dosificación recomendada:	0,3% a 1,5% por peso de material cementicio

*Nota.* Adaptado de MAPEI (2018).

**5.2.2 Diseño de mezclas**

**5.2.2.1 Elección de la resistencia Promedio.** Para la elaboración de los diseños se consideró inicialmente un  $f'c = 295 \text{ kg/cm}^2$ , y al no existir información suficiente para el cálculo de la desviación estándar se empleará la Tabla 40 que nos brinda el  $f'cr = 380 \text{ 295 kg/cm}^2$ .

**Tabla 40***Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos*

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

*Nota.* Adaptado de la Norma E.060 MVCS (2009).

A continuación, mediante la Tabla 41 se determina la relación agua-cemento, según nuestro  $f'cr$ , obteniendo así por interpolación un valor de 0.45.

**Tabla 41***Relación agua-cemento por resistencia*

Resistencia a la compresión probable a los 28 días en $\text{kg/cm}^2$ ( $f'cr$ )	Relación agua-cemento del concreto en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53

*Nota.* Adaptado de ACI Committe 211 (1991).

**5.2.2.2 Cantidad de Agua.** Para la realización de los diseños de mezcla se consideró además un asentamiento inicial de 6". De la Tabla 42, se obtiene una cantidad de agua de 205 kg/m<sup>3</sup> y una cantidad estimada de aire atrapado de 1.5 %.

**Tabla 42**

*Requisitos para la estimación del agua de mezclado*

AGUA, en kg/m <sup>3</sup> de concreto, para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y asentamientos indicados.								
ASENTAMIENTO (Centímetros)	9.5 mm 3/8"	12.7 mm 1/2"	19.0 mm 3/4"	25.4 mm 1"	38.0 mm 1 1/2"	50.8 mm 2"	76.0 mm 3"	152.0 mm 6"
<b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b>								
2.5 a 5.0	205	200	185	180	160	155	145	125
7.5 a 10.0	225	215	200	195	175	170	160	140
15.0 a 17.5	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire inductor de aire en porcentaje (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

*Nota.* Adaptado de ACI Committe 211 (1991).

**5.2.2.3 Cantidad de cemento.** Para la determinación de la cantidad de cemento se obtiene dividiendo la masa de agua entre la relación agua – cemento como se muestra en la ecuación (2).

$$F.C. = \frac{\text{Contenido de Agua}}{\text{Relación } a/c} \quad (2)$$

$$F.C. = \frac{205}{0.45} = 455.56 \frac{kg}{m^3} = 10.72 \frac{bolsas}{m^3}$$

**5.2.2.4 Cantidad de agregados.** Para la determinación de las cantidades de agregados, se determinó mediante el método de la curva de Fuller, dado que presenta las proporciones con mayor cantidad de agregado fino. Este método determina el porcentaje en peso seco de agregado fino con respecto al agregado total (*z<sub>f</sub>*) mediante la siguiente ecuación (3):

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

Donde:

A = % que pasa la malla N° 4 del agregado fino

B = % que pasa la malla N° 4 del agregado grueso

C = % que debe pasar la malla N° 4 del agregado ideal = 100(4.76/D)<sup>1/2</sup>

D = Tamaño máximo del agregado grueso

a)Diseño con agregado fino 1 (AF-1)

Determinación de los porcentajes en peso seco para el agregado fino (zf) y para el agregado grueso (zg) de la ecuación (3).

$$zf = \frac{(C - B)}{(A - B)} = \frac{(35.35 - 94.50)}{(0.75 - 94.50)}$$

$$zf = 0.3690$$

$$zg = 1 - zf = 0.6310$$

Determinación de los porcentajes en volumen absoluto del agregado fino (rf) y grueso (rg) mediante la ecuación (4).

$$rf = \frac{\frac{zf}{Pe.f}}{\left(\frac{zf}{Pe.f}\right) + \left(\frac{zg}{Pe.g}\right)} \quad (4)$$

$$rf = 0.3664$$

$$rg = 1 - rf = 0.6336$$

Cálculo del volumen total de agregados utilizando la ecuación (5).

$$Vol.Ab = 1 - \left(\frac{Peso\ cemento}{Pe * 1000} + \frac{Peso\ agua}{1000} + \frac{Aire}{100}\right) \quad (5)$$

$$Vol.Ab = 0.6345$$

Cálculo de peso para el agregado fino mediante la ecuación (6).

$$Peso\ A.\ fino = (rf * Vol.Ab) * (Pe.f * 1000) \quad (6)$$

$$Peso\ A.\ fino = (0.2325) * (2680)$$

$$Peso\ A.\ fino = 623.02\ kg$$

Cálculo de peso seco para el agregado grueso mediante la ecuación (7).

$$Peso\ A.\ grueso = (rg * Vol.Ab) * (Pe.g * 1000) \quad (7)$$

$$Peso\ A.\ grueso = (0.4020) * (2650)$$

$$Peso\ A.\ grueso = 1065.26\ kg$$

b)Diseño con agregado fino 2 (AF-2)

Determinación de los porcentajes en peso seco para el agregado fino (zf) y para el agregado grueso (zg) según la ecuación (3).

$$zf = \frac{(C - B)}{(A - B)} = \frac{(35.35 - 99.15)}{(0.75 - 99.15)}$$

$$zf = 0.3516$$

$$zg = 1 - zf = 0.6484$$

Determinación de los porcentajes en volumen absoluto del agregado fino (rf) y grueso (rg) según la ecuación (4).

$$rf = \frac{\frac{zf}{Pe.f}}{\left(\frac{zf}{Pe.f}\right) + \left(\frac{zg}{Pe.g}\right)}$$

$$rf = 0.3499$$

$$rg = 1 - rf = 0.6501$$

Cálculo del volumen total de agregados según la ecuación (5).

$$Vol. Ab = 1 - \left(\frac{Peso\ cemento}{Pe * 1000} + \frac{Peso\ agua}{1000} + \frac{Aire}{100}\right)$$

$$Vol. Ab = 0.6345$$

Cálculo de peso para el agregado fino según la ecuación (6).

$$Peso\ A.\ fino = (rf * Vol. Ab) * (Pe. f * 1000)$$

$$Peso\ A.\ fino = (0.2220) * (2670)$$

$$Peso\ A.\ fino = 592.68\ kg$$

Cálculo de peso seco para el agregado grueso según la ecuación (7).

$$Peso\ A.\ grueso = (rg * Vol. Ab) * (Pe. g * 1000)$$

$$Peso\ A.\ grueso = (0.4125) * (2650)$$

$$Peso\ A.\ grueso = 1093.06\ kg$$

### 5.2.3 Dosificaciones

Los cálculos realizados en el 5.2.2 fueron tomados para poder elaborar 4 diferentes situaciones expresadas en la Tabla 43 para el concreto.

**Tabla 43**

*Descripción de casos para los diseños*

Serie	Caso	Descripción
	1	Busca mostrar el comportamiento del concreto con un agregado fino lavado (limpio).
C1: para agregado AF-1	2	Busca mostrar el comportamiento del concreto al usar el agregado sin lavar (con finos) manteniendo constante la relación agua/cemento.
C2: para agregado AF-2	3	Busca mostrar el comportamiento del concreto al usar el agregado sin lavar (con finos) manteniendo constante su asentamiento.
	4	Busca mostrar el comportamiento del concreto al usar el agregado sin lavar, con la incorporación de un aditivo para mantener constante la relación a/c y su asentamiento.

*Nota.* Elaboración propia

Posterior a ello se resume los diversos diseños empleados en la Tabla 44 y Tabla 45 para cada uno de los agregados finos, además se considera para el diseño C1-3 y C2-3 el incremento del agua de forma in situ observando su consistencia hasta obtener el asentamiento requerido.

**Tabla 44**

*Dosificaciones para los concretos con AF-1*

Materiales	Diseños en kg/m <sup>3</sup>			
	C1 – 1	C1 – 2	C1 – 3	C1 – 4
Cemento	455.56	455.56	455.56	455.56
Agregado fino AF-1 lavado	623.02	-	-	-
Agregado fino AF-1	-	623.02	623.02	623.02
Agregado Grueso	1065.26	1065.26	1065.26	1065.26
Agua	205.00	205.00	225.91	205.00
Aditivo	-	-	-	1.37

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 45***Dosificaciones para los concretos con AF-2*

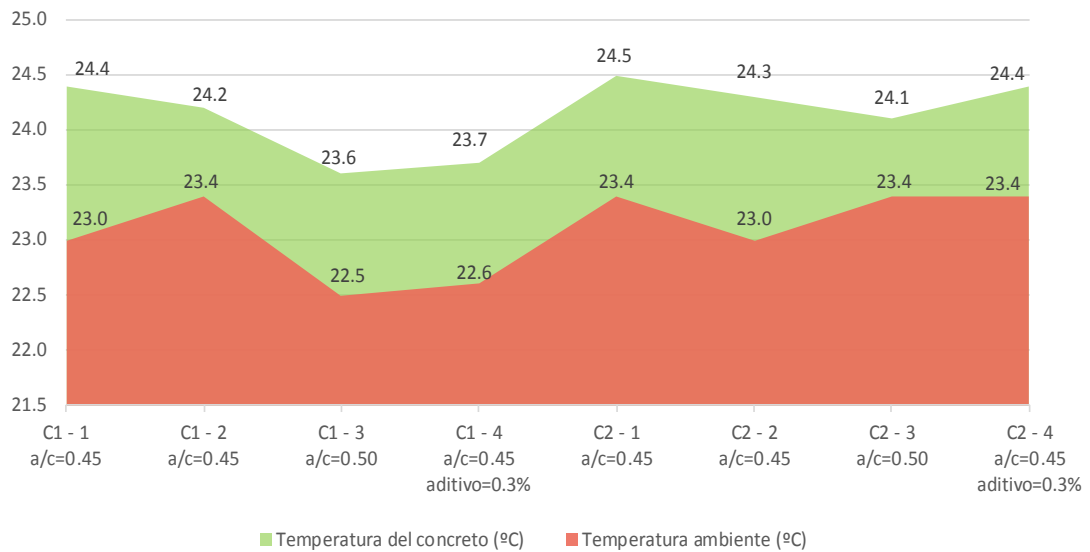
Materiales	Diseños en kg/m <sup>3</sup>			
	C2 - 1	C2 - 2	C2 - 3	C2 - 4
Cemento	455.56	455.56	455.56	455.56
Agregado fino AF-2 lavado	592.68	-	-	-
Agregado fino AF-2	-	592.68	592.68	592.68
Agregado Grueso	1093.06	1093.06	1093.06	1093.06
Agua	205.00	205.00	225.91	205.00
Aditivo	-	-	-	13.67

*Nota.* Elaboración propia

### 5.3 Resultados de la investigación

#### 5.3.1 Ensayos de concreto en estado fresco

**5.3.1.1 Temperatura.** Para el control de temperatura de las mezclas de concreto, se procedió a aplicar la norma ASTM C1064 o su homóloga NTP 339.184. De esta manera, se lograron obtener valores comprendidos en el intervalo de 23.5 a 24.5°C. Por otro lado, se mantuvo la temperatura ambiente en un rango de 22.5 a 23.4°C, tal como se puede apreciar en la Figura 40.

**Figura 40***Temperatura del concreto y del ambiente**Nota.* Elaboración propia

**5.3.1.2 Asentamiento.** A continuación, se presenta en la Tabla 46 y Tabla 47 los resultados de asentamiento obtenidos para los diseños propuestos de serie C1 y C2, según lo establecido en la NTP 339.035 o su equivalente ASTM C143; así también en la Figura 41 y



Figura 42 sus respectivos gráficos comparativos.

**Tabla 46**

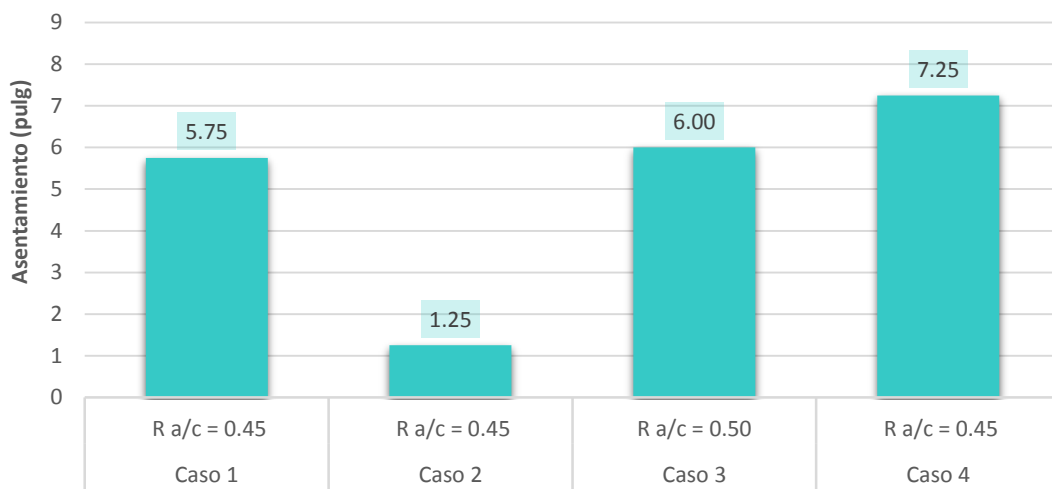
*Asentamiento de los diseños de la serie C1*

Diseño	R a/c	Asentamiento
C1 - 1	0,45	5 3/4"
C1 - 2	0,45	1 1/4"
C1 - 3	0,50	6"
C1 - 4	0,45	7 1/4"

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 41**

*Asentamiento por caso y R a/c de la serie C1*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 47**

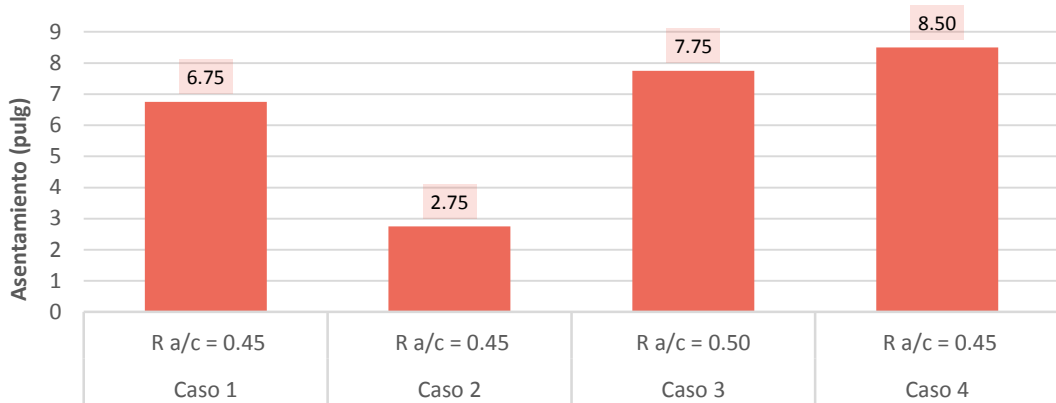
*Asentamiento de los diseños de la serie C2*

Diseño	R a/c	Asentamiento
C2 - 1	0,45	6 3/4"
C2 - 2	0,45	2 3/4"
C2 - 3	0,50	7 3/4"
C2 - 4	0,45	8 1/2"

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 42**

Asentamiento por caso y R a/c de la serie C2

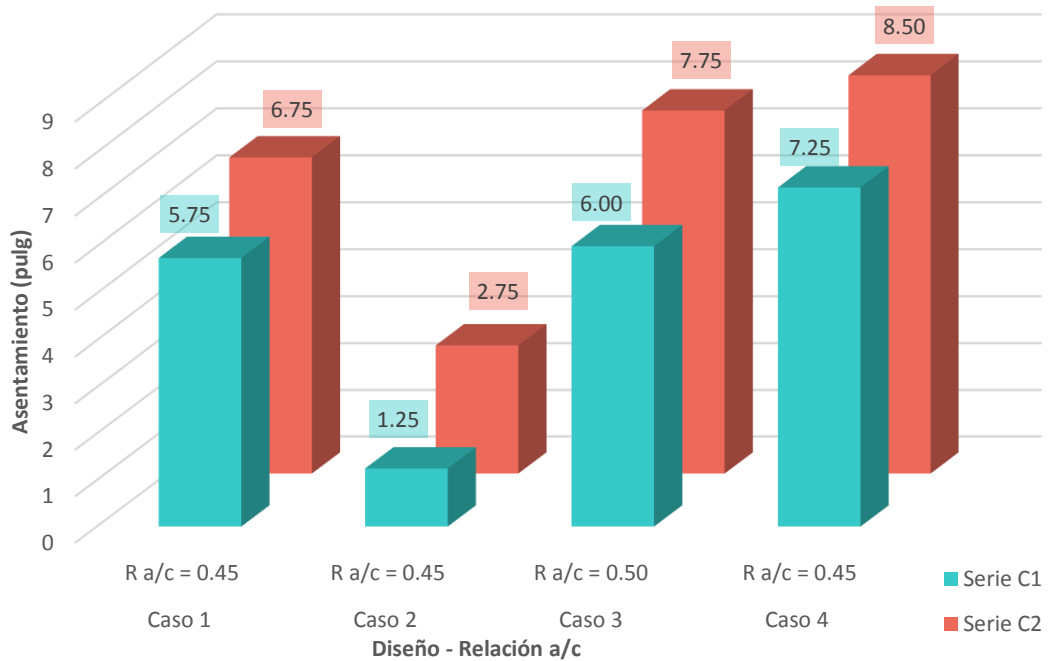


*Nota.* Elaboración propia

Los resultados obtenidos evidencian que en los cuatro casos analizados se presenta un comportamiento análogo para ambas fuentes de agregado fino, como se ilustra en la Figura 43.

**Figura 43**

Comparación de asentamientos obtenidos en C1 y C2



*Nota.* Elaboración propia

**5.3.1.3 Peso unitario del hormigón.** La obtención de esta característica se según lo establecido en la NTP 339.046 o su similar ASTM C138, de eso modo obteniendo el peso de concreto por cada metro cúbico.

A continuación, se presenta en la Tabla 48 y Tabla 49 los resultados de asentamiento obtenidos para los diseños propuestos de serie C1 y C2; así también en la Figura 44 y Figura 45 sus respectivos gráficos comparativos.

**Tabla 48**

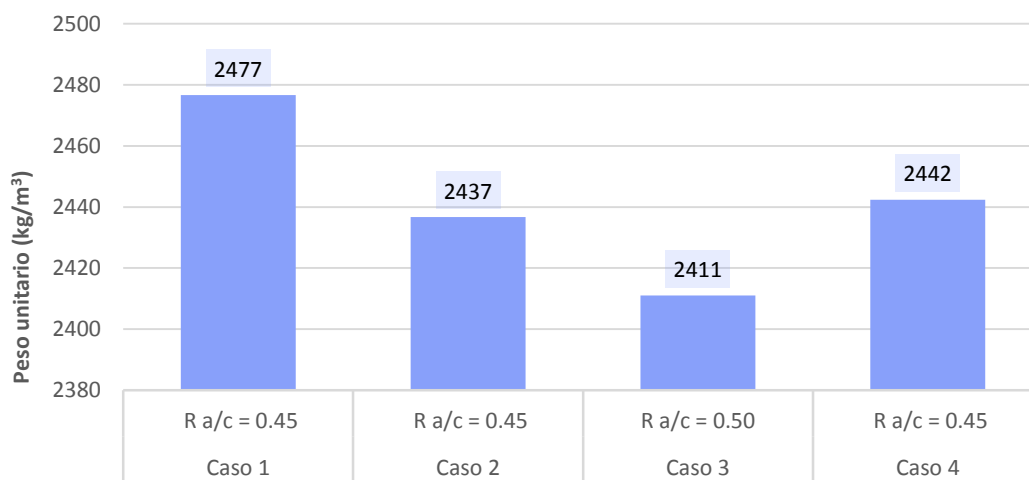
*Peso unitario de los diseños de la serie C1*

Descripción	Peso Unitario	Unidad
Mezcla C1 - 1	2477	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 2	2437	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 3	2411	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 4	2442	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 44**

*Peso unitario de los diseños de la serie C1*



*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 49**

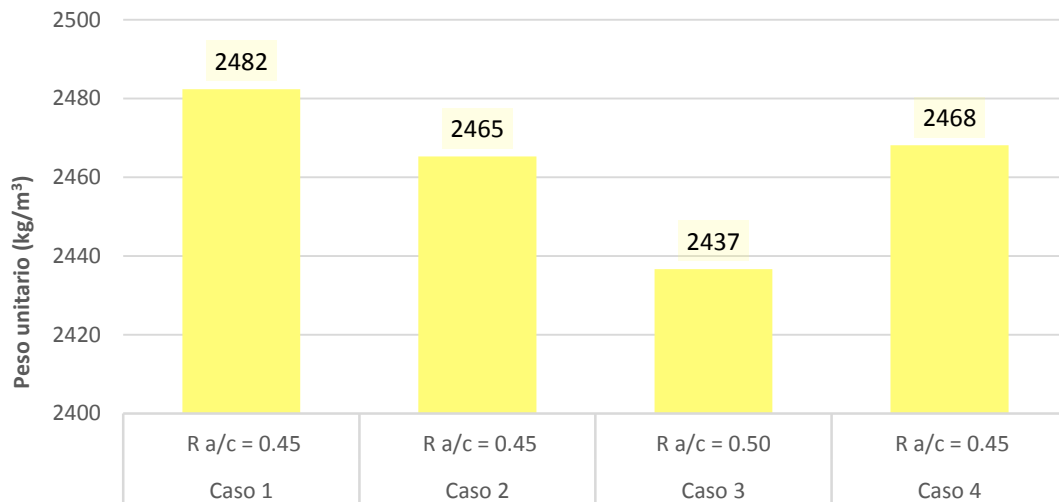
*Peso unitario de los diseños de la serie C2*

Descripción	Peso Unitario	Unidad
Mezcla C1 - 1	2482	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 2	2465	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 3	2437	kg/m <sup>3</sup>
Mezcla C1 - 4	2468	kg/m <sup>3</sup>

*Nota.* Elaboración propia

**Figura 45**

*Peso unitario de los diseños de la serie C2*



*Nota.* Elaboración propia

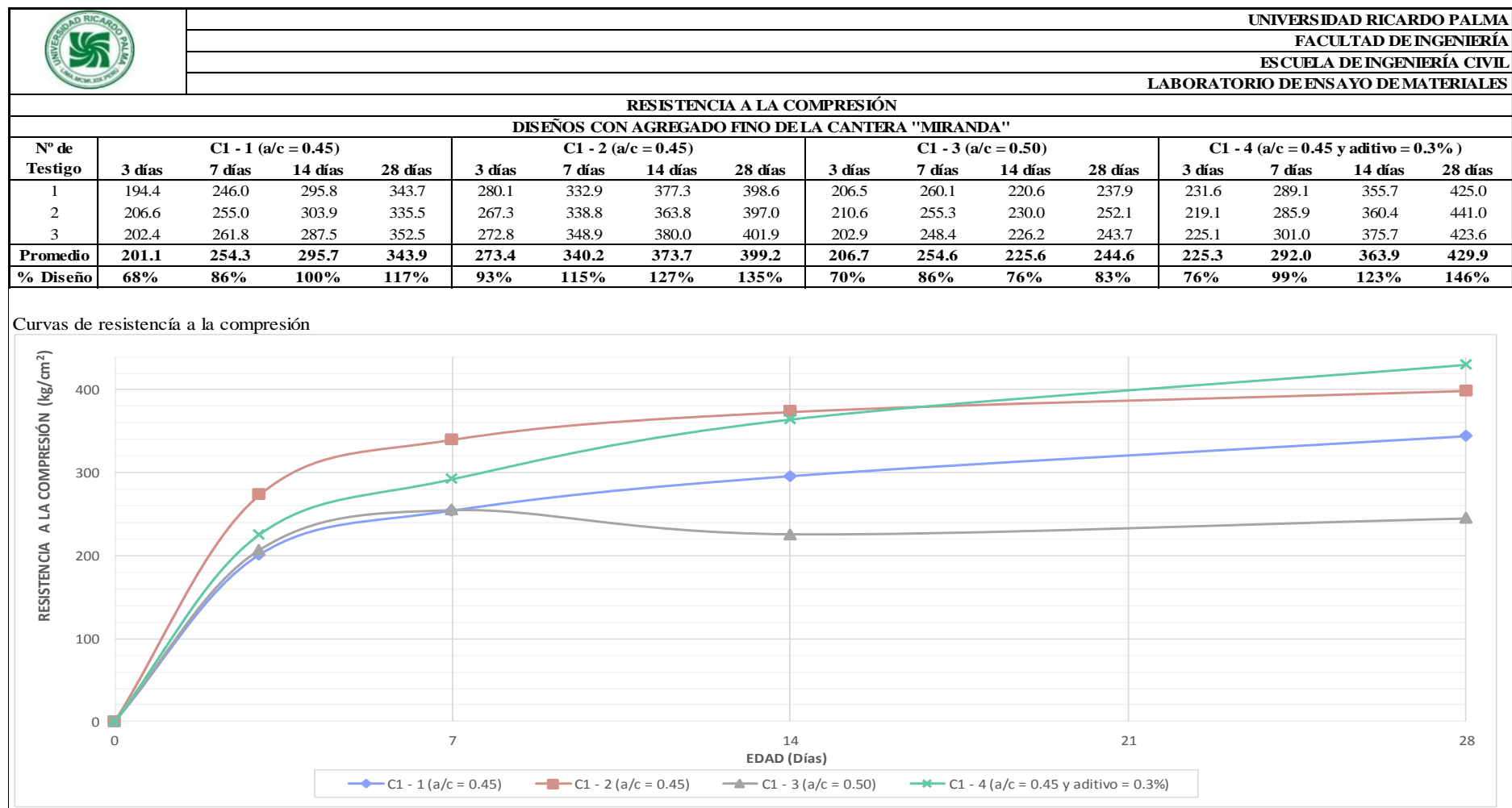
### **5.3.2 Ensayos de concreto en estado endurecido**

**5.3.2.1 Resistencia a la compresión.** Los resultados de las pruebas de compresión del concreto muestran un aumento proporcional en su resistencia con el tiempo. Las muestras con edad de 28 días exhiben una mayor capacidad para resistir cargas antes de la falla, respaldando la importancia del proceso de curado y la maduración a largo plazo en las propiedades mecánicas del concreto.

En las Figura 46 y Figura 47 se observa las curvas de resistencia a la compresión para los diseños C1 y C2 a edades de 3, 7, 14 y 28 días de curado.

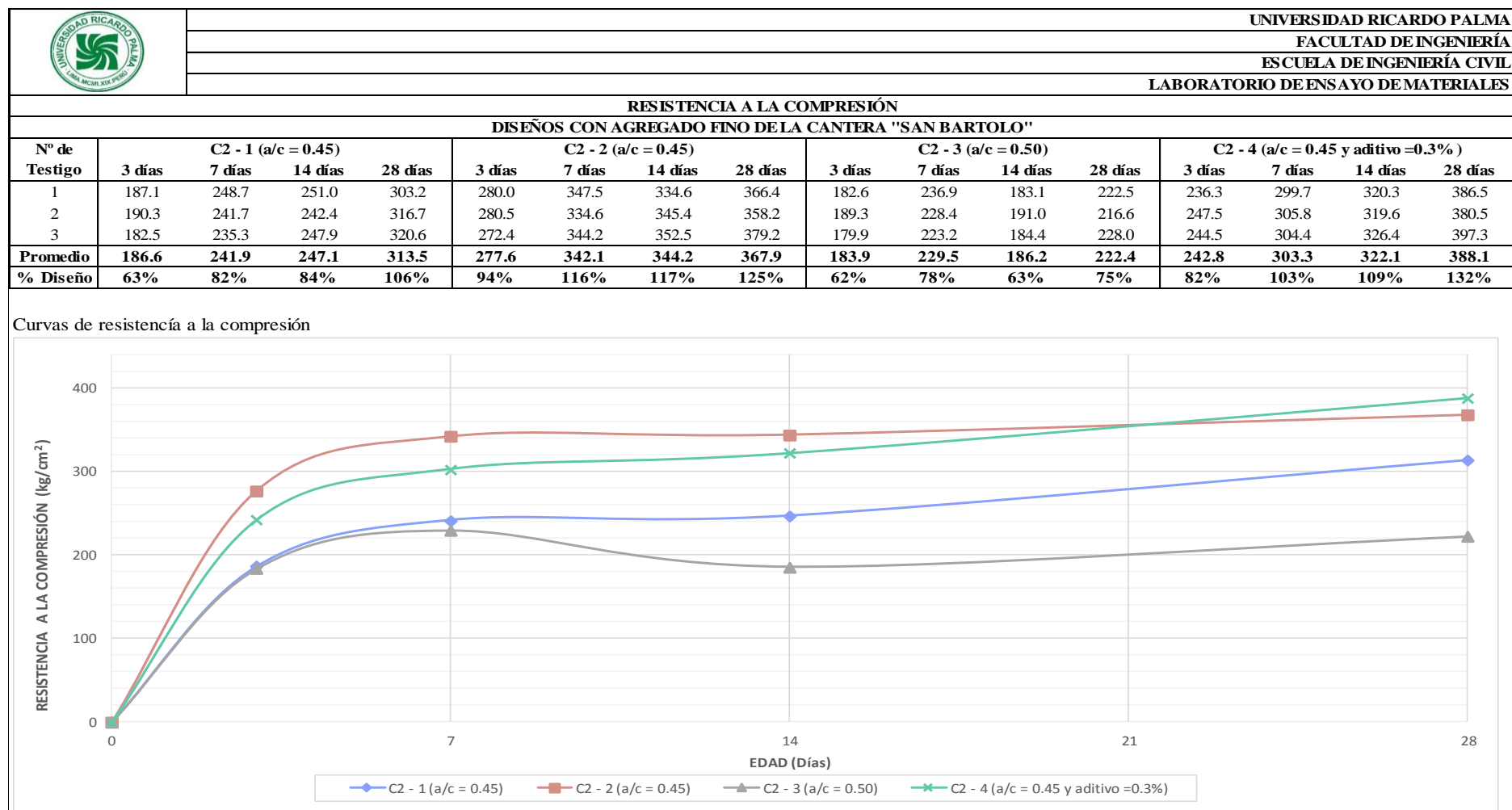
**Figura 46**

*Resistencia a la compresión de diseños C1*



**Figura 47**

*Resistencia a la compresión de diseños C2*



**5.3.2.2 Resistencia a la flexión.** Para el ensayo normalizado por ASTM C78 se calculó el módulo de rotura con la ecuación (8):

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad (8)$$

Donde:

R: Modulo de rotura, MPa

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N

L: Longitud de espacio, mm

b: Ancho media de la muestra, mm

d: Profundidad media de la muestra, mm

En la Tabla 50, Tabla 51, Tabla 52 y Tabla 53 se muestran las dimensiones y cargas registradas de las vigas ensayadas para los diseños del C1.

**Tabla 50**

*Resistencia a la flexión del diseño C1-1*

Diseño	Fecha		Edad (días)	Nº Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C1-1	25/07/23	01/08/23	7	1	154.7	153.7	510	450	48	51.3
				2	154.0	158.3	510	450	35.5	
	30/06/23	14/07/23	14	1	155.0	152.3	510	450	40	52.8
				2	159.7	153.0	510	450	44.5	
	30/06/23	27/07/23	28*	1	154.3	153.0	510	450	49	59.8
				2	161.0	155.0	510	450	49	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 51**

*Resistencia a la flexión del diseño C1-2*

Diseño	Fecha		Edad (días)	Nº Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C1-2	03/07/2023	10/07/2023	7	1	154.33	150.33	510	450	36	50.0
				2	153.00	151.00	510	450	40	
	03/07/2023	17/07/2023	14	1	154.33	155.33	510	450	42.5	46.6
				2	156.00	152.00	510	450	38.5	
	03/07/2023	31/07/2023	28	1	156.67	156.00	510	450	40	47.1
				2	156.33	153.67	510	450	37	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 52***Resistencia a la flexión del diseño C1-3*

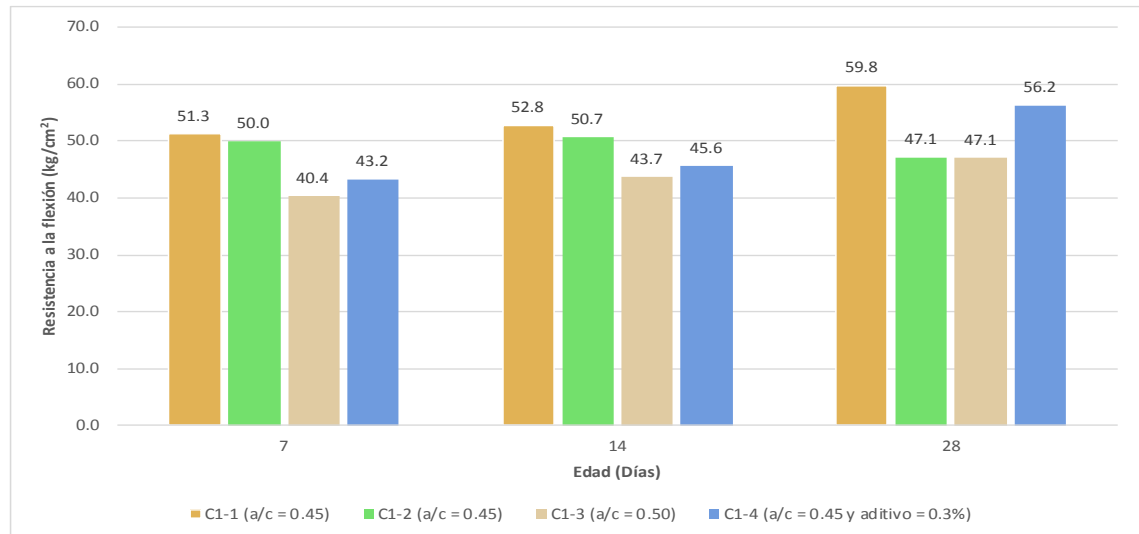
Diseño	Fecha		Edad (días)	N° Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C1-3	10/07/2023	17/07/2023	7	1	152.00	152.33	510	450	31.5	40.4
				2	154.67	153.33	510	450	31.5	
	07/07/2023	21/07/2023	14	1	152.00	152.67	510	450	33.5	43.7
				2	152.33	152.67	510	450	34	
	07/07/2023	04/08/2023	28	1	156.67	152.67	510	450	37	47.1
				2	153.00	153.67	510	450	37.5	

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 53***Resistencia a la flexión del diseño C1-4*

Diseño	Fecha		Edad (días)	N° Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C1-4	10/07/2023	17/07/2023	7	1	152.33	150.67	510	450	35.5	43.2
				2	152.67	152.67	510	450	30.5	
	07/07/2023	21/07/2023	14	1	152.67	152.67	510	450	32	45.6
				2	153.33	152.00	510	450	38.5	
	10/07/2023	07/08/2023	28	1	153.00	152.67	510	450	43.5	56.2
				2	151.67	152.67	510	450	43.5	

*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 48, se muestra los resultados del ensayo a 7, 14 y 28 días para la serie C1.

**Figura 48***Resistencia a la flexión de los diseños de la serie C1*



*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56 y Tabla 57 se muestran las dimensiones y cargas registradas de las vigas ensayadas para los diseños del C2.

**Tabla 54**

*Resistencia a la flexión del diseño C2-1*

Diseño	Fecha		Edad (días)	Nº Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C2-1	26/07/2023	02/08/2023	7	1	161.00	154.33	510	450	36	48.0
				2	160.33	154.33	510	450	44	
	25/07/2023	08/08/2023	14	1	156.00	153.67	510	450	40.5	50.0
				2	158.33	155.33	510	450	41.25	
	13/07/2023	10/08/2023	28	1	151.67	155.33	510	450	48	60.2
				2	154.33	153.67	510	450	46.5	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 55**

*Resistencia a la flexión del diseño C2-2*

Diseño	Fecha		Edad (días)	Nº Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C2-2	19/07/2023	26/07/2023	7	.55	151.67	151.00	510	450	32.5	46.6
				2	151.00	152.00	510	450	38	
	19/07/2023	02/08/2023	14	1	157.00	152.33	510	450	42	51.6
				2	158.33	153.67	510	450	41	
	13/07/2023	10/08/2023	28	1	163.00	153.67	510	450	38.5	46.7
				2	156.00	155.33	510	450	39.5	

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 56**

*Resistencia a la flexión del diseño C2-3*

Diseño	Fecha		Edad (días)	Nº Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C2-3	20/07/2023	27/07/2023	7	1	155.67	152.00	510	450	31	39.6
				2	157.00	151.33	510	450	31	
	20/07/2023	03/08/2023	14	1	158.00	152.67	510	450	38.5	46.8
				2	162.00	154.67	510	450	38.5	
	13/07/2023	10/08/2023	28	1	170.67	154.67	510	450	37	41.7
				2	160.33	155.00	510	450	35	

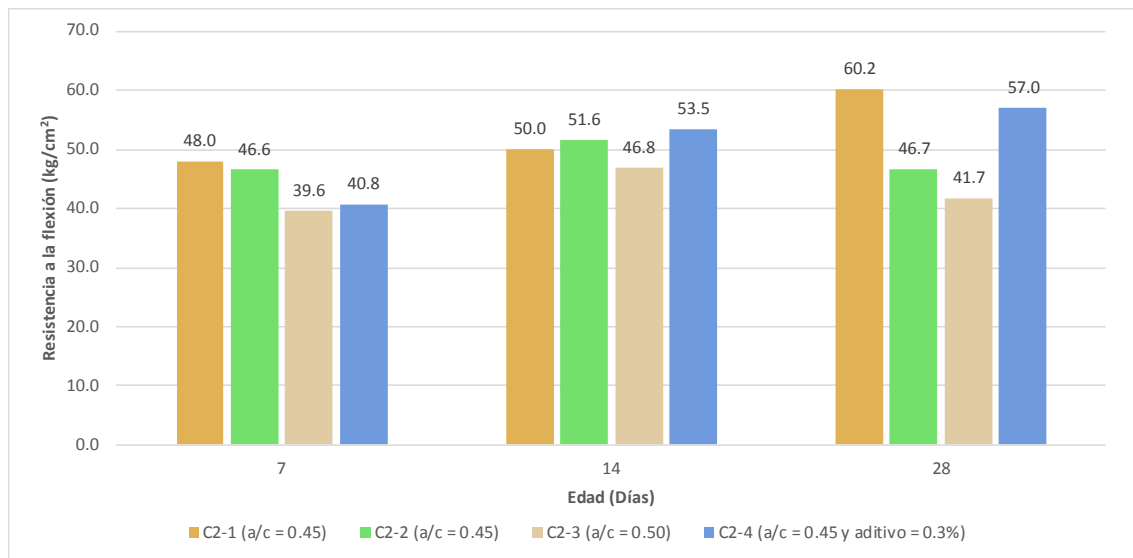
*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 57***Resistencia a la flexión del diseño C2-4*

Diseño	Fecha		Edad (días)	N° Viga	Medidas (mm)			Luz Libre (mm)	Carga máxima (kN)	Resist. a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Elaboración	Ensayo			b	d	L			
C2-4	20/07/2023	27/07/2023	7	1	156.33	152.00	510	450	28.5	40.8
				2	155.33	155.33	510	450	37	
	13/07/2023	27/07/2023	14	1	157.00	152.33	510	450	45	53.5
				2	158.33	153.67	510	450	41	
	13/07/2023	10/08/2023	28	1	153.00	153.67	510	450	43	57.0
				2	153.33	152.00	510	450	45.5	

*Nota.* Elaboración propia

En la Figura 49, se muestra los resultados del ensayo a 7, 14 y 28 días para la serie C2.

**Figura 49***Resistencia a la flexión de los diseños de la serie C2*

*Nota.* Elaboración propia

## 5.4 Análisis y contrastación de hipótesis según resultados

### 5.4.1 Contrastación de la primera hipótesis

Hipótesis 1: Al incorporar el aditivo superplastificante mejora el asentamiento del concreto estructural.

H<sub>0</sub>: Al incorporar el aditivo superplastificante no mejora el asentamiento del concreto estructural.

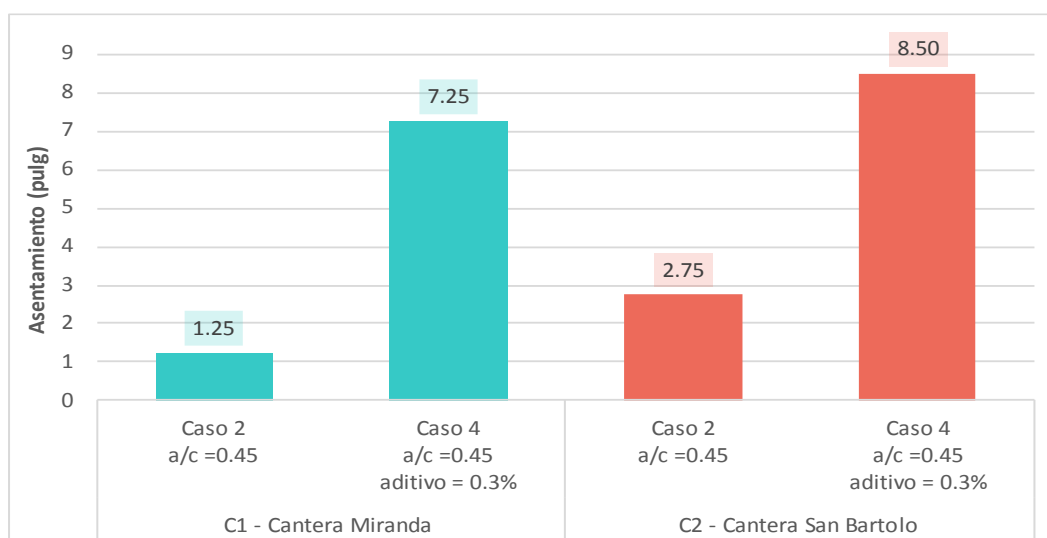
H<sub>1</sub>: Al incorporar el aditivo superplastificante si mejora el asentamiento del concreto estructural.

Los resultados de la presente investigación se presentan en la Figura 50, donde se realiza un análisis comparativo entre mezclas de concreto que emplean agregado fino proveniente de dos fuentes distintas: Cantera Miranda y Cantera San Bartolo. Inicialmente, las mezclas con agregado Cantera Miranda y Cantera San Bartolo mostraron un asentamiento de 1.25 pulgadas y 2.75 pulgadas, respectivamente, ambas exhibiendo una trabajabilidad baja.

No obstante, se observó que al incorporar un aditivo superplastificante en una proporción del 0.30%, se logró un significativo incremento en los valores de asentamiento de 7.25 pulgadas, mientras que la mezcla con agregado de la cantera San Bartolo llegó a 8.50 pulgadas. Estos resultados se obtuvieron manteniendo una relación agua-cemento constante de 0.45, lo que contribuyó a una notable mejora en la trabajabilidad de ambas mezclas.

**Figura 50**

*Incremento en los asentamientos*



*Nota.* Elaboración propia

Respecto al análisis previo, se observa que los resultados óptimos se encuentran en los diseños de mezcla con incorporación de un aditivo superplastificante. Por ello, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

#### 5.4.2 *Contrastación de la segunda hipótesis*

Hipótesis 2: Al incorporar el aditivo superplastificante mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

$H_0$ : Al incorporar el aditivo superplastificante no mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

$H_1$ : Al incorporar el aditivo superplastificante si mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de compresión, es posible realizar un análisis de las variaciones en la resistencia a la compresión a través de la Figura 46 y Figura 47. Estas variaciones se presentan tanto al emplear el aditivo como un superfluidificante, con el propósito de mejorar la trabajabilidad, como se refleja en la Tabla 58 al contrastar las mezclas que mantienen una relación a/c idéntica. Del mismo modo, se evidencia variaciones al utilizar el aditivo como agente reductor de agua, tal como se aprecia en la Tabla 59, donde se efectúa una comparación entre las mezclas que poseen un asentamiento similar.

**Tabla 58**

*Resistencias a la compresión al mantener la relación a/c*

Descripción	Días	Cantera Miranda		Cantera de San Bartolo	
		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño
Caso 2: a/c = 0.45	3 días	273.4	93%	277.6	94%
	7 días	340.2	115%	342.1	116%
	14 días	373.7	127%	344.2	117%
	28 días	399.2	135%	367.9	125%
Caso 4: a/c = 0.45 aditivo = 0.30%	3 días	225.3	76%	242.8	82%
	7 días	292	99%	303.3	103%
	14 días	363.9	123%	322.1	109%
	28 días	429.9	146%	388.1	132%

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 59***Resistencias a la compresión al mantener la trabajabilidad*

Descripción	Días	Cantera Miranda		Cantera de San Bartolo	
		f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño
Caso 3: a/c = 0.50	3 días	206.7	70%	183.93	62%
	7 días	254.6	86%	229.5	78%
	14 días	225.6	76%	186.17	63%
	28 días	244.6	83%	222.37	75%
Caso 4: a/c = 0.45 aditivo = 0.30%	3 días	225.3	76%	242.77	82%
	7 días	292	99%	303.3	103%
	14 días	363.9	123%	322.1	109%
	28 días	429.9	146%	388.1	132%

*Nota.* Elaboración propia

La mejora en la resistencia a la compresión es perceptible después de 28 días al incorporar un aditivo superplastificante para mantener la relación a/c en las mezclas de concreto. En este contexto, se nota un aumento de 11% y 8%, respecto a la resistencia de diseño, para las mezclas con agregado de la cantera Miranda y San Bartolo, respectivamente. Por otro lado, de la Tabla 59 se observa que la resistencia a 28 días para las mezclas que tienen mayor cantidad de agua para lograr el asentamiento deseado de 6 pulgadas, resultó un 17% y 25% por debajo de la resistencia de diseño para las mezclas con agregado de la cantera Miranda y San Bartolo, respectivamente.

Dado el análisis previo, se observa que los resultados óptimos en términos de resistencia a la compresión se evidencian en los diseños de mezcla con incorporación de un aditivo superplastificante. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

### 5.4.3 Contrastación de la tercera hipótesis

Hipótesis 3: Al incorporar el aditivo superplastificante mejora la resistencia a la flexión del concreto estructural.

$H_0$ : Al incorporar el aditivo superplastificante no mejora la resistencia a la flexión del concreto estructural.

$H_1$ : Al incorporar el aditivo superplastificante si mejora la resistencia a la flexión del concreto estructural.

Según los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, es posible observar a partir de las Figura 48 y Figura 49 un análisis de las variaciones en la resistencia a la flexión. Estas

variaciones se presentan tanto al emplear el aditivo con el propósito de mejorar la trabajabilidad, tal como se refleja en la

Tabla 60 al comparar mezclas con una idéntica relación a/c. Asimismo, se evidencia variaciones al utilizar el aditivo como agente reductor de agua, tal como se aprecia en la Tabla 61, donde se comparan mezclas con un asentamiento similar.

**Tabla 60**

*Resistencias a la flexión al mantener la relación a/c*

Descripción	Días	Cantera Miranda		Cantera de San Bartolo	
		R. Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño	R. Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño
Caso 2: a/c = 0.45	7 días	50.0	17%	46.6	16%
	14 días	50.7	17%	51.6	17%
	28 días	47.1	16%	46.7	16%
Caso 4: a/c = 0.45 aditivo = 0.3%	7 días	43.2	15%	40.8	14%
	14 días	45.6	15%	53.5	18%
	28 días	56.2	19%	57.0	19%

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 61**

*Resistencias a la flexión al mantener la trabajabilidad*

Descripción	Días	Cantera Miranda		Cantera de San Bartolo	
		R. Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño	R. Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	% diseño
Caso 3: a/c = 0.50	7 días	40.4	14%	39.6	13%
	14 días	43.7	15%	46.8	16%
	28 días	47.1	16%	41.7	14%
Caso 4: a/c = 0.45 aditivo = 0.3%	7 días	43.2	15%	40.8	14%
	14 días	45.6	15%	53.5	18%
	28 días	56.2	19%	57.0	19%

*Nota.* Elaboración propia

Los incrementos en la resistencia a la flexión se dan a partir de los 28 días en el caso de las mezclas de concreto que incorporan un aditivo superplastificante con el propósito de mejorar la trabajabilidad; en este contexto, se registra un incremento de 3% respecto a la resistencia de compresión de diseño al utilizar el agregado proveniente de la cantera Miranda y San Bartolo. Del mismo modo, al emplear el aditivo como un reductor de agua se observa un aumento a los 28 días para las mezclas que contienen mayor cantidad de agua con el fin de lograr el asentamiento esperado de 6 pulgadas, resultó un 3% y 5% respecto a la resistencia de compresión de diseño para las mezclas con agregado de la cantera Miranda y San Bartolo, respectivamente.

Dado el análisis previo, se observa que los resultados óptimos en términos de resistencia a la flexión se evidencian en los diseños de mezcla con incorporación de un aditivo superplastificante. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

## DISCUSIÓN

De los resultados analizados en los ensayos de asentamiento, reafirmamos la contrastación de hipótesis 1, en la cual se determinó el aumento del asentamiento al incorporar un aditivo superplastificante para diferentes contenidos que pasan la malla N° 200.

Estos resultados están en concordancia con lo planteado por Almonacid y Prétel (2015), quienes abordaron mezclas de concreto con relaciones agua-cemento de 0.48, 0.55 y 0.62, además de utilizar un agregado fino con un 8.56% de contenido que pasa la malla N° 200. Sus hallazgos evidenciaron mejoras notables en el asentamiento al incorporar el aditivo superplastificante. Por otro lado, Isuiza y Montoya (2022) exploraron relaciones agua-cemento de 0.8, 0.7 y 0.6, usando un agregado local con un 5.7% de contenido de finos, y también encontraron un incremento en el asentamiento al añadir el aditivo.

Desde una perspectiva diferente, Huaycani y Huaycani (2018) adoptaron un enfoque particular al aplicar el aditivo superplastificante en mezclas de concreto con 10.4% de contenido que pasa la malla N° 200. Sus resultados indican que, al introducir el aditivo superplastificante después de 60 minutos de proceso de mezclado, la mezcla con aditivo demostró un aumento de 2.50 pulgadas en el asentamiento en comparación con aquella sin aditivo.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión, respaldamos la validación de la hipótesis 2, la cual postula una mejora de la resistencia a la compresión al incorporar un aditivo superplastificante en mezclas con diferentes porcentajes de malla N° 200.

Estos hallazgos encuentran concordancia con las investigaciones realizadas por Almonacid y Prétel (2015), Cahui (2021) y Huaycani y Huaycani (2018), quienes observaron incrementos de resistencia a la compresión, respecto a la mezcla sin aditivo, en un intervalo de 8% a 19% al incorporar un aditivo superplastificante, el cual actuó como agente fluidificante en sus mezclas con alto contenido que pasa la malla N° 200.

Adicionalmente, autores como Garay y Quispe (2016), Heredia (2017), Cárdenas y Cárdenas (2022) y Abou-Zeid y Maher (2003), respaldan la noción de que la incorporación de un aditivo superplastificante, utilizado como agente reductor de agua en mezclas con un alto contenido de finos, conlleva a un aumento en la resistencia a la compresión en un rango que va del 15% al 103% respecto a las mezclas sin aditivo.



Basándonos en los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión, se acepta la hipótesis alterna que mejora la resistencia a la flexión cuando se incorpora un aditivo superplastificante en las mezclas de concreto que tiene el material que pasa la malla N° 200 en 8.5% y 10.0%.

Estos resultados concuerdan con las conclusiones de Almonacid y Pretel (2015), quienes sostienen que la resistencia a la flexión aumenta con la adición de un aditivo superplastificante cuando se emplea como un agente que aumenta la trabajabilidad en mezclas con agregados con alto nivel de finos. Asimismo, coinciden con las observaciones de Abou-Zeid y Maher (2003), quienes indican que la utilización del aditivo como agente reductor de agua también conduce a mejoras en la resistencia a la flexión.

## CONCLUSIONES

1. La incorporación del 0.30% de aditivo superplastificante en mezclas de concreto con alto contenido de finos de las canteras Miranda y San Bartolo resulta altamente beneficiosa. Aumenta el asentamiento en un 21% y 38%, respectivamente, y mejora la resistencia a la compresión a los 28 días en un 46% y 32%, superando a las mezclas sin aditivo. Además, incrementa la resistencia a la flexión alcanzando niveles equivalentes al 19% de la resistencia a la compresión de diseño. En conjunto, la incorporación de este aditivo superplastificante representa una mejora sustancial en las propiedades del concreto.
2. De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados, se observó que al agregar un 0.30% de aditivo superplastificante el asentamiento para las mezclas con agregado fino de las canteras Miranda y San Bartolo, alcanzando valores de 7.25 y 8.50 pulgadas (Figura 50), respectivamente. Esto representa un aumento del 21% y 38% con respecto a los valores esperados. Estos resultados destacan en gran medida en comparación con el diseño sin aditivo, el cual experimentó una disminución en el asentamiento del 79% y 54% respectivamente. Por lo tanto, se concluye que la incorporación del aditivo superplastificante en las mezclas con alto contenido de finos aumenta notablemente la trabajabilidad y fluidez del concreto.
3. Basándonos en los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, la adición de un 0.30% de aditivo superplastificante demostró un comportamiento altamente efectivo, superando incluso la resistencia de la mezcla sin aditivo. Esto se tradujo en un incremento del 46% y 32% en la resistencia a los 28 días (Tabla 58), para las mezclas con agregado de la cantera Miranda y San Bartolo, respectivamente, sin comprometer el asentamiento esperado. En contraste, el diseño que implicó el añadido de agua para alcanzar el asentamiento deseado tuvo un efecto perjudicial, resultando en una disminución del 17% y 25% por debajo de la resistencia proyectada (Tabla 59). En conclusión, la incorporación de este aditivo superplastificante eleva la resistencia a la compresión en mezclas de concreto con alto contenido de finos.

4. Teniendo en cuenta los ensayos de resistencia a la flexión se puede concluir que las mezclas de concreto con incorporación de un aditivo superplastificante en una dosificación de 0.30% han exhibido un desempeño superior en comparación con las mezclas que carecen de aditivo. Este resultado se aprecia tanto cuando se mantiene constante la relación agua/cemento (Tabla 60), como cuando se mantiene constante el asentamiento (Tabla 61). Es así que la utilización del aditivo aplicado en las mezclas de concreto con el agregado fino de Cantera Miranda y San Bartolo han obtenido resistencias equivalentes al 19% de la resistencia a la compresión de diseño.

## RECOMENDACIONES

1. En futuras investigaciones y proyectos de ingeniería civil se sugiere considerar el uso del aditivo superplastificante en las mezclas con alto contenido de finos dado que los resultados en este estudio han demostrado que la incorporación de tan solo un 0.30% de aditivo mejora significativamente la trabajabilidad y fluidez en las mezclas sin comprometer la estabilidad o provocar la segregación.
2. Con el objetivo de elevar la resistencia a la compresión en mezclas de concreto con un contenido alto de finos, se aconseja enfáticamente la incorporación de aditivos superplastificantes. Estos aditivos demuestran su eficacia al reducir el contenido de agua en la mezcla, lo que se traduce en un aumento significativo de la resistencia. En situaciones en las cuales se decida emplear el aditivo superplastificante con una función fluidificante, se recomienda complementarlo con un aditivo acelerante. Esta combinación contribuye a mantener la fluidez requerida y, a la vez, potencia la obtención de resistencias superiores.
3. En el ámbito de proyectos de ingeniería que involucran agregados con altos niveles de finos y demandan mejoras sustanciales en la resistencia a la flexión, se sugiere explorar la opción de incorporar un aditivo superplastificante. Este aditivo se puede aprovechar como reductor de agua, ya que se ha demostrado que esta aplicación particular resulta en un incremento notable en la resistencia del concreto. Antes de proceder con la implementación, se aconseja llevar a cabo evaluaciones preliminares para definir con precisión el contenido óptimo de aditivo que permita maximizar los beneficios en resistencia, sin comprometer los estándares de calidad y durabilidad del concreto.
4. Para lograr una implementación adecuada en la práctica, se insta a futuras investigaciones a explorar diferentes proporciones del aditivo superplastificante, como también diferentes cantidades de material más fino que pasa la malla N° 200, con la finalidad de identificar la concentración óptima que maximice los beneficios sin comprometer otras propiedades del concreto.

## REFERENCIAS

- Abanto, F. (2018). *Tecnología del Concreto* (3era ed.). San Marcos.
- Abou-Zeid, M., y Maher, M. (2003). Short-Term Impact of High-Aggregate Fines Content on Concrete Incorporating Water-Reducing Admixtures. *ACI Materials Journal*, 100(4), 280–285. <https://doi.org/10.14359/12665>
- ACI Committee 211 American Concrete Institute. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- ACI Committee 212 American Concrete Institute. (2016). *Report on chemical admixtures for concrete*.
- ACI Committee E-701. (2016). *Aggregates for Concrete*.  
<http://concrete.org/Publications/>
- Almonacid, C., y Prétel, M. (2015). *Estudio de la dosificación del concreto utilizando agregados de la cantera Figueroa en Huánuco con aditivo superplastificante* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú].  
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/2243>
- Aparecida, R., de Matos, P., Ronaldo, P., Prudêncio, L., y Ferron, R. (2020). Rheological properties and surface finish quality of eco-friendly self-compacting concretes containing quarry waste powders. *Journal of Cleaner Production*, 257.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120508>
- ASTM C29M. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. ASTM International.
- ASTM C33. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International.
- ASTM C78. (2009). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ASTM International.
- ASTM C117. (2017). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. ASTM International.
- ASTM C127. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. ASTM International.
- ASTM C494. (2017). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. ASTM International.
- Cabrera, O., Traversa, L., y Ortega, N. (2011). Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. *Materiales de Construcción*, 61(303), 401–416.

<https://doi.org/10.3989/mc.2011.55609>

Cahui, E. (2021). *Evaluación de la resistencia del concreto de  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> mediante el empleo de aditivo superplastificante reductor de agua-Moquegua* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui, Moquegua-Perú].

<https://hdl.handle.net/20.500.12819/1382>

Cárdenas, M., y Cárdenas, C. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa de concreto Chimborazo de Quito* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador].

<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22314>

Chavarry Vallejos, C. M., Chavarría Reyes, L. J., Valencia Gutiérrez, A. A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J. P., & Rengifo Salazar, C. A. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 4(31), 31–41. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>

Coutinho, A. (1997). *Fabrico e propriedades do betão* (LNEC, Ed.; Vol. 1).

De la Rosa, C. (2014). Innovaciones para el tratamiento de agregados contaminados con arcilla. *Construcción y Tecnología En Concreto*.

<http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/septiembre2014/tecnologia.pdf>

Garay, L., y Quispe, C. (2016). *Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú].

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/7625>

Gomes, M. (2019). *A influência da substituição parcial do agregado miúdo por resíduo britagem nas propriedades mecânicas do concreto* [Tesis de pregrado, Centro Universitário Luterano de Palmas, Brasil].

<https://ulbra-to.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/1610>

Guerrero, A., y Hoyos, L. (2020). *Influencia del material fino que pasa por el tamiz N°200 (74  $\mu$ m) en las propiedades físicas y mecánicas del concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca-Perú].

<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/274>

Heredia, E. (2017). *Diseño de concreto de alta resistencia  $f'c$  900 kg/cm<sup>2</sup> usando agregados del Río Huallaga para la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martín*,

- región de San Martín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto].  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2433>
- Hermida, G. (2013). *Sika Informaciones Técnicas Aditivos para Concreto Una visión actual. Sika Perú.*
- Huaycani, J., y Huaycani, F. (2018). *Evaluación del desempeño del concreto sometido a tiempos de mezclado prolongado y retemplado con un aditivo superplastificante en la ciudad de Arequipa - 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú].  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6217>
- ICG. (2010). *Materiales de construcción* (2da ed.). Fondo Editorial ICG.
- Instituto Nacional de Estadística e Información. (2021). *Consumo interno de cemento creció 14.96% en Febrero del 2021 y sumó siete meses de comportamiento positivo ininterrumpido.*  
<https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-048-2021-inei.pdf>
- Isuiza, J., y Montoya, R. (2022). *Influencia del aditivo superplastificante en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, obtenido a partir de arena cuarzosa de canteras km 60 carretera Iquitos-Nauta 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú, Loreto-Perú].  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1836/ISUIZA%20PETIT%20JACK%20WAGNER%20Y%20%20MONTROYA%20DOZA%20RONALD%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (1era ed.). Portland Cement Association.
- Martínez, L., y Torres, M. (2013). Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200 influencia reológico mecánica en la matriz del hormigón. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 7, 1–79.
- MAPEI. (2018). *Dynamon SP45/AC*. Ficha Técnica.  
[https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider7/productsdocuments/1\\_338-dynamonsp45acares\\_7f4900b4ff274120bb3bb94c5490d809.pdf?sfvrsn=e899f12\\_0](https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider7/productsdocuments/1_338-dynamonsp45acares_7f4900b4ff274120bb3bb94c5490d809.pdf?sfvrsn=e899f12_0)
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica de Edificación E060 Concreto Armado.*

[http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060\\_CONCRETO\\_ARMADO.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf)

- Muñoz, F., y Oreamuno, J. (1995). Influencia de los finos pasando la malla No 200 (ASTM) en mezclas de concreto con cementos portland con adiciones. *Ingeniería Revista de La Universidad de Costa Rica*, 71–82.
- NRMCA. (2016). *CIP 16-Resistencia a Flexión del concreto*. [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org).
- NTP 339.034. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*.
- NTP 339.035. (2015). *Método de ensayo normalizado para la medición del asentamiento del concreto fresco con el cono de Abrams*.
- NTP 339.036. (2017). *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco*.
- NTP 339.046. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*.
- NTP 339.079. (2012). *Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón en vigas simplemente apoyadas en carga en el centro del tramo*.
- NTP 339.146. (2019). *Método de ensayo normalizado para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino*.
- NTP 339.184. (2013). *Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*.
- NTP 400.012. (2021). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso*.
- NTP 400.018. (2020). *AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu$ m (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo*.
- NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos*.
- Ochoa, Y. (2018). *Evaluación experimental de las arenas de Cerromochó y Chulucanas y su influencia en el concreto* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3657/ICI\\_259.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3657/ICI_259.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto* (2da ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.



- Rivva, E. (2013). *Diseño de mezclas* (2da ed.). San Marcos.
- Sotomayor, C. (2020). *La Ciencia y el Arte del Concreto: El material de construcción del siglo XXI*. Mesa Redonda.
- Trujillo, D. (2021). *Influencia del aditivo superplastificante Neoplast 8500 HP en las propiedades del concreto cemento-arena empleando agregado fino de la cantera "Las Amazonas" Carretera Iquitos-Nauta Km 20, Iquitos 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú, Loreto-Perú].  
<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1777/DANNY%20JIM%20TRUJILLO%20PINEDO%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UNACEM. (2023). *Ficha Técnica Cemento Sol*. Ficha Técnica.  
[https://www.cementosol.com.pe/img/Ficha\\_Cemento\\_Sol.pdf](https://www.cementosol.com.pe/img/Ficha_Cemento_Sol.pdf)
- Valverde, C., Serrano, Y., y Dominguez, J. (2016). Nuevas tecnologías en el mundo de los aditivos superplastificantes para hormigón. *Cemento Hormigón*, 36–39.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5473262>

## ANEXOS

<b>Anexo A</b> <i>Matriz de consistencia</i> .....	96
<b>Anexo B</b> <i>Operacionalización de variables</i> .....	97
<b>Anexo C</b> <i>Ensayo a los agregados empleados</i> .....	98
<b>Anexo D</b> <i>Certificado de calibración de máquina de ensayo uniaxial</i> .....	99
<b>Anexo E</b> <i>Certificado de calibración máquina de ensayo de flexión</i> .....	101
<b>Anexo F</b> <i>Certificado de calibración de horno de secado para muestras</i> .....	103

## Anexo A Matriz de consistencia

Título: Aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas en concreto estructural con exceso de material residual pasante malla N° 200

<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
¿En qué medida la incorporación de aditivos químicos influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200?	Determinar el desempeño del aditivo químico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200.	Al incorporar el aditivo químico se mejorará las propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200.	Aditivos químicos	Reductor de agua	Plastificante
<b>Problema Específico</b>	<b>Objetivo Específico</b>	<b>Hipótesis Específico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
a) ¿En qué medida la incorporación del aditivo plastificante influye en el asentamiento del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200?	a) Determinar el desempeño del aditivo plastificante para mejorar el asentamiento del concreto estructural.	a) Al incorporar el aditivo plastificante mejora el asentamiento del concreto estructural.		Fresco	Trabajabilidad Fluidez Consistencia
b) ¿En qué medida la incorporación del aditivo plastificante influye en la resistencia a la compresión del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200?	b) Determinar el desempeño del aditivo plastificante para mejorar la resistencia a la compresión del concreto estructural.	b) Al incorporar el aditivo plastificante mejora la resistencia a la compresión del concreto estructural	Propiedades físicas y mecánicas del concreto estructural	Endurecido	Resistencia
c) ¿En qué medida la incorporación del aditivo plastificante influye en la resistencia a la flexión del concreto estructural con exceso de material residual pasante a la malla N° 200?	c) Determinar el desempeño del aditivo plastificante para mejorar la resistencia a la flexión del concreto estructural	c) Al incorporar el aditivo plastificante mejora la resistencia a la flexión del concreto estructural			



## Anexo C Ensayo a los agregados empleados

<b>Descripción</b>	<b>Link:</b>
Formatos en blanco	<a href="https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9TdCLkdpb-aw-FEQ?e=SvzNAj">https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9TdCLkdpb-aw-FEQ?e=SvzNAj</a>
Ensayo al agregado AF-1 Cantera Miranda	<a href="https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9PTjO4fyzoytNLQg?e=WlKoRN">https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9PTjO4fyzoytNLQg?e=WlKoRN</a>
Ensayo al agregado AF-2 Cantera San Bartolo	<a href="https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9Q_L0wNoYvsV58hQ?e=yP7Qiu">https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga9Q_L0wNoYvsV58hQ?e=yP7Qiu</a>
Ensayos al agregado AG de la chancadora Limatambo	<a href="https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga8wWVFpg35EWqGjew?e=BhTRNx">https://1drv.ms/f/s!Am9X-uTU8bZbga8wWVFpg35EWqGjew?e=BhTRNx</a>

# Anexo D Certificado de calibración de máquina de ensayo uniaxial



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LF-B-022-2023

Página 1 de 3

**Solicitante** : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
**Dirección** : Av. Benavides Nro. 5440 Urb. Las Gardenias  
Lima - Lima - Santiago de Surco  
**Instrumento de Medición** : Máquina de Ensayo Uniaxial  
**Marca** : ELE-INTERNATIONAL  
**Serie** : 4040000001  
**Identificación** : No indica  
**Capacidad Máxima** : 2200 kN  
**Resolución** : 0,1 kN  
**Procedencia** : U.S.A.  
**Tipo del Indicación** : Digital  
**Serie del Indicador** : 1887-1-00081  
**Fecha de Calibración** : 2023-02-15  
**Fecha de Emisión** : 2023-02-17

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales y/o nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Celda EIRL recomienda interpretar correctamente el presente documento a fin de evitar resultados o acciones erróneas.

Este certificado de calibración no debe ser reproducido en forma parcial ni modificado sin la autorización de CELDA EIRL.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

### Condiciones ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	26,8	27,0



  
**John Oras Fuerte**  
Laboratorio de Calibración

**Método de Calibración**

La calibración se realizó, según la PC-032 ed. 01 "Procedimiento para la calibración de máquinas de ensayos uniaxiales" del INACAL.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones de HBK (Alemania), en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Código	Instrumento patrón	Certificado de Calibración
TF-C05	Transductor de Fuerza Clase 0,5	106062 D-K-12029-01-00 2022-08

**Lugar de Calibración**

Laboratorio de Ensayos de Materiales - Facultad (Escuela de Ingeniería Civil)  
Santiago de Surco - Lima

**Observaciones**

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U), la que se obtiene a partir de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k) igual a 2, de modo que la Probabilidad de Cobertura (p) corresponde a un Nivel de Confianza de aproximadamente 95 %.





**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**LF-B-021-2023**

Página 1 de 3

**Solicitante** : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
**Dirección** : Av. Benavides Nro. 5440 Urb. Las Gardenias  
Lima - Lima - Santiago de Surco  
**Instrumento de Medición** : Máquina de Ensayo de Flexión  
**Marca** : TECNOTEST  
**Serie** : 920  
**Identificación** : No indica  
**Capacidad Máxima** : 150 kN  
**División de escala** : 0,5 kN  
**Procedencia** : Italia  
**Tipo del Indicación** : Analógica  
**Serie del Indicador** : 31556  
**Fecha de Calibración** : 2023-03-01  
**Fecha de Emisión** : 2023-03-03

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales y/o nacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Celda EIRL recomienda interpretar correctamente el presente documento a fin de evitar resultados o acciones erróneas.

Este certificado de calibración no debe ser reproducido en forma parcial ni modificado sin la autorización de CELDA EIRL.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

**Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	25,6	25,8



**John Oros Fuerte**  
Laboratorio de Calibración



**Método de Calibración**

La calibración se realizó, según la PC-032 ed. 01 "Procedimiento para la calibración de máquinas de ensayos uniaxiales" del INACAL.

**Trazabilidad**

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones de HBK (Alemania), en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Código	Instrumento patrón	Certificado de Calibración
TF-C02	Transductor de Fuerza Clase 0,5	107833 D-K-12029-01-00 2022-09

**Lugar de Calibración**

Laboratorio de Ensayos de Materiales - Facultad (Escuela de Ingeniería Civil)  
Santiago de Surco - Lima

**Observaciones**

La incertidumbre de medición reportada se denomina Incertidumbre Expandida (U), la que se obtiene a partir de la multiplicación de la Incertidumbre Estándar Combinada (u) por el Factor de Cobertura (k) igual a 2, de modo que la Probabilidad de Cobertura (p) corresponde a un Nivel de Confianza de aproximadamente 95 %.



## Anexo F

### Certificado de calibración de horno de secado para muestras

11



#### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LT-B-001-2023 ✓

Página 1 de 4

**Solicitante** : UNIVERSIDAD RICARDO PALMA  
**Dirección** : Av. Benavides N° 5440 Urb. Las Gardenias Santiago de Surco - Lima  
**Instrumento de Medición** : Horno de secado para muestras  
**Marca** : DESPATCH  
**Modelo** : LEB2-18-1  
**Serie** : 171398  
**Identificación** : No indica.  
**Intervalo de indicación** : T. Amb. hasta 204 °C  
**División de escala** : 1 °C  
**Tipo del indicación** : Digital  
**Procedencia** : ALEMANIA  
**Fecha de Calibración** : 2023-02-23  
**Fecha de Emisión** : 2023-02-28  
**Lugar de Calibración** : Laboratorio de Ensayos de Materiales:  
Escuela de Ingeniería Civil  
Av. Benavides N° 5440  
**Método de Calibración** :  
Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático PC 018 -  
Indecopi: 2ª Edición.  
**Trazabilidad** :  
Los resultados de calibración tienen trazabilidad a los patrones RELES en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI).

Este certificado de calibración es trazable a patrones internacionales y/o nacionales, los cuales realizar las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).  
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.  
Celda EIRL recomienda interpretar correctamente el presente documento a fin de evitar resultados o acciones erróneas.  
Este certificado de calibración no debe ser reproducido en forma parcial ni modificado sin la autorización de CELDA EIRL.  
El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

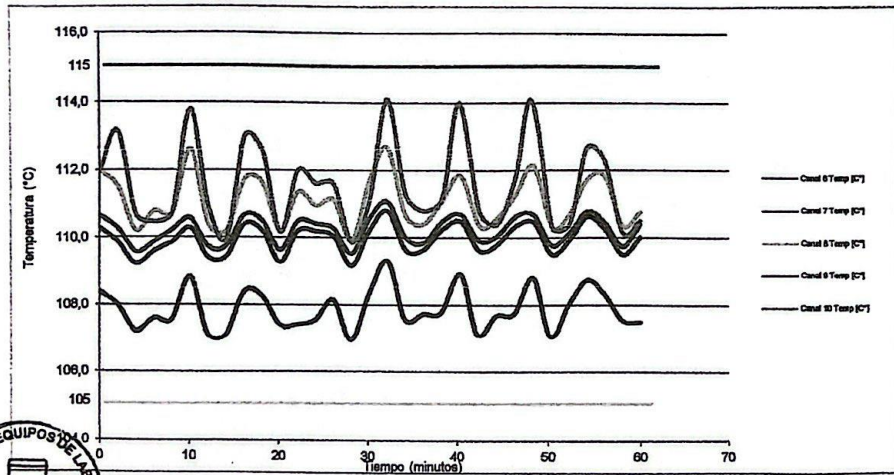
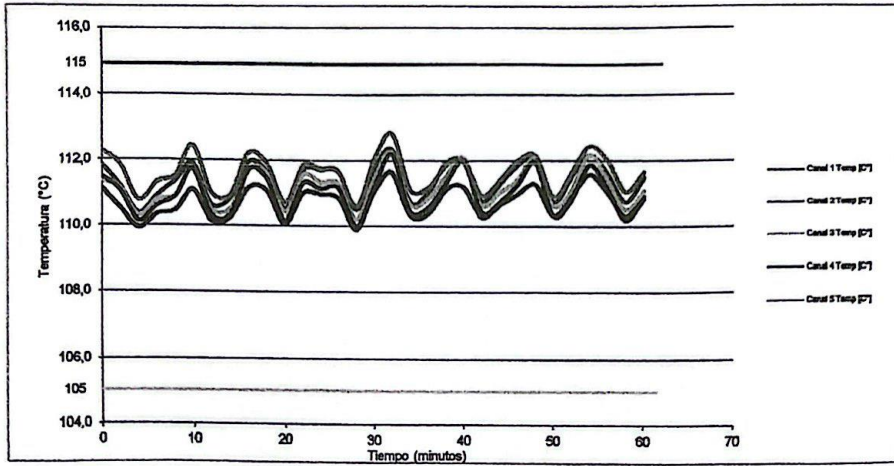
Instrumento patrón	Certificado de calibración
Thermometer mit PT-100, marca MBW Calibration AG, Modelo T12, N° de serie 19-0728	LCT-A-556-2022



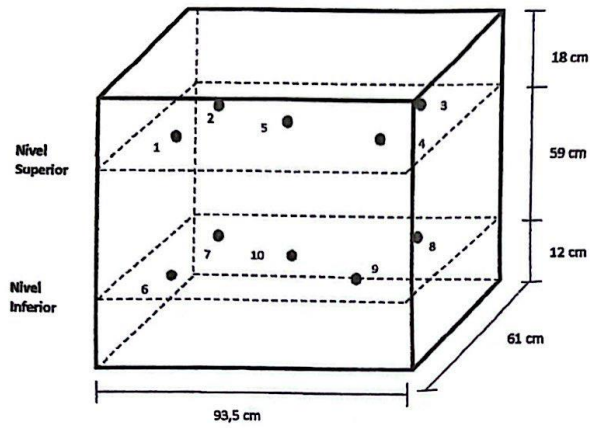
Vladimir Tello Torre  
Laboratorio de Calibración



TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C ± 5 °C



## DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivas parrillas.  
Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 19 cm de las paredes laterales.  
Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 12 cm del frente y fondo de la estufa.

### Fotografía del interior del medio isotermo

