

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE EN LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PARA  
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN LA REGIÓN TACNA, 2025”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. LUCERO MILAGROS DEL CARMEN MERINO AREVALO**

**Bach. FEDERICO ITALO NIETO LOZANO**

**TACNA – PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE EN LA  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PARA  
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN LA REGIÓN TACNA, 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 20 de diciembre de 2025; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTA : Mtro. ALFONSO OSWALDO FLORES MELLO**

**SECRETARIO : Mtro. ROSALÍ CRISTINA ALANIA COTRADO**

**VOCAL : Mtro. GLENDA MILAGROS LINAJA GARCÍA**

**ASESOR : Mtro. FREDY RICHARD CONDORI GOMEZ**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Lucero Milagros del Carmen Merino Arevalo y Federico Italo Nieto Lozano egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70825985 y DNI 71142203 respectivamente; así como Mtro. Fredy Richard Condori Gomez con DNI 42564239 declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos autores de la *tesis* titulada: *Influencia del material cementante en la resistencia a compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025* la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copiados.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y a terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 20 de diciembre del 2025

Lucero Milagros del Carmen Merino Arevalo  
DNI: 70274908

Fredy Richard Condori Gomez  
DNI: 42564239

Federico Italo Nieto Lozano  
DNI: 72212413

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de fortaleza y claridad en cada paso de este camino. A mi padre, cuya presencia marcó mi vida con amor, disciplina y un apoyo inquebrantable. Aunque ya no esté físicamente, su ejemplo, sus enseñanzas y su fortaleza continúan guiándome y recordándome que soy capaz de llegar más lejos de lo que imagino. A mi familia, por sostenerme con paciencia, ánimo y confianza cuando más lo necesité.

A mis amigos por acompañarme en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada avance y a mí misma, por mantenerme firme incluso cuando el camino se volvió pesado, por honrar mis sueños y por no detenerme.

Esta meta es fruto de perseverancia, noches de dedicación y el deseo profundo de construir un futuro mejor, llevando conmigo cada memoria, cada esfuerzo y cada acto de amor que me trajo hasta aquí.

Lucero Milagros del Carmen Merino Arevalo

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiar mis pasos en cada momento de este camino, por darme la perseverancia necesaria para superar los desafíos y la claridad para alcanzar esta meta.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la disciplina y la humildad. Este logro también es de ustedes, porque sin su sacrificio y confianza no habría llegado hasta aquí.

A mis abuelos, que desde el cielo han sido mi inspiración y mi fuerza silenciosa. Su recuerdo vive en mí y me impulsa a seguir adelante. La tesis es también un homenaje a sus vidas, a sus enseñanzas y al amor que siempre me brindaron.

Con todo mi corazón, gracias. Esta meta alcanzada es también de ustedes.

Federico Italo Nieto Lozano

## **AGRADECIMIENTO**

Con sincera gratitud, expresamos nuestro agradecimiento a quienes hicieron posible la realización de esta investigación. A nuestros docentes y asesores, por brindarnos no solo sus conocimientos, sino también su paciencia y orientación en cada etapa del proceso académico. Su compromiso con nuestra formación fue clave para culminar este trabajo. Agradecemos también a la Universidad Privada de Tacna, por proporcionarnos un espacio de aprendizaje que nos permitió crecer como profesionales y como personas. Su respaldo institucional y recursos académicos han sido fundamentales para alcanzar esta meta. A nuestras familias, pilares de fortaleza y amor incondicional, por confiar en nosotros incluso en los momentos más difíciles. Gracias por alentarnos a seguir adelante cuando todo parecía incierto. Finalmente, a quienes nos apoyaron de manera silenciosa pero constante, y a todos aquellos que contribuyeron, directa o indirectamente, a este logro, les dedicamos con profundo respeto esta investigación.

Lucero Milagros del Carmen Merino Arevalo  
Federico Italo Nieto Lozano

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS .....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Descripción del problema .....	3
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.4. Objetivos .....	6
1.5. Hipótesis.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1.1. A nivel internacional .....	8
2.1.1.2. A nivel nacional.....	9
2.2. Bases teóricas .....	10
2.2.1.1. El Gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) .....	10
2.2.1.2. Definición de los materiales cementantes suplementarios (SCM).....	11
2.2.1.3. Efectos de los SCMs en las Propiedades del Concreto .....	11
2.2.1.4. El Sedimento De Reservorio Como Material Cementante Suplementario.....	12
2.2.1.5. Características Físicas y Químicas Relevantes del Sedimento.....	13
2.2.2. Marco Normativo Y Técnico Aplicable.....	14
2.2.2.1. ASTM D2216-19 Métodos de ensayo estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa .....	14
2.2.2.2. ASTM D4318 Métodos de ensayo estándar para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.....	14
2.2.2.3. ASTM C136 Método de Ensayo Estándar para el Análisis Granulométrico por Tamizado de Agregados Finos y Gruesos .....	14

2.2.2.4. ASTM C127 Densidad y Absorción del Agregado Grueso .....	15
2.2.2.5. ASTM C128 Densidad y Absorción del Agregado Fino .....	15
2.2.2.6. ACI 211.1 Guía para la Dosificación de Mezclas de Hormigón .....	16
2.2.2.7. ASTM C143 Ensayo de Asentamiento del Concreto (Slump Test).....	16
2.2.2.8. ASTM C138 Método de ensayo estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto .....	17
2.2.2.9. ASTM C39M Ensayo de Compresión del Concreto .....	17
2.2.2.10. ACI 201.2R Guía para La Durabilidad Del Concreto .....	18
2.2.2.11. ACI 350-06 Requisitos del Código para Estructuras de Concreto para Ingeniería Ambiental .....	19
2.2.2.12. ACI 318-25 Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural	19
2.3. Definición de términos .....	20
2.3.1.1. Cemento Pórtland .....	20
2.3.1.2. Agregados.....	21
2.3.1.3. Propiedades del Concreto en estado fresco.....	21
2.3.1.4. Temperatura .....	21
2.3.1.5. Asentamiento .....	21
2.3.1.6. Rendimiento volumétrico.....	21
2.3.1.8. Resistencia a la compresión .....	21
2.3.1.9. Permeabilidad .....	22
2.3.1.10. Sedimentos .....	22
2.3.1.11. Estructuras hidráulicas .....	22
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....	23
3.1. Diseño de investigación.....	23
3.2. Acciones y actividades .....	23
3.2.1.1. Selección y caracterización de materiales .....	25
3.2.1.2. Diseño de mezclas experimentales.....	26
3.2.1.3. Análisis comparativo de resultados .....	26
3.3. Materiales y/o instrumentos .....	27
3.4. Población y/o muestra de estudio.....	28
3.4.1.1. Población .....	28
3.4.1.2. Muestra .....	28
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	28
3.6. Operacionalización de variables .....	29
3.6.1.1. Ensayo de Granulometría .....	30
3.6.1.2. Ensayo de Contenido de Humedad .....	31

3.6.1.3. Ensayos de Límites de Atterberg: Límite Líquido y Límite Plástico .....	32
3.6.1.4. Ensayo de Peso Unitario.....	32
3.6.1.5. Elaboración de probetas de concreto.....	33
3.6.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión .....	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	38
4.1. Granulometría del Agregado fino.....	38
4.2. Contenido de humedad del agregado fino .....	39
4.3. Peso específico y absorción del agregado fino.....	40
4.4. Agregado grueso utilizado .....	40
4.5. Contenido de humedad del agregado grueso .....	42
4.6. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	42
4.7. Peso Específico del sedimento.....	43
4.8. Granulometría del Sedimento de los reservorios .....	44
4.9. Contenido de humedad del sedimento .....	48
4.10. Limite Plástico y líquido en el sedimento .....	48
4.11. Asentamiento.....	50
4.12. Peso unitario.....	51
4.13. Resistencia a la compresión .....	53
4.14. Costo de obtención del sedimento del reservorio para su uso como sustituto parcial del cemento.....	62
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	66
5.1 Contrastación de la Hipótesis .....	66
5.2 Contrastación de Hipótesis Específicas.....	68
CONCLUSIONES .....	70
RECOMENDACIONES.....	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
ANEXOS.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química típica de los SCMs .....	12
Tabla 2. Límites del $f_c$ .....	20
Tabla 3. Operacionalización de la variable independiente .....	29
Tabla 4. Operacionalización de la variable dependiente .....	30
Tabla 5. Granulometría de Agregado Fino.....	38
Tabla 6. Contenido de humedad del agregado fino .....	39
Tabla 7. Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado fino.....	40
Tabla 8. Análisis granulométrico .....	41
Tabla 9. Contenido de humedad del agregado grueso .....	42
Tabla 10. Peso específico y absorción del agregado grueso .....	43
Tabla 11. Peso Específico del sedimento .....	44
Tabla 12. Granulométrica de la primera muestra del sedimento.....	44
Tabla 13. Granulométrica de la segunda muestra del sedimento .....	46
Tabla 14. Granulométrica de la tercera muestra del sedimento.....	47
Tabla 15. Contenido de humedad del sedimento.....	48
Tabla 16. Limite líquido.....	48
Tabla 17. Límite plástico .....	49
Tabla 18. Evaluación del asentamiento en las mezclas de concreto elaboradas con la incorporación de sedimentos provenientes de los reservorios del Proyecto Especial Tacna PET.....	50
Tabla 19. Pesos unitarios, primera muestra (sin sedimento) .....	51
Tabla 20. Pesos unitarios, primera muestra (10% de sedimento) .....	52
Tabla 21. Pesos unitarios, primera muestra (20% de sedimento) .....	52
Tabla 22. Pesos unitarios, primera muestra (30% de sedimento).....	52
Tabla 23. Resistencia a la compresión de la mezcla patrón, primera muestra.....	54
Tabla 24. Resistencia a la compresión de la mezcla patrón, segunda muestra .....	54
Tabla 25. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 10% .....	55
Tabla 26. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 10%, segunda muestra.....	56
Tabla 27. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20% .....	56
Tabla 28. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20%, segunda muestra.....	57

Tabla 29. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 30% .....	57
Tabla 30. Resistencia a la compresión del concreto con adición del 30%, segunda muestra.....	58
Tabla 31. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> - 30% de residuo de reservorio PET .....	59
Tabla 32. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> - 30% de residuo de reservorio PET .....	63
Tabla 33. Comparación de costos en una obra de mantenimiento de reservorios del PET.....	63
Tabla 34. Gastos de concreto en obra de mantenimiento del PET .....	64
Tabla 35. Comparación de precios por m <sup>3</sup> para los diferentes concretos.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del procedimiento metodológico para evaluar el uso de sedimentos .....	25
Figura 2. Agitado del juego de tamices .....	31
Figura 3. Colocación de muestras en el horno.....	31
Figura 4. Aparato de Casagrande .....	32
Figura 5. Elaboración de mezcla de concreto .....	33
Figura 6. Elaboración de probetas de concreto.....	34
Figura 7. Probeta elaboradas.....	34
Figura 8. Probetas desmoldadas y colocadas en el pozo .....	35
Figura 9. Mediciones a la altura media del espécimen .....	36
Figura 10. Ingreso de probeta para ensayo de compresión .....	36
Figura 11. Colocación de probeta .....	37
Figura 12. Ensayo de compresión .....	37
Figura 13. Limite Granulométrico.....	39
Figura 14. Gradación del agregado grueso.....	41
Figura 15. Granulométrica de la primera muestra del sedimento.....	45
Figura 16. Granulométrica de la segunda muestra del sedimento. ....	46
Figura 17. Granulométrica de la tercera muestra del sedimento.....	47
Figura 18. %W VS N° Golpes LL Ensayo del sedimento .....	49
Figura 19. Variación del asentamiento según porcentajes.....	50
Figura 20. Variación del asentamiento según porcentajes.....	51
Figura 21. Variación del peso unitario del concreto $f'c=210$ kg/cm.....	53
Figura 22. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	54
Figura 23. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	55
Figura 24. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 10 % de residuo de reservorio PET .....	55
Figura 25. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 10 % de residuo de reservorio PET .....	56
Figura 26. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> -20 % de residuo de reservorio PET. ....	57
Figura 27. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET .....	58

Figura 28. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET. ....	58
Figura 29. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del reservorio PET a los 7 días.....	60
Figura 30. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30. % de sedimento del reservorio PET a los 14 días.....	61
Figura 31. Resultados de la resistencia a la compresión $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del reservorio PET a los 28 días.....	62

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia .....	76
Anexo 2. Informe de Ensayos Validados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos .....	80
Anexo 3. Cálculo de precios por m <sup>3</sup> de cada concreto de prueba .....	83

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito determinar la influencia del material cementante proveniente de los sedimentos de los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET) en la resistencia a la compresión del concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025. El estudio se desarrolló ante la necesidad de promover alternativas sostenibles al cemento Portland tradicional, reduciendo el impacto ambiental y aprovechando los recursos naturales disponibles en la zona. Se aplicó un diseño experimental de tipo aplicado, mediante la elaboración de mezclas de concreto en las que se reemplazó parcialmente el cemento Portland por sedimentos naturales en proporciones del 10 %, 20 % y 30 %. Los especímenes elaborados fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días de curado conforme a la norma ASTM C39M, con el objetivo de evaluar la resistencia a la compresión. Adicionalmente, se realizaron ensayos de caracterización física del sedimento, como granulometría, humedad, plasticidad y peso específico, a fin de verificar su idoneidad como material cementante. Los resultados experimentales evidenciaron que el reemplazo parcial del cemento por sedimentos del PET puede mantener niveles adecuados de resistencia a la compresión, dependiendo del porcentaje de sustitución aplicado. Asimismo, se observó una mejora en la sostenibilidad del material, al reducirse el consumo de cemento Portland y aprovechar un residuo natural de los reservorios. Se concluye que la incorporación de sedimentos de los reservorios del Proyecto Especial Tacna constituye una alternativa viable para la producción de concreto hidráulico sostenible, siempre que se determinen proporciones óptimas de reemplazo que garanticen la calidad estructural requerida para las obras hidráulicas en la región.

**Palabras clave:** resistencia a la compresión; sedimentos de reservorio; material cementante suplementario; sustitución parcial de cemento; durabilidad del concreto.

## ABSTRACT

The present research aimed to determine the influence of the cementitious material derived from the sediments of the reservoirs of the Special Project Tacna (PET) on the compressive strength of concrete used in hydraulic structures in the Tacna region, 2025. The study was conducted in response to the need to promote sustainable alternatives to traditional Portland cement, reducing environmental impact and making efficient use of the natural resources available in the area. An applied experimental design was implemented through the preparation of concrete mixtures in which Portland cement was partially replaced by natural sediments in proportions of 10 %, 20 %, and 30 %. The prepared specimens were tested at 7, 14, and 28 days of curing, in accordance with the ASTM C39M standard, in order to evaluate compressive strength. Additionally, physical characterization tests of the sediment, such as granulometry, moisture, plasticity, and specific weight, were performed to verify its suitability as a cementitious material. The experimental results showed that the partial replacement of cement with PET sediments can maintain adequate levels of compressive strength, depending on the percentage of substitution applied. Likewise, an improvement in material sustainability was observed, as the consumption of Portland cement was reduced by utilizing a natural by-product from the reservoirs. It is concluded that the incorporation of reservoir sediments from the Special Project Tacna represents a viable alternative for the production of sustainable hydraulic concrete, provided that optimal replacement proportions are determined to ensure the structural quality required for hydraulic works in the region.

**Keywords:** compressive strength; reservoir sediments; supplementary cementitious material; partial cement replacement; concrete durability.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructura hidráulica en la región Tacna representa un desafío técnico y ambiental debido a sus condiciones geográficas, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de garantizar la durabilidad de las obras ante climas áridos y suelos con alta salinidad. En este contexto, el concreto se constituye como un material esencial en la ejecución de estructuras hidráulicas resistentes, seguras y sostenibles. Sin embargo, el uso convencional del cemento Portland como principal material cementante plantea limitaciones relacionadas con su elevado costo energético, la emisión de dióxido de carbono durante su producción y su vulnerabilidad frente a ambientes agresivos propios de las obras hidráulicas.

Ante esta problemática, surge la necesidad de incorporar materiales alternativos que contribuyan a mejorar las propiedades del concreto sin comprometer su resistencia estructural ni su durabilidad. Una alternativa viable consiste en el aprovechamiento de los sedimentos acumulados en los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET), los cuales, tras un proceso de caracterización física, pueden emplearse como material cementante suplementario en la mezcla del concreto. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad y la gestión eficiente de los recursos naturales, sino que también ofrece una posible solución al problema de la sedimentación que afecta la capacidad de almacenamiento de los reservorios.

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la influencia del material cementante proveniente de los sedimentos de los reservorios en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025. Para ello, se diseñaron mezclas experimentales con reemplazos del 10 %, 20 % y 30 % del cemento Portland por sedimentos naturales procesados, evaluando la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14 y 28 días de curado.

El estudio tiene un diseño experimental de tipo aplicado, porque busca comprobar cómo influye el sedimento extraído de los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET) en la resistencia a la compresión del concreto empleado en estructuras hidráulicas. Asimismo, se realizaron ensayos de granulometría, humedad, plasticidad y peso específico para determinar las propiedades físicas del sedimento y su idoneidad como material cementante. La tesis se estructura en cinco capítulos:

El Capítulo I presenta la formulación del problema, los objetivos, la justificación e importancia de la investigación, junto con las hipótesis y alcances del estudio.

El Capítulo II desarrolla el marco teórico, abordando los antecedentes, fundamentos técnicos y conceptos vinculados al concreto hidráulico, los cementos sostenibles y el aprovechamiento de sedimentos.

El Capítulo III describe la metodología empleada, detallando el diseño de investigación, las técnicas, los instrumentos y el procesamiento de los datos obtenidos en los ensayos.

El Capítulo IV presenta los resultados experimentales sobre el comportamiento del concreto con diferentes porcentajes de reemplazo, permitiendo analizar su desempeño mecánico y resistencia a compresión.

El Capítulo V incluye la discusión de los resultados, contrastándolos con estudios previos y evaluando la viabilidad técnica del uso de sedimentos de reservorios como material cementante alternativo.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones, orientadas a fomentar la utilización de materiales sostenibles en la industria de la construcción y a promover soluciones técnicas que contribuyan al desarrollo eficiente y ambientalmente responsable de la infraestructura hidráulica en la región Tacna.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Descripción del problema

La necesidad de desarrollar soluciones sostenibles y económicas para el mantenimiento y construcción de estructuras hidráulicas es un desafío global, especialmente evidente en contextos regionales como Tacna. La presente investigación busca analizar la influencia del material cementante en la resistencia a compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la Región Tacna, 2025.

La Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, ALCONPAT (2020), señala que los materiales cementantes suplementarios (SCM) no generan efectos adversos en la resistencia a compresión a largo plazo ni en la contracción por secado del concreto; sin embargo, su incorporación puede influir en la trabajabilidad y en la capacidad del material para resistir el agrietamiento por contracción plástica. Aunque presentan ciertos compromisos en su comportamiento, su uso aporta beneficios ambientales importantes, ya que permiten disminuir de manera notable la huella de carbono asociada a la producción de concreto. Por ello, los SCM se consideran elementos clave para avanzar hacia prácticas constructivas más sostenibles. Estudios como la tesis brasileña como *Alternativas para redução de impactos ambientais e reaproveitamento sustentável dos sedimentos dragados no Porto de Santos-SP* (Campos Vieira, 2021) han demostrado que el uso de material cementante no solo ofrece un beneficio ambiental y técnico, sino que también genera un impacto económico positivo al convertir un pasivo ambiental con alto costo de disposición en una materia prima para la construcción. Este enfoque refuerza la necesidad de explorar soluciones similares a nivel local.

En el contexto peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante la Norma Técnica E.060 Concreto Armado (2020), regula los requisitos de resistencia y calidad del concreto estructural; no obstante, no contempla el uso de sedimentos como material sustituto del cemento o agregado fino, lo cual limita la implementación de alternativas locales y sostenibles. Estudios realizados a nivel nacional, como el de Buiza Bernaldo (2022), mencionan que en las regiones del Perú el rubro de la construcción y el uso de aditivos industriales es muy frecuente y estas predominan en el mercado, pero en las zonas más alejadas no es muy común la utilización de estos aditivos, debido a que la construcción en los caseríos generalmente

es informal y no existe el conocimiento del uso y aplicación de los aditivos para el concreto, debido a esto no es considerado como alternativa para una mejora en las fallas comunes en el concreto.

En la región Tacna, según el INGEMMET (2009) la dinámica de sedimentación (arrastres aluviales en épocas de precipitación y sedimentos finos en cauces como el río Caplina) provoca mayor necesidad de limpiezas y costos de mantenimiento recurrentes. Estos sedimentos, son un recurso local abundante y al existir en el ámbito local pueden actuar como un material cementante suplementario (SCM) o como reemplazo parcial del agregado fino.

Por tanto, se requiere una evaluación experimental que determine la resistencia a compresión del concreto con distintos porcentajes de sedimento como reemplazo del cemento. Este análisis permite establecer si dicho material puede constituirse como una alternativa técnica y económicamente viable, contribuyendo a reducir costos de mantenimiento, promover el uso de recursos locales y ofrecer soluciones sostenibles para la infraestructura hidráulica de Tacna.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es la influencia del material cementante en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son las propiedades físicas del sedimento extraído de los reservorios del Proyecto Especial Tacna, determinadas mediante ensayos de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), y en qué medida estas propiedades evidencian su idoneidad como material cementante suplementario en mezclas de concreto?
- b. ¿Cómo se comporta el concreto fresco y endurecido al incorporar adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, evaluado mediante el ensayo de asentamiento (ASTM C143), peso unitario (ASTM C138) y la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (ASTM C39M), siguiendo los lineamientos del método de diseño de mezclas del ACI 211,1?

- c. ¿De qué manera influye técnica y económicamente la utilización de sedimento de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario para cementos mezclados y los lineamientos de durabilidad aplicables a estructuras hidráulicas en la región Tacna?

### **1.3. Justificación e importancia**

La ciudad de Tacna, situada en una región con características topográficas diversas y una demanda creciente de infraestructura hidráulica eficiente, enfrenta desafíos particulares en la ejecución de obras que garanticen durabilidad y funcionalidad. Las estructuras hidráulicas, como canales, reservorios y plantas de tratamiento, son fundamentales para el manejo adecuado del recurso hídrico y el desarrollo sostenible de la región. Para desarrollar esta investigación, es esencial destacar su importancia a través de las debidas fundamentaciones, las cuales facilitarán entender su objetivo y la influencia que ejercerá en su respectivo campo, conforme a los resultados alcanzados, para ello se presenta a continuación las justificaciones a nivel teórica, metodológica, social y económica.

**Justificación teórica:** La resistencia del concreto es una propiedad clave para la estabilidad y durabilidad de las estructuras hidráulicas. Esta resistencia está directamente influenciada por la composición y tipo de material cementante empleado en la mezcla. Según (Abrams, 1918) existe una relación inversa entre la relación agua-cemento y la resistencia del concreto, lo que demuestra la importancia del diseño adecuado de mezclas. Por otro lado, investigaciones más recientes de (Junak & Junáková, 2015) sostienen que el uso de materiales cementantes suplementarios (SCMs), como ceniza volante, humo de sílice o escoria, no solo mejora la resistencia mecánica sino también la durabilidad en ambientes agresivos, comprender cómo influye el tipo de material cementante permite fundamentar técnicamente mejores decisiones de diseño estructural.

**Justificación metodológica:** La presente investigación aplica un enfoque experimental para evaluar la resistencia del concreto con diferentes tipos de cementantes, mediante ensayos estandarizados de compresión. (Omen Bolaños, 2021) sostiene que las pruebas comparativas entre mezclas con distintos tipos de SCMs permiten identificar composiciones óptimas en función de los requerimientos estructurales. De esta manera, los resultados del estudio no solo serán relevantes a nivel académico, sino que también podrán ser utilizados por profesionales de la

construcción e instituciones públicas para mejorar los criterios técnicos en obras hidráulicas.

**Justificación social:** La investigación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles, debido a que promueve el uso de materiales cementantes alternativos capaces de mejorar la eficiencia y sostenibilidad del concreto utilizado en estructuras hidráulicas. La incorporación de materiales suplementarios al cemento Portland puede reducir el consumo de recursos no renovables, disminuir las emisiones asociadas a su producción y optimizar la durabilidad de las obras. El uso responsable de materiales cementantes alternativos también contribuye a una gestión más sostenible del entorno ambiental, reduciendo la huella ecológica del sector construcción y mejorando la calidad de vida mediante obras hidráulicas más duraderas, eficientes y seguras.

**Justificación económica:** Desde el enfoque económico, la investigación busca reducir los costos en la elaboración de concreto hidráulico mediante el reemplazo parcial del cemento por sedimentos locales, lo cual representa una alternativa de bajo costo para intervenciones menores como mantenimientos y reparaciones. Esta sustitución permitiría disminuir el uso de cemento Portland, uno de los materiales más costosos, aprovechando recursos disponibles en la región de Tacna sin incurrir en gastos adicionales de transporte o adquisición externa.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del material cementante en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar las propiedades físicas del sedimento proveniente de los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET) mediante ensayos de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), límites de plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), con el propósito de evaluar su aptitud como material cementante suplementario en mezclas de concreto.
- b. Evaluar el comportamiento del concreto fresco y endurecido incorporando adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, mediante ensayos de asentamiento (slump) según ASTM C143, peso unitario (ASTM C138) y

resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado de acuerdo con ASTM C39M, determinando la variación en trabajabilidad y desarrollo resistente.

- c. Analizar la viabilidad económica y técnica del uso de sedimentos de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario, mediante una comparación costos unitarios y el desempeño de la resistencia a la compresión del concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El material cementante influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna - 2025.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. Las propiedades físicas del sedimento extraído de los reservorios, determinadas mediante ensayos de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), presentan características comparables a las requeridas en las normas técnicas de materiales lo que sugiere su potencial de aprovechamiento.
- b. El comportamiento del concreto fresco y endurecido se modifica con las adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, mostrando una reducción progresiva del asentamiento (ASTM C143) y del peso unitario (ASTM C138), así como variaciones en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado (ASTM C39M).
- c. La incorporación del sedimento de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario reduce el costo unitario de las bolsas de cemento en comparación con una mezcla convencional.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1.1. A nivel internacional

En China, Zheng et al. (2025) en la investigación titulada “Valorization of River Sediments in Sustainable Cementitious Gel Materials: A Review of Characteristics, Activation, and Performance”, evaluaron la potencialidad de sedimentos de río como materiales cementantes sostenibles, considerando su caracterización, activación y desempeño mecánico. El estudio fue de tipo experimental y de revisión técnica, incluyendo análisis de propiedades físicas y químicas, así como resultados de resistencia a compresión reportados en investigaciones previas. Los autores destacaron que los sedimentos, tras un adecuado procesamiento y activación, pueden sustituir parcial o totalmente materiales cementantes convencionales, manteniendo niveles adecuados de resistencia y durabilidad. Concluyeron que el uso de sedimentos de río como material cementante alternativo ofrece una vía prometedora para optimizar el desempeño mecánico del concreto, al mismo tiempo que contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la valorización de recursos locales.

En Estados Unidos Beddaa et al. (2023) , en la investigación titulada: “Investigation on Properties of Pervious Concrete Containing Co-Sintering Lightweight Aggregate from Dredged Sediment and Rice Husks”, desarrolló un agregado liviano mediante co-sinterización de sedimento dragado y cascarilla de arroz, e incorporó este agregado en concreto permeable. El estudio fue de tipo experimental y las probetas fueron ensayadas a compresión. Los resultados mostraron que el agregado cerámico alcanzó una resistencia a compresión cercana a 28,02 MPa, demostrando que los sedimentos tratados pueden ser usados eficazmente en mezclas estructurales.

En México, Alonso et al. (2024) En su artículo “Evaluación del potencial de uso de sedimentos de cuerpos de agua interiores en el Centro de México como materiales de construcción y fuente de elementos de tierras raras”, evaluó sedimentos de un reservorio como materia prima para la fabricación de ladrillos. El estudio fue de tipo experimental y se evaluaron propiedades mecánicas, porosidad y absorción. Los resultados mostraron que los ladrillos elaborados con sedimentos alcanzaron valores comparables a los ladrillos tradicionales.

### 2.1.1.2. A nivel nacional

En Junín, Caso .et.al. (2024) , en su tesis titulada “Influencia de la ceniza de ichu en las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad del concreto en estructuras hidráulicas, Huancayo - Junín, 2023”. La investigación consistió en la utilización de la ceniza de ichu para reemplazar una porción del cemento en peso, con el fin de producir un concreto de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . El objetivo primordial fue establecer el grado de impacto de la ceniza de ichu en las propiedades físico-mecánicas y en la durabilidad del concreto aplicable a estructuras hidráulicas. La metodología incluyó un grupo de control y tres grupos experimentales, donde el cemento fue sustituido por la ceniza de ichu en proporciones de 5 %, 10 % y 15 %. Los materiales se obtuvieron de la cantera de Pilcomayo (agregados) y de la localidad de Chalhuan - Huachac - Chupaca (ichu). Este estudio se clasificó como aplicado, con un nivel explicativo y un diseño de investigación cuasi-experimental, debido a que la selección de la muestra se realizó por conveniencia y no fue aleatoria. Para la documentación de las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad del concreto, se emplearon fichas de observación. Para las pruebas en estado endurecido, se fabricaron un total de 60 probetas cilíndricas y 36 vigas prismáticas, las cuales fueron evaluadas a los 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos fueron procesados mediante la prueba de normalidad, permitiendo la posterior realización de las pruebas de hipótesis. Finalmente, se concluyó que la sustitución del cemento con ceniza de ichu en proporciones menores, específicamente al 5%, brindó los resultados más favorables. Este hallazgo fue especialmente relevante en el ensayo de permeabilidad, ya que con esta proporción se alcanzó una permeabilidad media, lo cual concuerda con el enfoque de aplicación en estructuras hidráulicas.

En Trujillo, Cruzado (2021), en su tesis titulada “Influencia del aditivo Sika WT-200P en la resistencia y permeabilidad del concreto para estructuras hidráulicas”, tuvo como objetivo determinar el efecto de un aditivo impermeabilizante en la mejora del concreto estructural. La investigación fue de tipo aplicada y con diseño experimental, utilizando una muestra de 18 probetas cilíndricas de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , divididas en tres grupos: sin aditivo, con 0,5 % y 1 % de aditivo respecto al peso del cemento. Los resultados mostraron que el grupo con 1 % de aditivo aumentó su resistencia a compresión en un 12,7 % respecto al grupo control, además de reducir la absorción capilar. Concluyó que el uso de aditivos hidrofugantes mejora la resistencia y durabilidad del concreto, siendo favorable para estructuras hidráulicas expuestas a humedad constante.

En Trujillo, Acosta et.al. (2022), en su tesis titulada: “Eficiencia de recubrimientos químicos en la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto para estructuras hidráulicas, Trujillo 2022” tuvieron como propósito central de su estudio fue establecer la eficiencia de los recubrimientos químicos en el mejoramiento de la resistencia a la compresión y la reducción de la permeabilidad en concretos destinados a estructuras hidráulicas. La motivación principal para esta investigación radica en que muchas estructuras hidráulicas de concreto sufren una reducción de durabilidad debido a la exposición a diversos agentes dañinos. Esto ocurre porque el concreto es inherentemente propenso a ser altamente permeable si no se aplican medidas preventivas adecuadas durante su diseño y construcción. La penetración de estos agentes puede provocar daños significativos con el tiempo. Por lo tanto, el diseño del concreto base utilizado en este estudio se estableció con una resistencia característica de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Metodológicamente, se empleó un diseño cuasi-experimental con muestreo no probabilístico. Para la obtención de datos se utilizó la técnica de observación, y el análisis estadístico incluyó métodos descriptivos e inferenciales.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1.1. El Gel de Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H)**

Ulm et al. (2007) El gel C-S-H (silicato cálcico hidratado) constituye el principal producto de hidratación del cemento Portland y es el responsable directo de la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto endurecido. Según Ulm & Constantinides este gel no presenta una estructura cristalina definida, sino una microestructura nanogranular compuesta por partículas amorfas que se agrupan generando una matriz densa y cohesionada. La disposición, cantidad y densidad de este gel determinan la capacidad del concreto para resistir cargas de compresión, así como su impermeabilidad y resistencia a agentes externos.

La investigación de Ulm et al.(2007) en el MIT demostró que, al modificar la cantidad o tipo de material cementante (como en el caso del reemplazo parcial del cemento por sedimentos u otros materiales), se altera la cantidad y calidad del gel C-S-H generado durante el proceso de hidratación. Por lo tanto, cualquier adición o reemplazo debe ser evaluado cuidadosamente para determinar si favorece o deteriora la formación de esta fase clave. En resumen, la formación de una red densa y continua del C-S-H es lo que sella la matriz, reduciendo la porosidad interna, lo cual es esencial para el desempeño mecánico y la durabilidad del concreto a largo plazo. El gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) es el producto de hidratación más importante en los

materiales base, mediante el entendimiento de la estructura del gel C-S-H se pueden comprender las propiedades mecánicas del concreto.

#### **2.2.1.2. Definición de los materiales cementantes suplementarios (SCM)**

Pillai et al. (2022) indican que el uso de sedimentos dragados como materiales cementantes suplementarios (SCM, por sus siglas en inglés) representa una alternativa innovadora y sostenible en la industria del concreto. Pillai, Gettu, & Santhanam desarrollaron un estudio en el que evaluaron la viabilidad técnica de utilizar sedimentos tratados como reemplazo parcial del cemento en mezclas de concreto estructural. Los ensayos realizados por los autores mostraron que los concretos con reemplazo de cemento por sedimentos lograron mantener niveles aceptables de resistencia a compresión, particularmente cuando se optimizó la relación agua/material cementante. Este estudio resulta clave para la presente investigación, ya que valida con evidencia científica reciente el uso de sedimentos naturales como componente cementante, especialmente en zonas con disponibilidad local de este recurso, como en el caso de la región Tacna. Asimismo, refuerza el enfoque de sostenibilidad y economía circular al revalorizar un residuo que comúnmente es desechado tras procesos de dragado.

#### **2.2.1.3. Efectos de los SCMs en las Propiedades del Concreto**

Los Materiales Cementantes Suplementarios (SCMs) son definidos como aquellos que aportan a las propiedades generales de una mezcla cementicia. En términos amplios, un material cementante es aquel que puede, por sí mismo o en conjunto con otros componentes, generar productos de hidratación, siendo el más importante el hidrato de silicato de calcio (C-S-H). El término "suplementario" destaca la función complementaria que estos materiales cumplen respecto al cemento principal. Su rol es potenciar las propiedades inherentes del cemento. Los SCMs se clasifican en aquellos que exhiben un comportamiento hidráulico, a los que algunos expertos también llaman autocementantes debido a su acción similar a la del cemento Portland. La composición química usual de estos SCMs se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1***Composición química típica de los SCMs*

Notación	Fórmula química	Nombre común
C	CaO	Óxido de calcio
S	SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silicio (Sílica)
A	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de aluminio (Alumina)
H	H <sub>2</sub> O	Agua
F	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro (Ferrita)
T	TiO <sub>2</sub>	Dióxido de Titanio (Titania)
M	MgO	Óxido de magnesio (periclasa)
K	K <sub>2</sub> O	Óxido de potasio
N	Na <sub>2</sub> O	Óxido de sodio
~S	SO <sub>4</sub>	Sulfato

*Nota.* La siguiente tabla fue extraída de la página 41 del documento alojado en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Colombia. (2021)

#### **2.2.1.4. El Sedimento de reservorio como material cementante suplementario**

Junak et al. (2015) en la investigación titulada “Beneficial Reuse of Reservoir Sediments in Concrete Production”, evaluaron el uso de sedimentos como sustituto parcial de agregados en mezclas de concreto. El estudio fue de tipo experimental, y se elaboraron concretos con diferentes proporciones de reemplazo de agregados por sedimentos, sometiendo las probetas a ensayos de resistencia a compresión. Los resultados mostraron que, con sustituciones adecuadas, los concretos con sedimentos lograron resistencias comparables al concreto convencional, sin comprometer la integridad mecánica de la mezcla. Concluyeron que la valorización de sedimentos de reservorios en la producción de concreto representa una estrategia técnica viable y sostenible, permitiendo reducir el uso de recursos naturales y mejorar la gestión de residuos sedimentarios.

### **2.2.1.5. Características físicas y químicas relevantes del sedimento**

El análisis de las características físicas y químicas del sedimento es fundamental para comprender su comportamiento dentro de un sistema natural, así como su influencia en la calidad ambiental y en los procesos hidrológicos. Estas propiedades permiten evaluar la capacidad del sedimento para transportar contaminantes, su interacción con la columna de agua y su papel en la dinámica geomorfológica. (Que, Yi, Wu , & Li , 2024)

#### a) Granulometría

La granulometría corresponde a la distribución de tamaños de partícula (arena, limo y arcilla). Este parámetro determina la porosidad, permeabilidad y área superficial del sedimento. Las fracciones finas, como el limo y la arcilla, presentan mayor área superficial y, en consecuencia, mayor capacidad de adsorción de metales pesados y compuestos orgánicos. En contraste, las fracciones arenosas presentan menor reactividad y mayor permeabilidad.

#### b) Humedad y Densidad

La humedad del sedimento influye en su cohesión, compactación y peso específico. La densidad aparente y la densidad real permiten caracterizar su comportamiento físico y su estabilidad frente a procesos erosivos. Estas propiedades también inciden en el transporte de partículas y en la dinámica geomorfológica del cuerpo de agua.

#### c) Contenido de Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica constituye un indicador de la actividad biológica y del aporte de materiales vegetales y animales.

#### d) pH

El pH del sedimento condiciona la solubilidad y movilidad de diversos elementos químicos. Valores ácidos favorecen la liberación de metales pesados hacia la columna de agua, mientras que valores neutros o ligeramente alcalinos promueven su inmovilización. Por ello, el pH es un parámetro clave para evaluar la estabilidad química del sedimento.

#### e) Presencia de Metales Pesados

Los sedimentos actúan como sumideros de metales pesados, tales como plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu) y zinc (Zn), acumulando estos elementos provenientes de procesos naturales y actividades antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran la erosión de rocas y minerales, mientras que las fuentes

antropogénicas incluyen descargas industriales, residuos urbanos, agricultura y minería.

## **2.2.2. Marco normativo y técnico aplicable**

### **2.2.2.1. ASTM D2216-19 Métodos de ensayo estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa**

Esta norma establece el procedimiento para la determinación del contenido de humedad mediante el secado de la muestra en horno y el cálculo de la diferencia de masa antes y después del secado. Los resultados obtenidos permiten conocer el porcentaje de agua presente en el material, siendo un dato fundamental para la clasificación de suelos y la interpretación de ensayos geotécnicos posteriores (ASTM International, 2019). La norma D2216-19 aplica al "suelo y roca". Los sedimentos no consolidados (por ejemplo, lodos marinos, sedimentos de río) caen dentro de la categoría de suelo o materiales similares en términos de su estructura (una matriz de partículas y agua).

### **2.2.2.2. ASTM D4318 Métodos de ensayo estándar para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos**

Los límites de Atterberg constituyen parámetros fundamentales para la identificación y clasificación de suelos finos, especialmente aquellos con comportamiento cohesivo. La determinación de estos límites se realiza conforme a la norma ASTM D4318, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

Esta norma establece los métodos de ensayo para la determinación del límite líquido, límite plástico y índice de plasticidad, los cuales permiten evaluar la plasticidad del suelo y su comportamiento frente a variaciones del contenido de agua. Los valores obtenidos son utilizados en los sistemas de clasificación de suelos y en el análisis del comportamiento del material en obras de ingeniería civil.

### **2.2.2.3. ASTM C136 método de ensayo estándar para el análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos**

La granulometría constituye un parámetro físico crucial para la caracterización de los agregados y sedimentos, ya que define la distribución porcentual de los tamaños de las partículas que componen la muestra. La determinación de esta propiedad se lleva a

cabo conforme a la norma ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Esta norma establece el procedimiento para el análisis granulométrico por tamizado, el cual consiste en pasar una muestra representativa y seca de agregado fino o grueso a través de una serie de tamices estandarizados con aberturas progresivamente decrecientes.

#### **2.2.2.4. ASTM C127 densidad y absorción del agregado grueso**

La norma ASTM C127 establece el procedimiento para determinar la densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de mezclas de concreto, ya que influyen en la relación agua/cemento, la proporción de materiales y el comportamiento mecánico de la mezcla.

El método consiste en someter el agregado grueso previamente lavado a un proceso de saturación y secado superficial (SSD), seguido de su pesaje en tres condiciones: masa en estado seco al horno, masa en condición SSD y masa sumergida en agua. Con estos valores se calculan la densidad aparente, la densidad relativa (seca, SSD y aparente) y el porcentaje de absorción.

La densidad relativa del agregado proporciona información sobre la calidad y compacidad del material, mientras que la absorción permite conocer la cantidad de agua que el agregado puede retener en su estructura porosa. Estos valores son esenciales para ajustar la cantidad de agua efectiva en el diseño de la mezcla, garantizando un concreto con trabajabilidad y resistencia adecuadas. El cumplimiento de ASTM C127 asegura resultados comparables y confiables en la caracterización del agregado grueso. (American Society for Testing and Materials, 2024)

#### **2.2.2.5. ASTM C128 densidad y absorción del agregado fino**

La norma ASTM C128 describe el procedimiento para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de mezclas de concreto, ya que permiten estimar adecuadamente la cantidad de agua disponible en la mezcla y ajustar las proporciones de materiales. La aplicación de la norma ASTM C128 garantiza la obtención de datos confiables y reproducibles para la caracterización del agregado fino. (American Society for Testing and Materials, 2025)

#### **2.2.2.6. ACI 211.1 Guía para la dosificación de mezclas de hormigón**

El diseño de la mezcla de concreto (dosificación) se fundamenta en garantizar que el material resultante cumpla con los requisitos estructurales y de durabilidad especificados en el proyecto. La metodología estándar y más ampliamente adoptada para la selección de proporciones es la establecida por el American Concrete Institute (ACI) en su práctica guía ACI 211,1, Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. (American Concrete Institute (ACI), 2022)

La guía ACI 211,1 provee un procedimiento sistemático para la determinación de las cantidades necesarias de cemento, agua, agregados finos (arena), agregados gruesos (grava) y aditivos, a fin de lograr propiedades específicas en el estado fresco y endurecido del concreto. El procedimiento se centra principalmente en el método del volumen absoluto, el cual establece que el volumen total de concreto es igual a la suma de los volúmenes absolutos ocupados por cada componente.

#### **2.2.2.7. ASTM C143 Ensayo de asentamiento del concreto (Slump Test)**

La ASTM C143 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete es la norma internacional que establece el procedimiento para determinar el asentamiento del concreto fresco, ensayo conocido comúnmente como slump test. Este método permite evaluar la consistencia y la trabajabilidad del concreto inmediatamente después de su mezclado, parámetros esenciales para asegurar una adecuada colocación, compactación y acabado durante el proceso constructivo. Debido a su rapidez, simplicidad y confiabilidad, el ensayo de asentamiento es uno de los controles de calidad más utilizados en obra y planta. (American Society for Testing and Materials, 2020)

La ASTM C143 describe el uso del conocido cono de Abrams, un molde metálico troncocónico de 300 mm de altura, con un diámetro inferior de 200 mm y un diámetro superior de 100 mm. El procedimiento consiste en llenar el molde en tres capas de igual volumen, compactando cada una mediante 25 golpes con una varilla metálica estandarizada. Una vez lleno y nivelado, el cono se retira de manera vertical y uniforme en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos. El asentamiento se determina midiendo la diferencia entre la altura original del molde y la altura final del espécimen después del descenso producido por su propio peso. El valor obtenido del ensayo permite identificar si el concreto presenta la consistencia adecuada para el tipo de elemento estructural o procedimiento constructivo. Asentamientos excesivamente altos pueden indicar una relación agua/cemento elevado o la presencia de aditivos superplastificantes, lo que

podría afectar la resistencia y durabilidad; mientras que asentamientos muy bajos pueden dificultar la colocación y favorecer la aparición de vacíos o nidos de abeja. Por ello, la interpretación del slump debe realizarse considerando el diseño de mezcla, las condiciones ambientales y las necesidades específicas de la obra. La ASTM C143 es una herramienta fundamental en el control de calidad del concreto fresco, ya que permite verificar de manera inmediata la uniformidad entre diferentes cargas de concreto, detectar variaciones en el contenido de agua o en la dosificación, y asegurar que la mezcla cumple con los requisitos de trabajabilidad establecidos en el diseño. Su aplicación rigurosa contribuye a garantizar la correcta ejecución de los elementos estructurales y el desempeño esperado del concreto en servicio.

#### **2.2.2.8. ASTM C138 Método de ensayo estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto**

El ensayo ASTM C138 Standard Test Method for Density (Unit Weight) of Concrete, se utilizó para determinar el peso unitario del concreto fresco, constituyendo un método clave de control de calidad para asegurar la uniformidad de las mezclas y la correcta proporción de los materiales. Para la ejecución del ensayo, se empleó un molde metálico de volumen previamente limpio y seco. El concreto fresco se vertió en el molde en tres capas de igual espesor, compactando cada capa con 25 golpes uniformemente distribuidos en patrón de espiral, utilizando una varilla metálica. Tras compactar la última capa, se enrasó la superficie para eliminar excedentes y se pesó el conjunto (molde más concreto), registrando los datos necesarios para calcular el peso unitario del concreto.

#### **2.2.2.9. ASTM C39M Ensayo de compresión del concreto**

La ASTM C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens es la norma internacional que establece el procedimiento estándar para determinar la resistencia a la compresión del concreto utilizando probetas cilíndricas. Este ensayo constituye uno de los métodos más importantes en el control de calidad del concreto, dado que la resistencia a compresión es el parámetro mecánico más representativo del desempeño estructural del material. La norma define de manera detallada los requisitos para la preparación, curado, manipulación y ensayo de las probetas con el fin de obtener resultados confiables y reproducibles.

La ASTM C39M señala que las probetas utilizadas deben ser cilíndricas, comúnmente de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura o 100 mm x 200 mm. Antes del ensayo, las probetas deben ser inspeccionadas para asegurar que no presenten defectos que afecten la medición, y deben ser alineadas correctamente en la máquina de compresión para garantizar que la carga se aplique de manera uniforme y axial. La máquina utilizada debe cumplir con requisitos específicos de rigidez, capacidad y precisión, y debe estar calibrada de acuerdo con las normas vigentes. El procedimiento de ensayo consiste en aplicar una carga continua y uniforme a una velocidad controlada, definida por la norma, hasta que la probeta falle. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima registrada entre el área de la sección transversal de la probeta. Además, la norma describe los modos de falla típicos, que permiten evaluar si el ensayo fue ejecutado correctamente o si existieron errores como mala alineación, superficies irregulares o fallas por compactación deficiente del concreto. (American Society for Testing and Materials, 2023).

#### **2.2.2.10. ACI 201.2R Guía para la durabilidad del concreto**

La ACI 201,2R Guide to Durable Concrete es un documento técnico del American Concrete Institute que establece los principios fundamentales para garantizar la durabilidad del concreto en distintas condiciones de exposición. La guía define la durabilidad como la capacidad del concreto para resistir, durante su vida útil, los efectos de agentes físicos, químicos y ambientales, manteniendo sus propiedades mecánicas, su integridad estructural y su funcionalidad. (American Concrete Institute (ACI) , 2001) La ACI 201,2R sostiene que la durabilidad no depende exclusivamente de alcanzar elevados valores de resistencia a la compresión, sino de lograr una microestructura densa y de baja permeabilidad, la cual limita el ingreso de agua, oxígeno, iones cloruro, dióxido de carbono y otras sustancias agresivas que pueden originar procesos de deterioro.

La ACI 201,2R establece que la durabilidad del concreto debe ser considerada desde la etapa de diseño hasta la ejecución y el mantenimiento de la estructura. Sus recomendaciones incluyen la selección adecuada de los materiales, el control estricto de la relación agua/cemento, la incorporación de adiciones minerales, el aseguramiento del curado apropiado y la previsión de recubrimientos suficientes para el refuerzo, según las condiciones ambientales específicas. La guía concluye que la durabilidad es un requisito esencial para garantizar el desempeño a largo plazo de las estructuras de

concreto, y que un enfoque integral en el diseño y en la construcción es imprescindible para minimizar el riesgo de deterioro prematuro.

#### **2.2.2.11. ACI 350-06 Requisitos del código para estructuras de concreto para ingeniería ambiental**

La norma ACI 350-06 es el código de referencia internacional para el diseño y construcción de estructuras de concreto sujetas a la contención de líquidos (como tanques, reservorios, depósitos de agua y componentes de plantas de tratamiento de aguas residuales). El ACI 350-06 se distingue del código general ACI 318-25 (el código de construcción para concreto estructural estándar) porque su enfoque principal no es solo la resistencia estructural, sino también la estanqueidad (impermeabilidad) y la durabilidad a largo plazo del concreto en contacto con fluidos. La norma busca minimizar el agrietamiento del concreto para prevenir fugas del líquido contenido o la infiltración de aguas externas. Las estructuras que contienen líquidos, a menudo sometidas a la acción de químicos, ciclos de humedecimiento/secado, y congelamiento/deshielo, requieren materiales y detalles de diseño que resistan la degradación ambiental. (American Concrete Institute, 2006)

#### **2.2.2.12. ACI 318-25 Requisitos del código de construcción para concreto estructural**

El ACI 318-25 Building Code Requirements for Structural Concrete es el código de construcción más importante y ampliamente adoptado a nivel internacional para el diseño y construcción de estructuras de concreto. Publicado y actualizado periódicamente por el American Concrete Institute (ACI), este código establece los requisitos mínimos obligatorios que deben cumplirse para garantizar la seguridad, el desempeño en servicio y la durabilidad de los elementos de concreto estructural. El ACI 318 rige el diseño de componentes estructurales de concreto (reforzado, presforzado y simple) para diversas aplicaciones, incluyendo edificios, puentes, muros de contención y cimentaciones. Su filosofía de diseño se basa en el Diseño por Resistencia Última (Strength Design), complementado por verificaciones de Condiciones de Servicio.

El requisito de resistencia mínima de 17 MPa se encuentra en el ACI 318-25, artículo 19,2,1,1, que establece un valor mínimo equivalente de 2500 psi (17,2 MPa). Los requisitos para ensayos con probetas cilíndricas, edades de ensayo y aceptación

del concreto corresponden a los artículos 26,12,3 y 19,2. Asimismo, las disposiciones para concreto liviano y ensayos por compresión diametral se encuentran en el artículo 19,2,4 del ACI 318-25. (2025 )

**Tabla 2**  
*Límites del  $f'_c$*

<b>Aplicación</b>	<b><math>f'_c</math> mínimo, psi</b>
General	2500
Cimentaciones para estructuras asignadas a SDC A, B o C	2500
Cimentaciones para uso y ocupación residencial y de servicios públicos con construcción de muros de carga de madera de hasta dos pisos, asignadas a SDC D, E o F	2500
Cimentaciones para estructuras asignadas a SDC D, E o F distintas del uso residencial y de servicios públicos con construcción de muros de carga de madera de hasta dos pisos	3000
Marcos especiales de momento	3000
Muros estructurales especiales con refuerzo de grado 60 u 80	5000
Muros estructurales especiales con refuerzo de grado 100	5000
Pilotes prefabricados no pretensados hincados	4000
Pilotes perforados	4500
Pilotes prefabricados pretensados hincados	5000

*Nota. Tabla y contenido traducidos de la página 394 del documento ACI 318-25: Building Code Requirements for Structural Concrete, disponible en el repositorio digital consultado.*

### **2.3. Definición de términos**

#### **2.3.1.1. Cemento Pórtland**

El cemento se constituye como un material conformado por diferentes componentes que, al entrar en contacto con una determinada cantidad de agua, consigue generar una pasta que puede endurecerse, tanto en condiciones de curado en agua como al aire (Giraldo, 2016). Su empleo común se establece en combinación con materiales pétreos como los áridos, para dar origen a morteros y concreto; de igual forma, logra fraguar ya sea en el ambiente o estando inmerso en agua. (Sanjuán Barbudo & Chinchón Yepes, 2014)

### **2.3.1.2. Agregados**

Los agregados son todos aquellos elementos, ya sean de procedencia artificial o natural, que, al mezclarse con agua, cemento y en ciertas situaciones particulares y especiales con aditivos, dan lugar a una roca artificial conocida como concreto. Dado que representan el componente de mayor volumen dentro del concreto, su selección debe ser meticulosa y deben estar constituidos por partículas que sean limpias y resistentes, además de poseer una adecuada adherencia con la pasta de cemento. (Cemento Yura)

### **2.3.1.3. Propiedades del Concreto en estado fresco**

#### **2.3.1.4. Temperatura**

La temperatura resulta crucial en el concreto, cuyos valores ideales generalmente oscilan entre  $20^{\circ}\text{C} + 4^{\circ}\text{C}$ , sin embargo, no siempre es posible alcanzar dicha temperatura. Cuando la temperatura ambiental es menor a  $5^{\circ}\text{C}$  o excede los  $25^{\circ}\text{C}$  se consideran temperaturas extremas. Por ello, en tales situaciones excepcionales, se requiere de un extremo cuidado en la selección de los materiales y en la preparación de la mezcla. (Huaricancha Cristobal & Ramirez Medrano, 2018)

#### **2.3.1.5. Asentamiento**

El asentamiento constituye un procedimiento que se ejecuta de modo empírico. La medición que se extrae de este ensayo muestra la caída del material en relación con la altura del cono de Abrams (Cementos Alión, 2022).

#### **2.3.1.6. Rendimiento volumétrico**

El rendimiento facilita saber cuál es el volumen de concreto que se logra obtener en la práctica al ejecutar una mezcla. (Cementos Alión, 2022)

#### **2.3.1.7. Resistencia a la compresión**

Esta es una de las características primordiales del concreto, definida como la habilidad que posee este material para soportar una carga impuesta sobre un área específica. Este valor habitualmente se expresa en unidades de  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ,  $\text{Mpa}$  y en  $\text{psi}$ . Los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión se utilizan

principalmente para asegurar que la mezcla de concreto suministrada satisfaga los requisitos de la resistencia característica especificada ( $f'c$ ) para una estructura determinada. para la estructura en cuestión. Se le considera la propiedad más crucial del concreto endurecido y se emplea habitualmente para validar o descartar la calidad de la propiedad misma. (Osorio)

#### **2.3.1.8. Permeabilidad**

La permeabilidad en el concreto hace referencia a la magnitud de migración de agua u otras sustancias líquidas a través de los poros del material durante un tiempo determinado. El resultado de esta permeabilidad depende de varios factores, tales como: la estructura de la porosidad en la pasta de cemento, el proceso de hidratación o la relación con el calor liberado o calor de hidratación y la evaporación del agua de la mezcla, la temperatura del concreto, y la formación de cavidades y fisuras causadas por la contracción plástica en el concreto mientras se endurece. (Vélez, 2010)

#### **2.3.1.9. Sedimentos**

Se define como el material sólido, inorgánico u orgánico, que ha sido depositado por agentes naturales (agua, viento, gravedad) y que se acumula en el fondo de cuerpos de agua, cauces o reservorios (Southard, 2006).

#### **2.3.1.10. Estructuras hidráulicas**

Las estructuras hidráulicas constituyen las obras de ingeniería imprescindibles para poder aprovechar los recursos hídricos y simultáneamente controlar la acción destructiva que estos ejercen. En la mayoría de las situaciones, operan en combinación con equipos y elementos mecánicos. Estas se construyen para el beneficio del hombre y el progreso de la humanidad. (Guevara, 2004). Son un tipo de construcciones en el ámbito de la ingeniería que se pueden diseñar tanto para retener agua como para evitar su ingreso. Su objetivo es el control de dicho elemento, sin importar su origen, ya sea con fines de aprovechamiento (como el suministro de agua potable) o de defensa (como el tratamiento de aguas residuales) (Guevara, 2004).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de investigación

El estudio tiene un diseño experimental de tipo aplicado, porque busca comprobar cómo influye el sedimento extraído de los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET) en la resistencia a la compresión del concreto empleado en estructuras hidráulicas. Se siguió un enfoque cuantitativo, ya que los resultados se midieron mediante ensayos normalizados, lo que permitió analizar las variaciones generadas por el uso del sedimento, se manipuló la variable independiente para observar su efecto en la variable dependiente.

Se elaboraron cuatro tipos de concreto: una mezcla patrón sin sedimento y tres mezclas con reemplazos del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado.

Este procedimiento permitió comparar los resultados y determinar el porcentaje que conserva mejor la capacidad estructural exigida en obras hidráulicas, además de proponer una alternativa sostenible para el aprovechamiento de los sedimentos acumulados en los reservorios del PET.

### 3.2. Acciones y actividades

La Figura 1 presenta el flujograma metodológico seguido para evaluar el comportamiento del concreto con reemplazo parcial del cemento por sedimentos provenientes de los reservorios. Se estructuró en seis fases claramente definidas, basadas en el flujograma presentado en la Figura 1. Cada fase integra los procedimientos y normas técnicas correspondientes para el estudio del concreto con reemplazo parcial de cemento por sedimentos de reservorio.

Fase 1: Selección y caracterización de materiales: En esta etapa se recopilaron y prepararon los materiales empleados en la investigación: sedimentos del reservorio, cemento Portland, agregados y aditivos. Para caracterizar el sedimento y los agregados se realizaron ensayos orientados a determinar sus propiedades físicas y químicas relevantes para el diseño de la mezcla. Las evaluaciones incluyeron granulometría, humedad, límites de Atterberg, peso específico, densidad y absorción, siguiendo los lineamientos de las normas ASTM C127 y ASTM C128 para agregados gruesos y finos, respectivamente. Adicionalmente, la caracterización de los materiales se alineó con los

criterios de calidad establecidos en el ACI 211,1, referente para la selección de proporciones en mezclas de concreto, y con las recomendaciones del ACI 201,2R, que orienta la adecuada selección de materiales y su influencia en la durabilidad del concreto. Estos lineamientos permitieron asegurar que los materiales cumplan con los requisitos necesarios para su incorporación en el diseño de mezcla y en el desempeño esperado del concreto.

Fase 2: Diseño de mezclas experimentales: Se formularon mezclas de concreto con reemplazos del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento respecto al peso del cemento. En esta fase se fijaron las proporciones de agregados, agua, aditivo y cemento con sedimento, garantizando condiciones homogéneas para fines comparativos.

Fase 3: Elaboración de probetas de concreto: Las mezclas se prepararon y se moldearon probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm para moldeo y curado de especímenes en condiciones controladas de laboratorio. Se establecieron tres tiempos de curado: 7, 14 y 28 días, a fin de evaluar la evolución de la resistencia mecánica.

Fase 4: Ensayos de resistencia a la compresión: Una vez cumplidos los tiempos de curado establecidos, las probetas fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión según el procedimiento de ASTM C39M. Estos ensayos permitieron determinar la resistencia a la compresión del concreto con adición de material sedimento respecto al concreto convencional.

Fase 5: Se realizó un análisis comparativo del desempeño de las mezclas evaluadas. Se contrastaron los resultados de resistencia a la compresión de cada porcentaje de reemplazo frente a la mezcla patrón sin sedimentos.

Fase 6: Evaluación de viabilidad técnica y estructural: Finalmente, se evaluó la viabilidad técnica de utilizar sedimentos como sustituto parcial del cemento, contrastando los resultados obtenidos.

**Figura 1**

*Flujograma del procedimiento metodológico para evaluar el uso de sedimentos*



### **3.2.1.1. Selección y caracterización de materiales**

En esta etapa se procedió al diseño de las mezclas de concreto experimental, en las cuales se sustituyó parcialmente el cemento Portland por sedimentos fluviales en proporciones controladas del 10 %, 20 % y 30 %. El diseño de las mezclas se realizó por volumen, siguiendo las directrices de la norma ACI 211,1 para mezclas convencionales. Se determinaron las cantidades de cada componente (cemento, agua,

agregados, aditivos y sedimentos) de manera que las mezclas cumplieran con los objetivos de trabajabilidad y desempeño técnico. La trabajabilidad de cada mezcla fue verificada mediante el ensayo de asentamiento (slump) con cono estándar, asegurando que las proporciones seleccionadas permitieran una correcta colocación y cohesión del concreto. Los resultados obtenidos en esta fase permitieron ajustar las proporciones de los componentes y validar la viabilidad de las mezclas antes de la preparación de los especímenes para los ensayos de resistencia a compresión.

### **3.2.1.2. Diseño de mezclas experimentales**

En esta fase se procedió al diseño de mezclas de concreto experimental, en las cuales se sustituyó parcialmente el cemento Portland por sedimentos fluviales en proporciones controladas del 10 %, 20 % y 30 %. El diseño de la mezcla se realizó por volumen, siguiendo las directrices de la norma ACI 211,1 para mezclas convencionales. Se calcularon las cantidades de cada componente (cemento, agua, agregados, aditivos y sedimentos) de manera que las mezclas cumplieran con los objetivos de trabajabilidad y desempeño técnico. La relación agua/cemento se definió posteriormente en función de los resultados preliminares de trabajabilidad y de las características físicas de los sedimentos fluviales. La trabajabilidad de cada mezcla fue verificada mediante el ensayo de asentamiento (slump) con cono estándar conforme a ASTM C143, asegurando que las proporciones seleccionadas permitieran una correcta colocación y cohesión del concreto. Los resultados de estas pruebas permitieron ajustar las proporciones de los componentes y validar la viabilidad de las mezclas antes de preparar los especímenes para los ensayos de resistencia a compresión. La relación agua cemento utilizada en la presente tesis es de 0,55, el tipo de diseño de mezcla utilizado es volumétrico.

### **3.2.1.3. Análisis comparativo de resultados**

Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos entre el concreto convencional y el concreto elaborado con reemplazo parcial de cemento por sedimentos fluviales. Este análisis permitió identificar las diferencias en la resistencia a compresión a distintas edades de curado (7, 14 y 28 días). Para la organización, procesamiento y visualización de los datos, se empleó Microsoft Excel.

### **3.3. Materiales e instrumentos**

Para el desarrollo experimental de esta investigación se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos, necesarios para la elaboración, curado y evaluación del concreto modificado:

#### **3.3.1. Materiales**

En el desarrollo de la presente investigación, se emplearán los siguientes materiales que permitirán obtener información representativa:

- Cemento Portland tipo I: usado como material cementante base
- Sedimentos naturales: recolectados localmente y preparados mediante secado, molienda y tamizado, utilizados como reemplazo parcial del cemento en proporciones de 10 %, 20 % y 30 %.
- Agregado fino (arena)
- Agregado grueso (grava)
- Agua potable: libre de impurezas
- Aditivo químico (si se emplea): opcional, dependiendo de la trabajabilidad deseada.
- Moldes para probetas.
- Tamices.
- Horno de secado.
- Software y herramientas para el análisis de costos de producción. (Microsoft Excel)
- Pozo de curado: con temperatura controlada para mantener los especímenes sumergidos.
- Mezcladora de concreto tipo trompo: para garantizar una mezcla homogénea.

#### **3.3.2. Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizarán para la recolección de datos, análisis y verificación:

- Balanza electrónica digital: para el pesado preciso de los materiales.
- Aparato de Casagrande
- Prensa hidráulica: para el ensayo de resistencia a compresión, conforme a ASTM C39M

### **3.4. Población y muestra de estudio**

#### **3.4.1.1. Población**

La población del estudio estuvo constituida por todas las probetas cilíndricas de concreto producidas en el laboratorio, correspondientes a las mezclas diseñadas con reemplazo parcial de cemento por sedimentos del Proyecto Especial Tacna (PET). Esto incluyó todos los especímenes preparados para evaluar la resistencia a compresión a diferentes edades de curado.

#### **3.4.1.2. Muestra**

La muestra se conformó por 36 probetas cilíndricas, seleccionadas de manera intencional considerando los porcentajes de reemplazo del cemento por sedimento y las edades de curado. Cada mezcla fue elaborada bajo las mismas condiciones de laboratorio y evaluada a 7, 14 y 28 días de curado, con tres repeticiones por edad.

Las mezclas que conformaron la muestra fueron las siguientes:

- $M_0$  (mezcla patrón): Concreto sin adición de sedimento.
- $M_1$ : Concreto con reemplazo del 10 % de sedimento del PET.
- $M_2$ : Concreto con reemplazo del 20 % de sedimento del PET.
- $M_3$ : Concreto con reemplazo del 30 % de sedimento del PET.

Cada una de estas mezclas fue ensayada en probetas cilíndricas estándar (150 mm x 300 mm), elaboradas en laboratorio y curadas por períodos de 7, 14 y 28 días. De esta manera, el tamaño de la muestra se calculó como: 4 mezclas x 3 edades x 3 repeticiones = 36 probetas.

### **3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El estudio se desarrolló bajo un diseño experimental, ya que se evaluó el comportamiento de mezclas de concreto elaboradas con reemplazo parcial de cemento por sedimentos del Proyecto Especial Tacna (PET) a diferentes edades de curado (7, 14 y 28 días). Los resultados se obtuvieron directamente de los especímenes preparados en laboratorio. Para el procesamiento de los datos, se empleó Microsoft Excel, organizando los resultados en tablas y gráficos para facilitar su interpretación. Se realizó un análisis comparativo entre las mezclas, con el objetivo de identificar diferencias en resistencia a compresión asociadas al porcentaje de reemplazo de

cemento por sedimentos. Este enfoque permitió comparar sistemáticamente el desempeño de cada mezcla, evaluar tendencias en función de la edad de curado y determinar posibles ventajas del uso de sedimentos como material cementante alternativo.

### 3.6. Operacionalización de variables

El estudio evaluó el efecto del porcentaje de reemplazo de cemento por sedimento sobre la resistencia a compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna. La variable independiente se definió como el porcentaje de cemento Portland sustituido por sedimentos fluviales del Proyecto Especial Tacna (PET), manipulada en niveles del 10 %, 20 % y 30 %.

En la tabla 3 se presenta la operacionalización de la variable independiente

**Tabla 3**

*Operacionalización de la variable independiente*

Tipo de variable	Denominación de la variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Variable independiente	Porcentaje de reemplazo de cemento por sedimento	Corresponde al conjunto de actividades realizadas para evaluar el potencial de reutilización del sedimento con el fin de determinar su idoneidad para su uso en estructuras hidráulicas.	Reutilización del sedimento	Porcentaje de sustitución del cemento por sedimento (10 %, 20 %, 30 %).
			Caracterización del material sedimentario	Granulometría
				Contenido de Humedad
				Peso Unitario
Absorción				
				Limite Líquido / Limite Plástico

En la tabla 4 se presenta la operacionalización de la variable dependiente, así mismo la matriz de constancia se presenta en el anexo 1.

**Tabla 4***Operacionalización de la variable dependiente*

<b>Tipo de variable</b>	<b>Denominación de la variable</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
Variable dependiente	Resistencia a compresión del concreto	Propiedad mecánica del concreto evaluada mediante ensayos normalizados a compresión axial en probetas curadas. Asimismo, se evalúa la aplicabilidad del concreto resultante en su uso en estructuras hidráulicas.	Edad del concreto	Días de curado del espécimen (7, 14, 28)
			Valor de resistencia	Fuerza máxima alcanzada (kg/cm <sup>2</sup> )
			Cumplimiento normativo	f'c obtenida
			Análisis de costos	Variación de Costos

El procesamiento y análisis de datos representó una etapa fundamental en el desarrollo de la presente investigación, ya que permitió interpretar los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados sobre probetas de concreto elaboradas con diferentes proporciones de material cementante. Este proceso comprendió desde la elaboración y curado de las probetas cilíndricas a los 7, 14 y 28 días, hasta la ejecución de ensayos normalizados de compresión axial. Para la elaboración del procesamiento se realizaron los siguientes ensayos:

### **3.6.1.1. Ensayo de granulometría**

Se seleccionó tamices para cada tipo de agregado colocándolos de manera descendente (Figura 2). Se procedió a agitar las muestras durante 15 minutos y al finalizar se registró el peso del material retenido en cada tamiz con el fin de efectuar los cálculos correspondientes al ensayo.

**Figura 2**

*Agitado del juego de tamices*



*Nota.* Proceso de agitado de los tamices.

**3.6.1.2. Ensayo de contenido de humedad**

Se tomaron las muestras registrándose los pesos de las taras, así como los pesos de las taras con el material. Posteriormente las muestras fueron puestas en el horno durante 24 horas. Transcurridas dichas horas, se retiraron las muestras, se dejaron enfriar y finalmente se pesaron para registrar los datos obtenidos.

**Figura 3**

*Muestras en el horno*



*Nota.* Proceso de colocación de muestras al horno.

### 3.6.1.3. Ensayos de límites de Atterberg: límite líquido y límite plástico

Los Límites de Atterberg son un conjunto de ensayos para definir las fronteras de transición entre los diferentes estados de consistencia (líquido, plástico y semisólido) de los suelos finos (limos y arcillas) en función de su contenido de humedad. El Límite Líquido (LL) se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semilíquido o viscoso. La diferencia entre ambos límites define el Índice de Plasticidad.

**Figura 4**  
*Aparato de Casagrande*



### 3.6.1.4. Ensayo de peso unitario

Se realizó el cuarteo de los agregados y se seleccionó una muestra representativa. Para el peso unitario suelto, el material se vertió en el recipiente utilizando un cucharón y se enrasó con una varilla para evitar excedentes. Luego, se procedió a pesar el contenido en la balanza y se registraron los datos obtenidos. Para el peso unitario compactado el material se colocó en el recipiente en tres capas de igual espesor; cada capa fue compactada con 25 golpes uniformemente distribuidos mediante una varilla

metálica, siguiendo un patrón en espiral. Finalmente, se enrasó con la misma varilla para eliminar excedentes (Figura 4), se pesó el recipiente y se anotaron los resultados correspondientes.

### 3.6.1.5. Elaboración de probetas de concreto

La elaboración de las probetas de concreto se llevó a cabo siguiendo los diseños de mezcla establecidos con anterioridad. Una vez que se pesaron los materiales correspondientes a cada diseño, se comprobó que la mezcladora mecánica estuviera limpia. Se incorporó una fracción pequeña de agua, seguida por los agregados, el cemento y el agua restante. La mezcla se mantuvo en agitación hasta que se logró una apariencia uniforme, y posteriormente se vació en una carretilla limpia. En la primera capa, el concreto se vertió hasta un tercio de la altura del molde y se compactó aplicando 25 golpes distribuidos de forma uniforme en patrón de espiral, empleando una varilla metálica. Después de la compactación de cada capa, las paredes del molde fueron golpeadas suavemente con un martillo de goma para erradicar cualquier posible vacío. Para concluir, se niveló la superficie superior del molde. Las probetas fueron guardadas a temperatura ambiente durante las primeras 24 horas. Cumplido este lapso, se procedió a desmoldarlas y se ubicaron en el pozo de curado, asegurando que estuvieran completamente sumergidas en agua, con el fin de iniciar el proceso de fraguado. Vease figura 5 al 8.

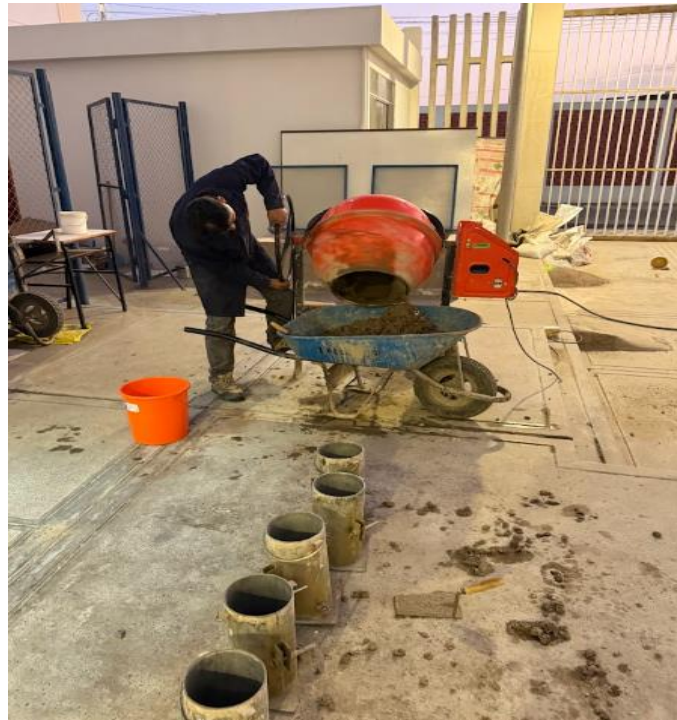
**Figura 5**

*Elaboración de mezcla de concreto*



**Figura 6**

*Elaboración de probetas de concreto*

**Figura 7**

*Probeta elaboradas*



**Figura 8**

*Probetas desmoldadas y colocadas en el pozo*



#### **3.6.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión**

Para los ensayos de rotura a los 7, 14 y 28 días, se retiraron las probetas correspondientes y se limpiaron las partículas de agua con una franela. Posteriormente, se midió la altura media de cada espécimen, como se observa en la Figura 11, y se colocaron en la máquina compresora (Figura 12) para registrar la fuerza aplicada en el momento de la falla, tal como se aprecia en las Figuras 13 y 14. Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron conforme a la norma ASTM C39M. Las probetas previamente curadas fueron colocadas en una máquina universal de ensayo. Se registró el esfuerzo máximo soportado por cada probeta, y cuando fue necesario se aplicó la corrección por relación área/diámetro para asegurar la validez de los resultados. La

resistencia a compresión de cada mezcla se reportó en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Estos resultados permitieron determinar el comportamiento mecánico del concreto convencional y del concreto con reemplazo parcial de cemento por sedimentos, considerando su edad de curado a 7, 14 y 28 días.

**Figura 9**

*Mediciones a la altura media del espécimen*

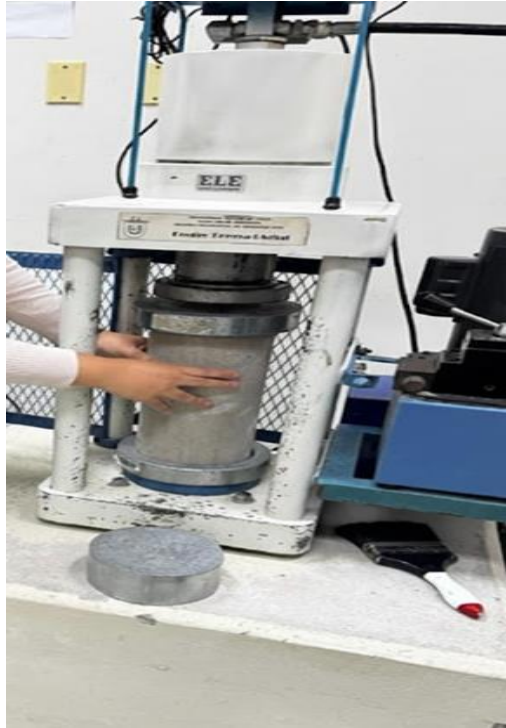


**Figura 10**

*Ingreso de probeta para ensayo de compresión*



**Figura 11**  
*Colocación de probeta*



**Figura 12**  
*Ensayo de compresión*



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Granulometría del agregado fino

Para la determinación de la granulometría del agregado fino se empleó material procedente de la Cantera Arunta, con el objetivo de verificar su cumplimiento con los límites establecido por la norma, realizando el tamizado hasta la malla N°200 (tabla 5).

**Tabla 5**

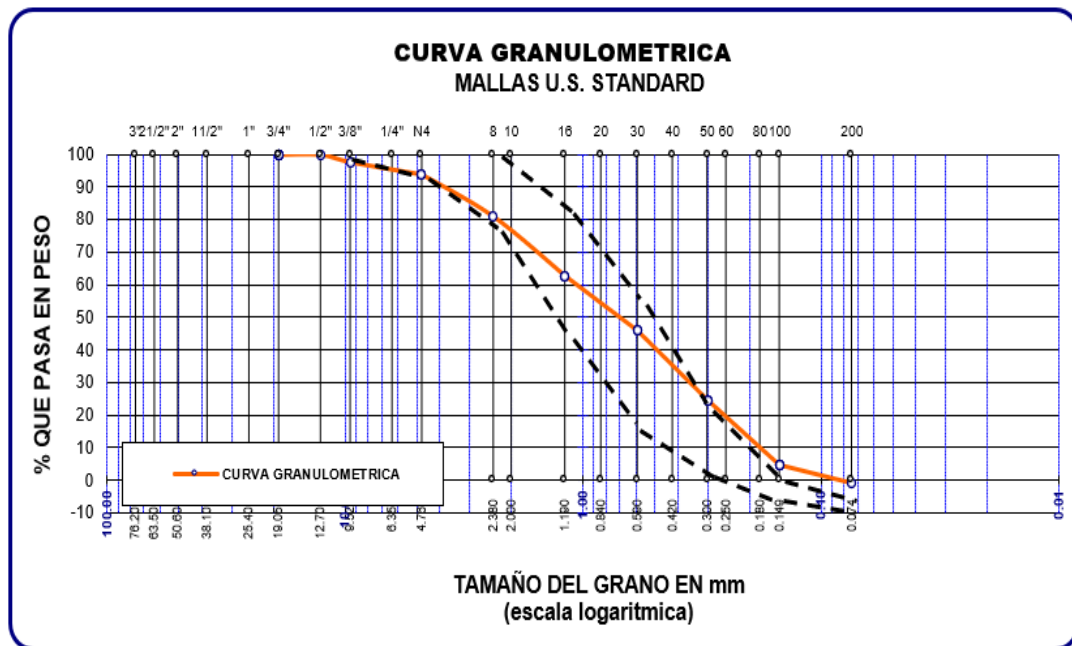
*Granulometría de Agregado Fino*

Tamices astm	Abertura mm	Peso retenido	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% Que pasa	Específica.		Descripción de la muestra
3"	76,200							
2 1/2"	63,500							<b>Muestra: Agregado Fino</b>
2"	50,600							
1 1/2"	38,100							
1"	25,400							
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>			
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>			
3/8"	9,525	12,80	2,29	2,29	<b>97,71</b>	<b>100</b>		
1/4"	6,350							
No4	4,760	21,40	3,82	6,11	<b>93,89</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	
No8	2,380	72,30	12,92	19,03	<b>80,97</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	
No10	2,000							
No16	1,190	102,00	18,23	37,26	<b>62,74</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	
No20	0,840							<b>Peso de la Muestra</b> 559,60 g
No30	0,590	94,20	16,83	54,09	<b>45,91</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>Módulo de Fineza:</b> 2,9
No40	0,420							
No 50	0,300	119,00	21,27	75,36	<b>24,64</b>	<b>10</b>	<b>30</b>	<b>Observaciones:</b> La muestra consiste de arena sarandeada de perfil sub angular y sub redondeado
No60	0,250							
No80	0,180							
No100	0,149	112,50	20,10	95,46	<b>4,54</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	
No200	0,074	31,20	5,58	101,04	<b>-1,04</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	
<b>Total</b>		17,50 559,60	3,13	104,16				

Se obtuvo un módulo de fineza de 2,9, lo cual es accesible para lo que son los límites que oscilan entre 2,3 y 2,1 en la norma NTP 400,037. Además, el porcentaje del tamiz es de 21,27 % y se da en el tamiz N°50 siendo menor al máximo señalado por la norma que es 45 %.

Figura 13

Limite Granulométrico



#### 4.2. Contenido de humedad del agregado fino

En la tabla 6 se muestra el contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 6

Contenido de humedad del agregado fino

Muestra nº	Agregado fino (arunta)	
Recipiente Nº	1	2
Peso del recipiente	g 0,0	0,0
Peso del recipiente + la muestra húmeda	g 597,6	490,5
Peso del recipiente + la muestra seca	g 588,2	482,4
Peso del Agua	g 9,4	8,1
Peso de la muestra seca neta	g 588,2	482,4
Porcentaje de humedad	% 1,60	1,68
Promedio	% 1,64	

Se obtuvo un contenido de humedad promedio de 1,64 %.

#### 4.3. Peso específico y absorción del agregado fino

En la tabla 7, se presentan los datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado fino.

**Tabla 7**

*Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado fino*

Características	Gravedad específica		
	GE-1	GE-2	GE-3
Masa del contenedor (g)	103,70	133,23	96,68
Masa del contenedor + Masa de la Muestra SSS (g)	602,50	637,20	599,70
Masa de la Muestra SSS + Masa de Fiola + Masa del Agua (g)	961,00	963,80	963,00
Masa de la Fiola + Masa del Agua (g)	657,66	657,85	655,96
Masa de Recipiente + Masa de la Muestra seca (g)	595,18	630,72	593,25
Masa de la Muestra SSS (g)	498,80	503,97	503,02
Masa de la Muestra Seca (g)	491,48	497,49	496,57
Absorción (%)	1,5	1,3	1,3
Gravedad específica (g/cc)	2,51	2,51	2,53
Gravedad específica SSS (g/cc)	2,55	2,55	2,57
Gravedad específica aparente (g/cc)	2,61	2,60	2,62
Absorción (Prom.) (%)		1,4	
Gravedad específica (g/cc)		2,52	
Gravedad específica SSS (g/cc)		2,55	
Gravedad específica aparente (g/cc)		2,610	

Se hizo un total de 3 muestras en las cuales se tuvo un promedio de 2,61 en lo que es la gravedad específica aparente y una absorción de 1,4 %.

#### 4.4. Agregado grueso utilizado

El agregado grueso utilizado para el diseño de mezcla es proveniente de la cantera Arunta ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa en el Departamento de Tacna. Una vez se escogieron los materiales, se hicieron su respectivo análisis granulométrico (tabla 8):

Tabla 8

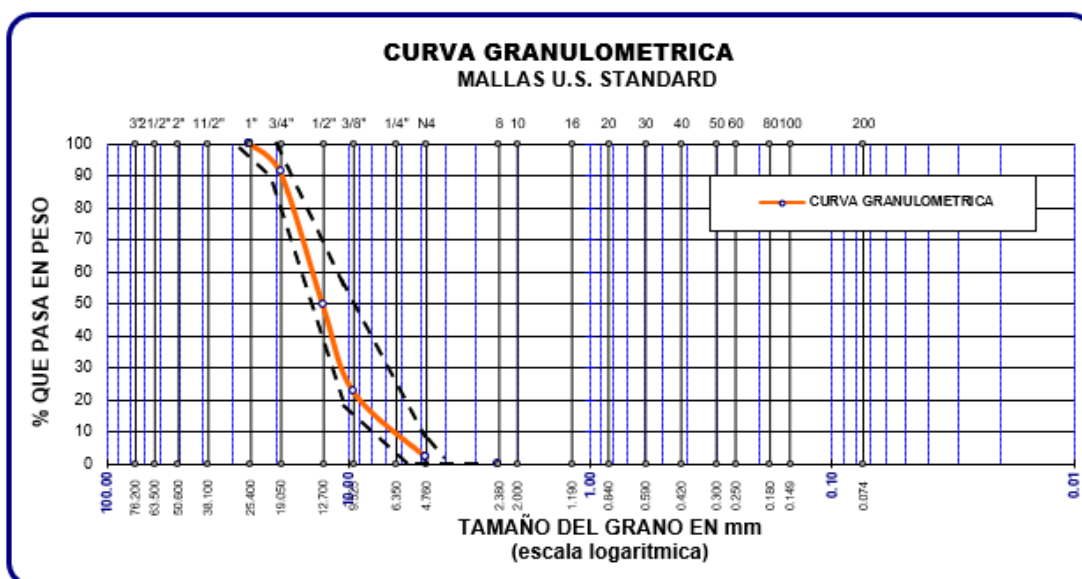
## Análisis granulométrico

Tamices astm	Abertura mm	Peso retenido	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% que pasa	Especific. 67	Descripcion de la muestra
3"	76,200						<b>Muestra: Agregado Grueso</b>
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						
1 1/2"	38,100						
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	<b>100</b>	
3/4"	19,050	562,00	8,89	8,89	<b>91,11</b>	<b>90 100</b>	
1/2"	12,700	2642,00	41,80	50,70	<b>49,30</b>		
3/8"	9,525	1693,00	26,79	77,48	<b>22,52</b>	<b>20 55</b>	
1/4"	6,350						
No4	4,760	1298,00	20,54	98,02	<b>1,98</b>	<b>0 10</b>	
No8	2,380	125,00	1,98	100,00	<b>0,00</b>	<b>0 5</b>	<b>Peso de la Muestra:</b> 6316 g  <b>Tamaño Máximo 3/4"</b> La muestra consiste de piedra chancada, Proporcionada por el peticionario
No10	2,000						
No16	1,190						
No20	0,840						
No30	0,590						
No40	0,420						
No 50	0,300						
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,149						
No200	0,074						
<b>TOTAL</b>		<b>6320.00</b>					

A continuación, se presenta la gráfica de la gradación del agregado grueso proveniente de la Cantera Arunta, comparada con los límites del Huso N°67 establecidos en la norma NTP 400,037.

Figura 14

Gradación del agregado grueso



Se puede afirmar que el agregado grueso procedente de la Cantera Arunta cumple con los límites granulométricos establecidos para el Huso 67 según la norma NTP 400,037, demostrando una calidad adecuada para su utilización en el diseño de concreto permeable. Dado que el material satisface los requisitos de gradación exigidos, se confirma su idoneidad para emplearse en la elaboración de concreto permeable.

#### 4.5. Contenido de humedad del agregado grueso

El contenido de humedad del agregado grueso se evaluó utilizando la misma muestra empleada en el ensayo de granulometría, ya que, para agregados con un tamaño máximo nominal de 3/4", la norma establece una cantidad mínima de 3000g. En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos del análisis de humedad del agregado grueso.

**Tabla 9**

Contenido de humedad del agregado grueso

Muestra n°	Agregado grueso (arunta)	
	3	4
Recipiente N°		
Peso del recipiente	g 0,0	0,0
Peso del recipiente + la muestra húmeda	g 542,0	578,4
Peso del recipiente + la muestra seca	g 538,3	574,1
Peso del Agua	g 3,7	4,3
Peso de la muestra seca neta	g 538,3	574,1
Porcentaje de humedad	% 0,69	0,75
Promedio	%	0,72

Se obtuvo un contenido de humedad promedio de 0,72 %.

#### 4.6. Peso específico y absorción del agregado grueso

A continuación, se presenta los datos utilizados para el cálculo del peso específico y la absorción del agregado grueso (tabla 10).

**Tabla 10***Peso específico y absorción del agregado grueso*

Características	Peso específico		
	Muestras		
	PE-1	PE-2	PE-3
Masa del contenedor (g)	199,00	192,00	249,45
Masa de la Canastilla Sumergida (g)	1021,00	1028,00	1026,00
Masa del contenedor + Masa de la Muestra SSS (g)	1902,00	1899,00	1913,53
Masa del contenedor + Masa de la Muestra seca (g)	1886,65	1886,65	1902,72
Masa de la canastilla + Masa de la Muestra sumergida (g)	2070,50	2070,50	2048,94
Masa de la Muestra SSS (g)	1703,000	1707,000	1664,080
Masa de la Muestra SSS sumergida (g)	1049,500	1042,500	1022,940
Masa de la Muestra Seca (g)	1687,650	1694,650	1653,270
Volumen de la muestra SSS (cc)	653,500	664,500	641,140
Volumen de la muestra (cc)	638,150	652,150	630,330
Absorción (%)	0,91	0,73	0,65
Peso específico de la masa (Pem) (g/cc)	2,582	2,550	2,579
Peso específico masa saturada con superficie seca (Pesss) (g/cc)	2,606	2,569	2,596
Peso específico aparente (Pea) (g/cc)	2,645	2,599	2,623
<b>Absorción (%)</b>	<b>0,764</b>		
<b>Peso específico de la masa (Pem) (g/cc)</b>	<b>2,57</b>		
<b>Peso específico masa saturada con superficie seca (PeSSS) (g/cc)</b>	<b>2,59</b>		
<b>Peso específico aparente (Pea) (g/cc)</b>	<b>2,622</b>		

Se realizaron 3 muestras teniendo un promedio total de 2,622 en el caso de peso específico aparente y una absorción de 0,764 %.

#### 4.7. Peso específico del sedimento

En la tabla 11, se presentan los pesos específicos del sedimento.

**Tabla 11***Peso Especifico del sedimento*

Muestra nº	E-1	E-2
Peso de la fiola + muestra + Agua g.	804,8	820,0
Peso de la fiola + Agua g.	650,0	645,0
Peso de la muestra g.	278,0	315,0
Volumen desplazado cc.	123,2	140,0
Peso específico g/cc.	2,256	2,250
Promedio de Peso Especifico g/cc	2,25	

Se obtuvo un Peso específico final de 2,25 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.8. Granulometría del Sedimento de los reservorios

Se realizaron 3 muestras del sedimento extraído de los reservorios del Proyecto Especial Tacna, a continuación, mostramos las tablas con su respectiva grafica (tabla 12).

**Tabla 12***Granulométrica de la primera muestra del sedimento.*

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especifi c.	Descripción de la muestra
3"	76,200						<b>Muestra: Agregado Fino</b>
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						
1 1/2"	38,100						<b>Cantera: sedimento de embalse PET</b>
1"	25,400						
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
3/8"	9,525	55,40	13,98	13,98	<b>86,02</b>	<b>100</b>	
1/4"	6,350						
No4	4,760	49,20	12,41	26,39	<b>73,61</b>	<b>95 100</b>	
No8	2,380	42,20	10,65	37,03	<b>62,97</b>	<b>80 100</b>	
No10	2,000						
No16	1,190	37,10	9,36	46,39	<b>53,61</b>	<b>50 85</b>	

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especifi- c.	Descripcio- n de la muestra
No20	0,840						400,00 gr
No30	0,590	28,30	7,14	53,53	46,47	25 60	Modulo de Fineza: 3.3
No40	0,420						<b>OBSERVACIONES:</b> La muestra consiste de arena sarandada de perfil sub angular y sub redondeado
No 50	0,300	39,80	10,04	63,57	36,43	10 30	
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,149	116,30	29,34	92,91	7,09	2 10	
No200	0,074	28,10	7,09	100,00	0,00	0 5	
<b>TOTAL</b>		396,40					

En la figura 15, se muestra la granulométrica de la primera muestra del sedimento.

**Figura 15**

*Granulométrica de la primera muestra del sedimento*

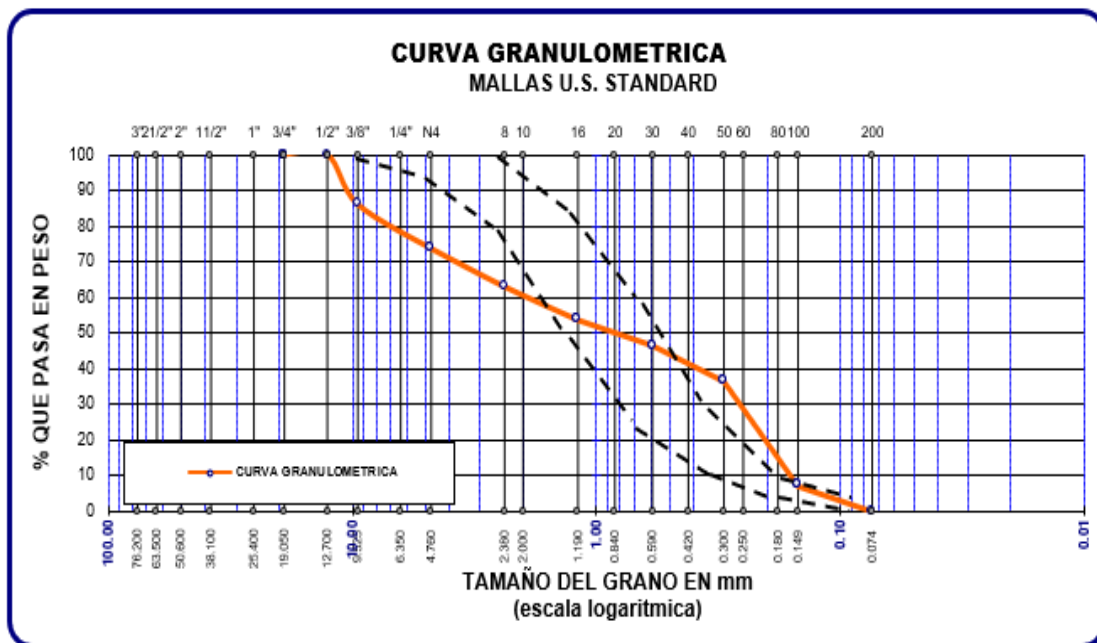


Tabla 13

Granulométrica de la segunda muestra del sedimento

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso retenido	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	% que pasa	Especific	Descripción de la muestra
3"	76,200						<b>Muestra: Agregado Fino</b>
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						
1 1/2"	38,100						
1"	25,400						<b>Cantera: sedimento de embalse PET</b>
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
3/8"	9,525	42,10	10,68	10,68	<b>89,32</b>	<b>100</b>	
1/4"	6,350						
No4	4,760	42,00	10,65	21,33	<b>78,67</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
No8	2,380	43,80	11,11	32,45	<b>67,55</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
No10	2,000						
No16	1,190	37,80	9,59	42,03	<b>57,97</b>	<b>50</b>	<b>85</b>
No20	0,840						
No30	0,590	29,90	7,58	49,62	<b>50,38</b>	<b>25</b>	<b>60</b>
No40	0,420						
No 50	0,300	29,90	7,58	57,20	<b>42,80</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
No60	0,250						
No80	0,180						
No100	0,149	117,30	29,76	86,96	<b>13,04</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
No200	0,074	51,40	13,04	100,00	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
<b>TOTAL</b>		394,20					

**Peso de la Muestra**  
400,00 g

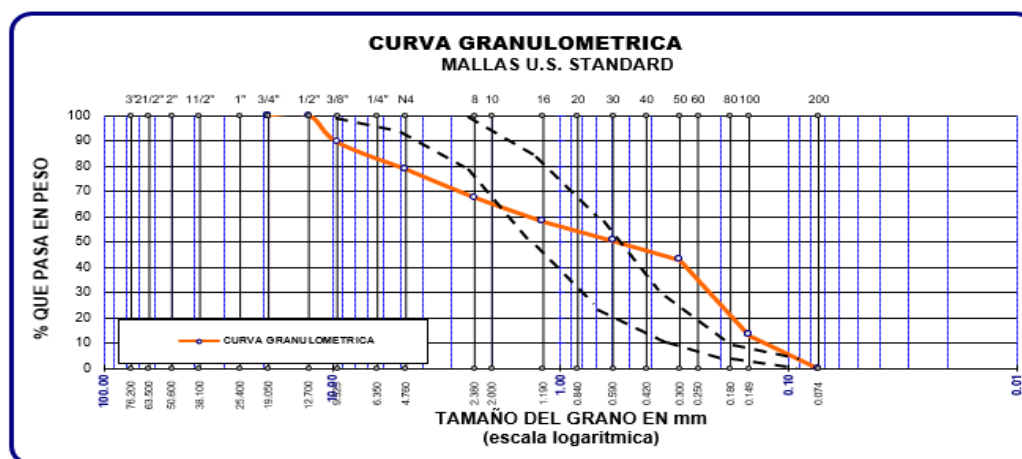
**Modulo de  
Fineza: 3,0**

**Observaciones:**  
La muestra consiste de  
arena sarandead de  
perfil sub angular y  
sub redondeado

En la figura 16, se muestra la granulométrica de la segunda muestra del sedimento.

Figura 16

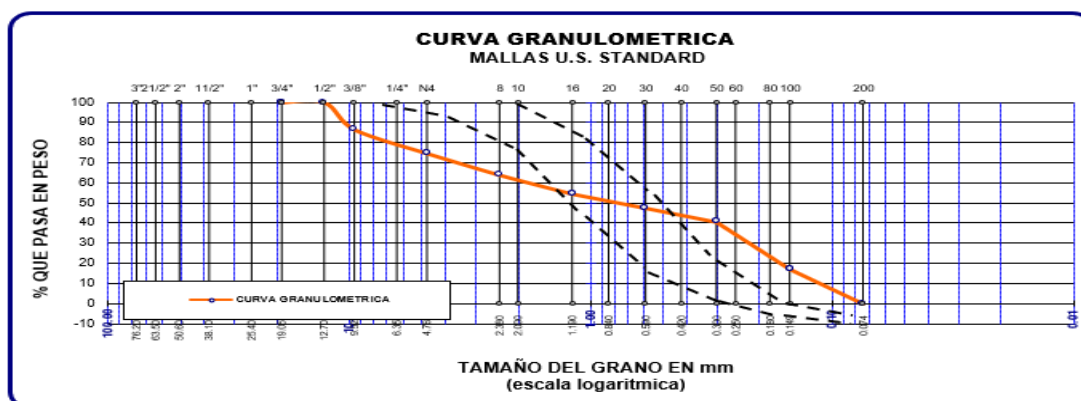
Granulométrica de la segunda muestra del sedimento.



**Tabla 14**  
Granulométrica de la tercera muestra del sedimento

Tamic es	Abertu ra	Peso	%Reteni do	%Retenid o	% Que	Especifi c.	Descripció n de la muestra
ASTM	mm	Retenid o	Parcial	Acumula do	Pasa		
3"	76,200						<b>Muestra: Agregado Fino</b>
2 1/2"	63,500						
2"	50,600						<b>Cantera: sedimento de embalse pet</b>
1 1/2"	38,100						
1"	25,400						
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	<b>100,0 0</b>		
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	<b>100,0 0</b>		
3/8"	9,525	53,10	13,51	13,51	<b>86,49</b>	<b>100</b>	
1/4"	6,350						
No4	4,760	46,60	11,86	25,38	<b>74,62</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
No8	2,380	42,10	10,72	36,09	<b>63,91</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
No10	2,000						
No16	1,190	36,90	9,39	45,48	<b>54,52</b>	<b>50</b>	<b>85</b>
No20	0,840						<b>Peso de la Muestra</b> 400, g
No30	0,590	27,70	7,05	52,53	<b>47,47</b>	<b>25</b>	<b>60</b>
No40	0,420						<b>Modulo de Fineza:</b> 3. 2
No 50	0,300	27,10	6,90	59,43	<b>40,5</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
No60	0,250						<b>observaciones:</b> La muestra consiste de arena sarandeada de perfil sub angular y sub redondeado
No80	0,180						
No100	0,149	91,90	23,39	82,82	<b>17,18</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
No200	0,074	67,50	17,18	100,00	<b>0,00</b>	<b>0</b>	<b>5</b>

**Figura 17**  
Granulométrica de la tercera muestra del sedimento



#### 4.9. Contenido de humedad del sedimento

En la tabla 15, Contenido de humedad del sedimento.

**Tabla 15**

*Contenido de humedad del sedimento*

Recipiente Nº	Muestra nº	Sedimento		
		1	2	2
Peso del recipiente	g	0,0	0,0	0,0
Peso del recipiente + la muestra húmeda	g	933,40	684,20	688,90
Peso del recipiente + la muestra seca	g	870,10	639,80	643,60
Peso del Agua	g	63,3	44,4	45,3
Peso de la muestra seca neta	g	870,1	639,8	643,6
Porcentaje de humedad	%	7,28	6,94	7,04
Promedio	%		7,08	

Se obtuvo un promedio de 7,08 %.

#### 4.10. Limite Plástico y liquido en el sedimento

El límite Plástico y liquido en el sedimento se muestra en la tabla 16 y 17.

**Tabla 16**

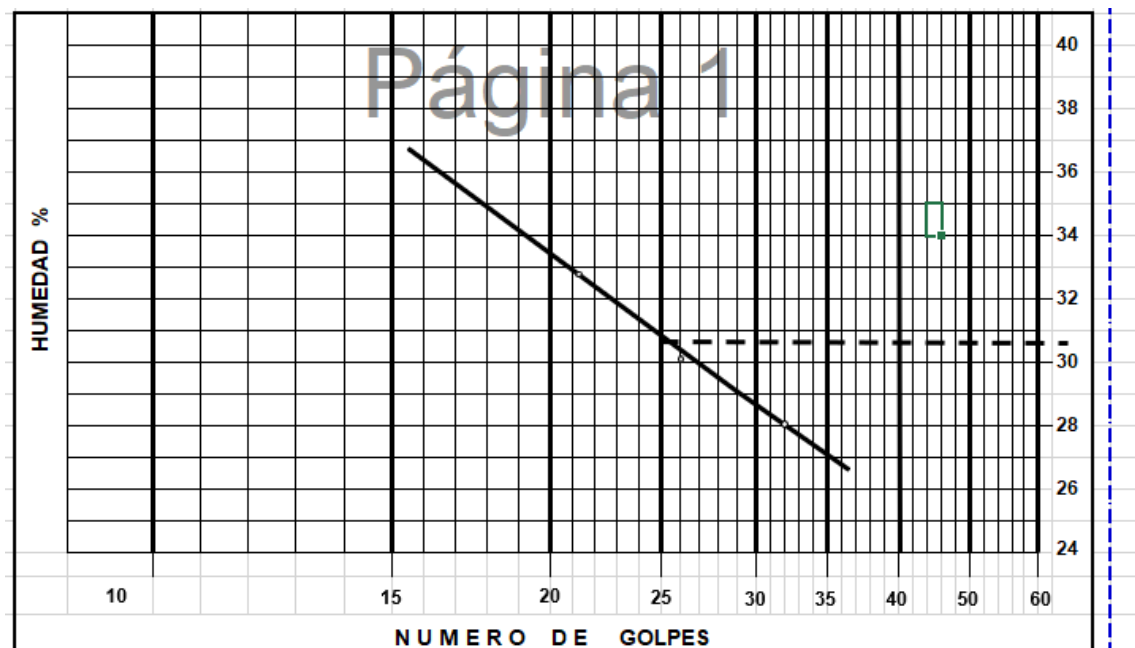
*Limite líquido*

Descripción	Unid.	Limite liquido		
Nº de golpes		21	26	32
Tarro nº		1	2	3
Peso suelo húmedo + tara	g	51,09	49,26	48,55
Peso suelo seco + tara	g	43,73	42,33	42,34
Peso del agua	g	7,36	6,93	6,21
Peso de la tara	g	21,34	19,42	20,17
Peso del suelo seco	g	22,39	22,91	22,17
Humedad	%	32,87	30,25	28,01
<b>L L:</b>		<b>30.88%</b>	<b>L P:</b>	<b>26.26</b>
				<b>%</b>

**Tabla 17***Límite plástico*

Límite Plástico		
	1er	2do
	4	5
	50,9	48,23
	44,35	42,85
	6,55	5,38
	20,73	21,15
	23,62	21,7
	27,73	24,79
<b>L P:</b>	<b>4,62</b>	<b>%</b>

Según las Tablas 16 y 17 y la figura 21 se sabe que el sedimento extraído de los reservorios del PET está conformado por arcillas calcinadas que, por su contenido de sílice reactiva, pueden actuar como puzolanas, reaccionando con la cal en presencia de agua para formar compuestos cementantes y mejorar el hormigón. Estos materiales, tanto naturales como artificiales (como las arcillas calcinadas), mejoran la durabilidad, resistencia a ambientes agresivos y la impermeabilidad del hormigón, además de tener beneficios ambientales al reducir la necesidad de cemento Portland.

**Figura 18***%W VS N° Golpes LL Ensayo del sedimento*

#### 4.11. Asentamiento

En la tabla 18 que se presenta a continuación se observa una tendencia decreciente del asentamiento conforme aumenta la proporción de material añadido.

**Tabla 18**

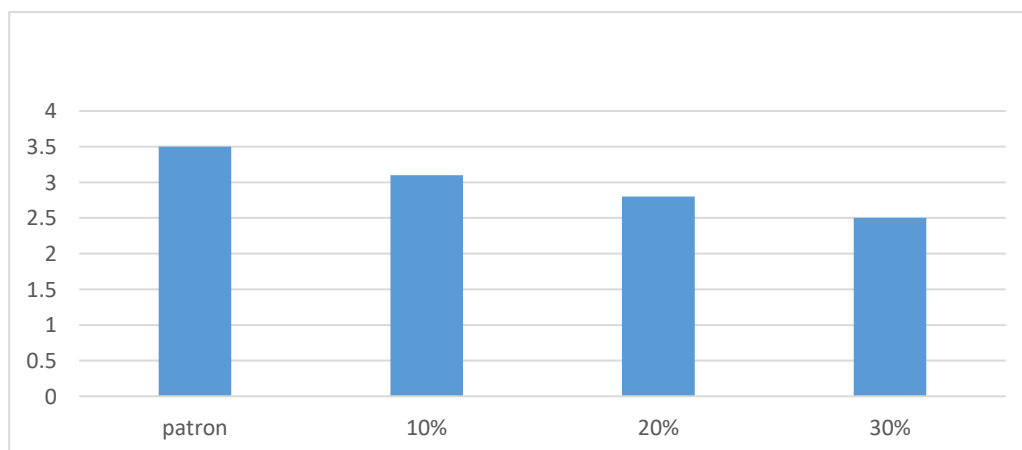
*Evaluación del asentamiento en las mezclas de concreto elaboradas con la incorporación de sedimentos provenientes de los reservorios del Proyecto Especial Tacna PET*

Asentamiento	
Descripción	Slump(PULG)
patrón	3,5
10 %	3,1
20 %	2,8
30 %	2,5

Al evaluar mediante el ensayo de cono de Abrams, se observó que la trabajabilidad del concreto es mayor cuando no se adiciona sedimento, es decir a un mayor contenido de sedimentos reduce su. La incorporación de adiciones minerales también contribuye a esta pérdida de trabajabilidad, ya que a medida que se incrementa su proporción, la mezcla se vuelve menos fluida. Esto dificulta la correcta colocación de concreto en obra sin embargo si es posible que se use en obra ya que si bien hay pérdida de trabajabilidad no es tan baja como para poder descartarla en un mantenimiento (figura 19).

**Figura 19**

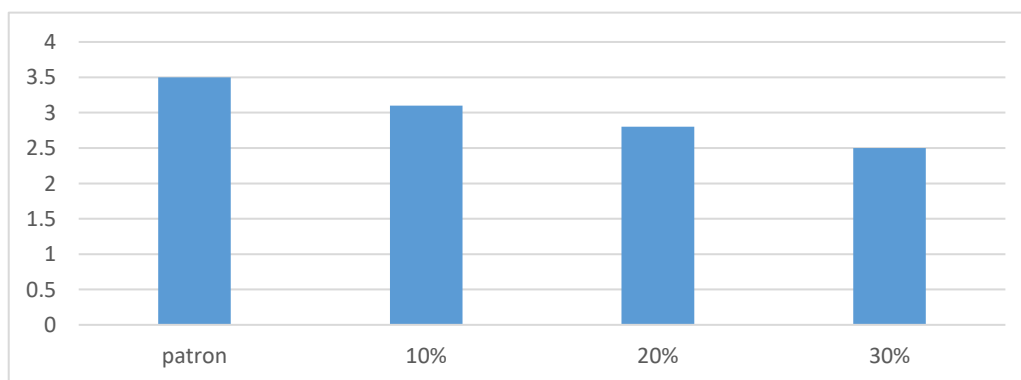
*Variación del asentamiento según porcentajes*



En la figura 22 y la Tabla 18 se presentan los porcentajes de trabajabilidad correspondientes a los diferentes diseños de mezcla, tanto para la muestra patrón como para aquellas con adición de sedimentos. Al incorporar un 10 % de sedimento del reservorio, el asentamiento (slump) disminuye en un 11 % respecto a la mezcla de control, cuyo valor fue 3,1". Para el concreto con un 20 % de adición, el slump se reduce en 2,8", en comparación con el valor de diseño de 3,5", lo que representa una disminución del 20 %. Asimismo, cuando se incorpora un 30% de sedimento, el asentamiento desciende de 3,5" a 2,5", evidenciando una reducción del 29 %. En consecuencia, se infiere que es posible emplear los sedimentos del reservorio en proporciones en un límite del 30 %, manteniendo condiciones aceptables de trabajabilidad.

**Figura 20**

*Variación del asentamiento según porcentajes*



#### 4.12. Peso unitario

En la tabla 19 al 22 se muestran los pesos unitarios, primera muestra (sin sedimento).

**Tabla 19**

*Pesos unitarios, primera muestra (sin sedimento)*

Diseño de mezcla fc 210 kg/cm <sup>2</sup>				
Muestra N°	Concreto sin sedimento		Suelto	
	Und	1	2	3
Peso del molde + la muestra seca	g	20,180	20,204	20,140
Peso del molde	g	6,280	6,280	6,280
Peso de la muestra seca neta	g	13,900	13,924	13,860
Volumen del molde	cc.	2,020	2,020	2,020
Peso Unitario	g/cc.	6,881	6,893	6,861
Promedio	g/cc.		6,879	

**Tabla 20***Pesos unitarios, primera muestra (10 % de sedimento)*

Concreto con sedimento al 10%		Diseño de mezcla fc 210 kg/cm <sup>2</sup>					
		Suelto					
Muestra nº	Und	1	2	3	4	5	6
Peso del molde + la muestra seca	g	20,045	20,012	19,975	19,785	19,865	19,942
Peso del molde	g	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280
Peso de la muestra seca neta	g	13,765	13,732	13,695	13,505	13,585	13,662
Volumen del molde	cc.	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020
Peso Unitario	g/cc.	6,814	6,798	6,780	6,686	6,725	6,763
Promedio	g/cc	6,761					

**Tabla 21***Pesos unitarios, primera muestra (20 % de sedimento)*

Concreto con sedimento al 20 %		Diseño de mezcla fc 210 kg/cm <sup>2</sup>					
		Suelto					
Muestra Nº	Und	1	2	3	4	5	6
Peso del molde+ la muestra seca	<b>g</b>	19,421	19,378	19,395	19,406	19,346	19,485
Peso del molde	<b>g</b>	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280
Peso de la muestra seca neta	<b>g</b>	13,141	13,098	13,115	13,126	13,066	13,205
Volumen del molde	<b>cc</b>	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020
Peso Unitario	<b>g/cc.</b>	6,505	6,484	6,493	6,498	6,468	6,537
Promedio	<b>g/cc.</b>	6,498					

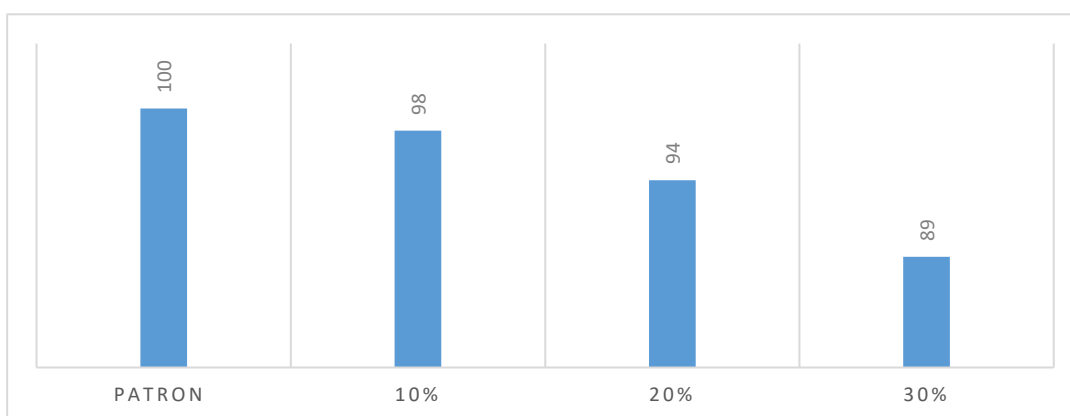
**Tabla 22***Pesos unitarios, primera muestra (30 % de sedimento)*

Concreto con sedimento al 30 %		Diseño de mezcla fc 210 kg/cm <sup>2</sup>					
		Suelto					
Muestra nº	Und	1	2	3	4	5	6
Peso del molde + la muestra seca	g	18,526	18,679	18,602	18,456	18,566	18,675
Peso del molde	g	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280	6,280
Peso de la muestra seca neta	g	12,246	12,399	12,322	12,176	12,286	12,395
Volumen del molde	cc.	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020	2,020
Peso Unitario	g/cc.	6,062	6,138	6,100	6,028	6,082	6,136
Promedio	g/cc.	6,091					

Al sustituir parcialmente el cemento por sedimentos provenientes del reservorio del PET, la gravedad específica del concreto tiende a disminuir ligeramente, debido principalmente a la menor densidad del material incorporado. El cemento Portland Tipo I presenta un peso específico de  $2850 \text{ kg/m}^3$ , mientras que el material de adición registra un valor de  $1232 \text{ kg/m}^3$  (figura 21).

**Figura 21**

*Variación del peso unitario del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}$*



A partir del gráfico, elaborado en base a los datos obtenidos de las tablas Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22, se puede apreciar que el peso unitario del concreto tiende a disminuir a medida que se incrementa el porcentaje de adición en la mezcla. Por ejemplo, con una adición del 10 % de residuos de sedimento, se observa una reducción aproximada del 2 % en el peso unitario. Cuando la adición alcanza el 20 %, la disminución es de alrededor del 6 % en comparación con la muestra patrón. Finalmente, al incorporar un 30 % de adición, el peso unitario se reduce en aproximadamente un 11 %.

#### **4.13. Resistencia a la compresión**

La tabla 23 y figura 22 que se muestra a continuación presenta los resultados de resistencia a la compresión correspondientes a la mezcla de referencia y a las mezclas con incorporaciones del 10 %, 20 % y 30 %.

Tabla 23

Resistencia a la compresión de la mezcla patrón, primera muestra

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécimen n	24/07/2025	7	31/07/2025	30,125,00	15,00	176,715	170,470	210	81,18
2	Espécimen n	24/07/2025	14	07/08/2025	34,996,00	15,00	176,715	198,04	210	94,3
3	Espécimen n	24/04/2025	28	22/05/2025	44,589,00	15,00	176,715	252,32	210	120,15

Figura 22

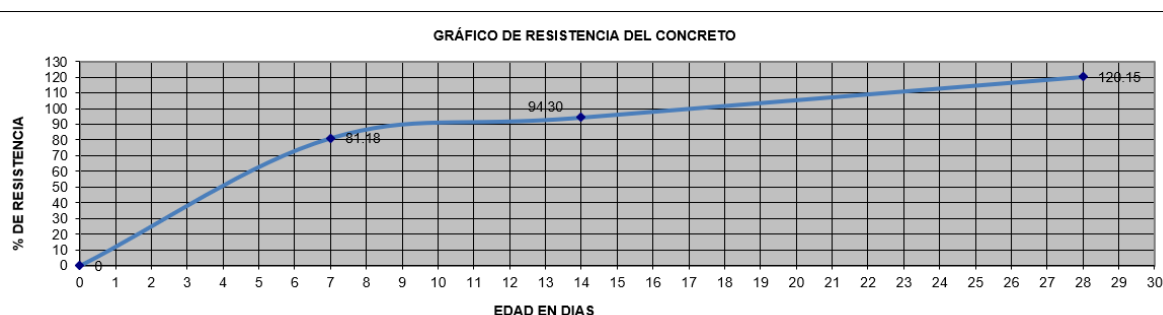
Resultados de la resistencia a la compresión f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>

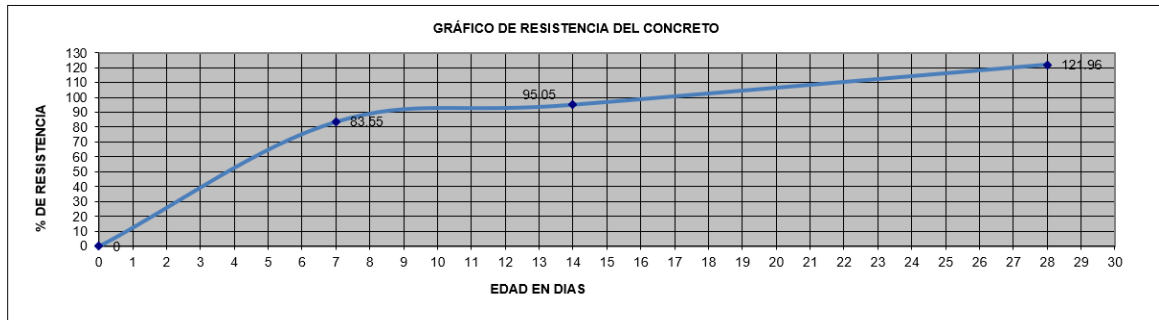
Tabla 24

Resistencia a la compresión de la mezcla patrón, segunda muestra

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécimen	24/07/2025	7	31/07/2025	31,006,00	15,00	176,715	175,460	210	83,55
2	Espécimen	24/07/2025	14	07/08/2025	35,274,00	15,00	176,715	199,61	210	95,05
3	Espécimen	24/04/2025	28	22/05/2025	45,261,00	15,00	176,715	256,12	210	121,96

**Figura 23**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>*



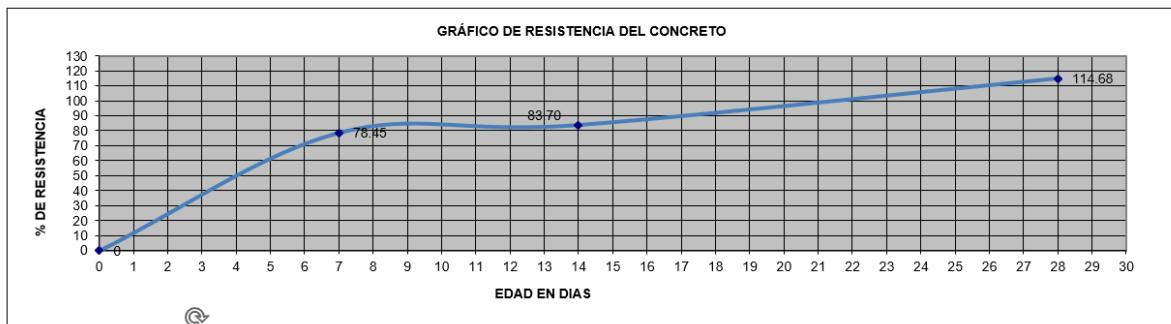
**Tabla 25**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 10 %*

	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (Ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=ka/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	ESPECIME N 10%	24/07/2025	7	31/07/2025	29,114,00	15,00	176,715	164,750	210	78,45
2	ESPECIME N 10%	24/07/2025	14	07/08/2025	31,060,00	15,00	176,715	175,760	210	83,70
3	ESPECIME N 10%	24/04/2025	2	22/05/2025	42,558,00	15,00	176,715	240,830	210	114,68

**Figura 24**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 10 % de residuo de reservorio PET*



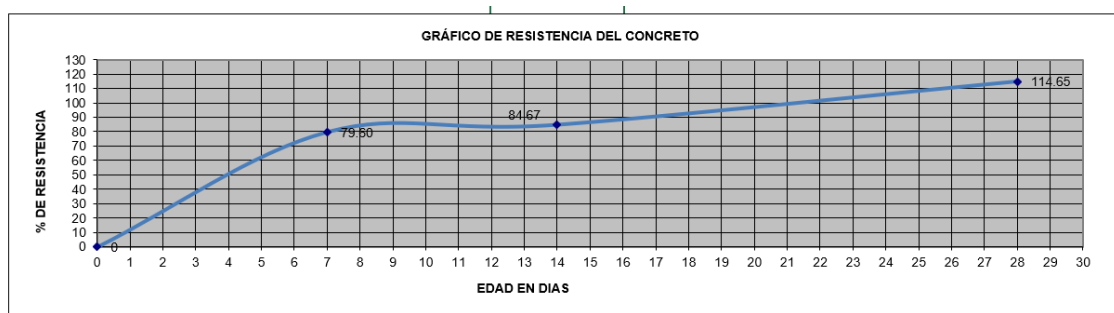
**Tabla 26**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 10 %, segunda muestra*

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécimen 10%	24/07/2025	7	31/07/2025	29,540,00	15,00	176,715	167,16	210	79,60
2	Espécimen 10%	24/07/2025	14	07/08/2025	31,422,00	15,00	176,715	177,81	210	84,67
3	Espécimen 10%	24/04/2025	28	22/05/2025	42,547,00	15,00	176,715	240,77	210	114,65

**Figura 25**

*Resultados de la resistencia a la compresión f'c 210 kg/cm<sup>2</sup> – 10 % de residuo de reservorio PET*

**Tabla 27**

*Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20 %*

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécimen 20%	24/07/2025	7	31/07/2025	28,160,00	15,00	176,715	159,35	210	75,66
2	Espécimen 20%	24/07/2025	14	07/08/2025	30,561,00	15,00	176,715	172,94	210	82,35
3	Espécimen 20%	24/04/2025	28	22/05/2025	41,856,00	15,00	176,715	236,86	210	112,79

Figura 26

Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> -20 % de residuo de reservorio PET.

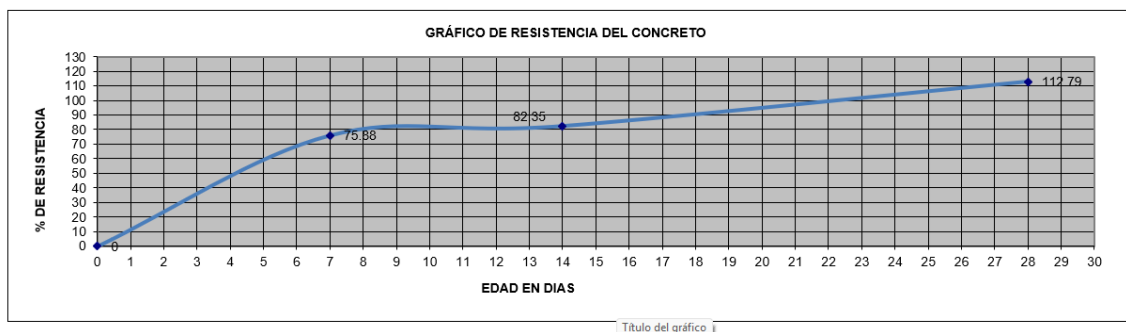


Tabla 28

Resistencia a la compresión del concreto con adición del 20 %, segunda muestra

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (Ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécime n 20%	24/07/2025	7	31/07/2025	27,140,00	15,00	176,715	153,58	210	73,13
2	Espécime n 20%	24/07/2025	14	07/08/2025	30,154,00	15,00	176,715	170,64	210	81,26
3	Espécime n 20%	24/04/2025	28	22/05/2025	41,229,00	15,00	176,715	233,31	210	111,10

Tabla 29

Resistencia a la compresión del concreto con adición del 30 %

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (Ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg./cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	ESPECIME N 30%	24/07/2025	7	31/07/2025	25,799,00	15,00	176,715	145,99	210	69,52
2	ESPECIME N 30%	24/07/2025	14	07/08/2025	28,995,00	15,00	176,715	164,08	210	78,13
3	ESPECIME N 30%	24/04/2025	28	22/05/2025	37,669,00	15,00	176,715	213,16	210	101,51

Figura 27

Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET

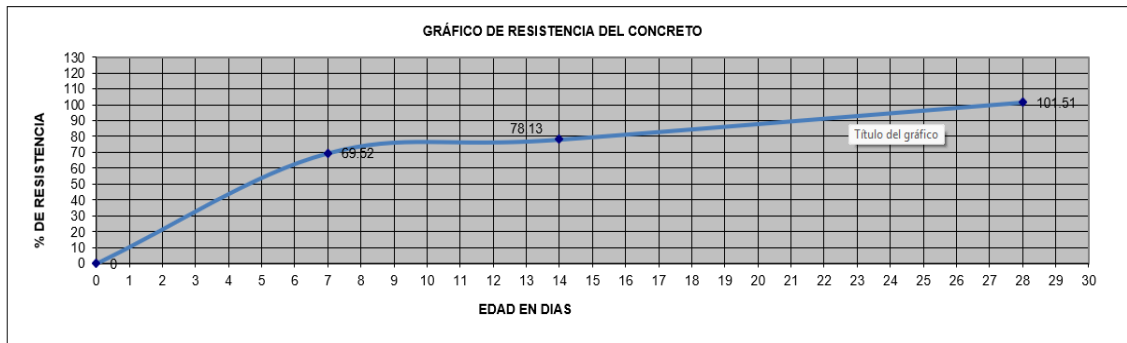


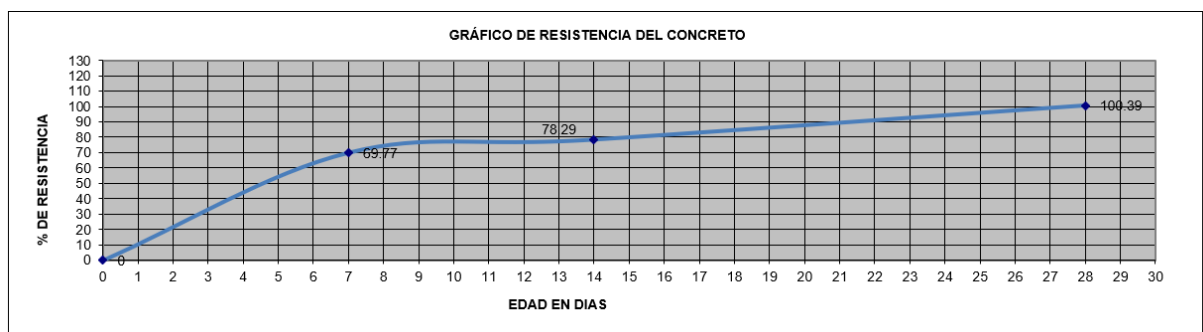
Tabla 30

Resistencia a la compresión del concreto con adición del 30 %, segunda muestra

N	Descripción probetas	Fecha de moldeo	Edad días	Fecha de rotura	Lectura del dial en kg/fuerza.	Diámetro (ø)	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Diseño f c=kg/cm <sup>2</sup>	% Resistencia
1	Espécim en 30%	24/07/2025	7	31/07/2025	25,890,00	15,00	176,715	146,51	210	69,77
2	Espécim en 30%	24/07/2025	14	07/08/2025	29,054,00	15,00	176,715	164,41	210	78,29
3	Espécim en 30%	24/04/2025	28	22/05/2025	37,256,00	15,00	176,715	210,83	210	100,39

Figura 28

Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET.



**Tabla 31**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET*

Nº	Descripción probetas	Fecha de Moldeo	Edad Días	Fecha de Rotura	Lectura del dial en kg/ fuerza.	Diámetro	Área cm <sup>2</sup>	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Diseño $f'c =$ kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia %
1	Espécimen 0%	24/07/2025	7	31/07/2025	30,125,0	15,0	176,71	170,4	21	81,18
2	Espécimen 0%	24/07/2025	14	07/08/2025	34,996,0	15,0	176,71	198,0	21	94,30
3	Espécimen 0%	24/04/2025	28	22/05/2025	44,589,0	15,0	176,71	252,3	21	120,15
1	Espécimen 0%	24/07/2025	7	31/07/2025	31,006,0	15,0	176,71	175,4	21	83,55
2	Espécimen 0%	24/07/2025	14	07/08/2025	35,274,0	15,0	176,71	199,6	21	95,05
3	Espécimen 0%	24/04/2025	28	22/05/2025	45,261,0	15,0	176,71	256,1	21	121,96
1	Espécimen 10%	24/07/2025	7	31/07/2025	29,114,0	15,0	176,71	164,7	21	78,45
2	Espécimen 10%	24/07/2025	14	07/08/2025	31,060,0	15,0	176,71	175,7	21	83,70
3	Espécimen 10%	24/04/2025	28	22/05/2025	42,558,0	15,0	176,71	240,8	21	114,68
1	Espécimen 10%	24/07/2025	7	31/07/2025	29,540,0	15,0	176,71	167,1	21	79,60
2	Espécimen 10%	24/07/2025	14	07/08/2025	31,422,0	15,0	176,71	177,8	21	84,67
3	Espécimen 10%	24/04/2025	28	22/05/2025	42,547,0	15,0	176,71	240,7	21	114,65
1	Espécimen 20%	24/07/2025	7	31/07/2025	28,160,0	15,0	176,71	159,3	21	75,88
2	Espécimen 20%	24/07/2025	14	07/08/2025	30,561,0	15,0	176,71	172,9	21	82,35
3	Espécimen 20%	24/04/2025	28	22/05/2025	41,856,0	15,0	176,71	236,8	21	112,79
1	Espécimen 20%	24/07/2025	7	31/07/2025	27,140,0	15,0	176,71	153,5	21	73,13
2	Espécimen 20%	24/07/2025	14	07/08/2025	30,154,0	15,0	176,71	170,6	21	81,26
3	Espécimen 20%	24/04/2025	28	22/05/2025	41,229,0	15,0	176,71	233,3	21	111,10
1	Espécimen 30%	24/07/2025	7	31/07/2025	25,799,0	15,0	176,71	145,9	21	69,52
2	Espécimen 30%	24/07/2025	14	07/08/2025	28,995,0	15,0	176,71	164,0	21	78,13
3	Espécimen 30%	24/04/2025	28	22/05/2025	37,669,0	15,0	176,71	213,1	21	101,51
1	Espécimen 30%	24/07/2025	7	31/07/2025	25,890,0	15,0	176,71	146,5	21	69,77
2	Espécimen 30%	24/07/2025	14	07/08/2025	29,054,0	15,0	176,71	164,4	21	78,29
3	Espécimen 30%	24/04/2025	28	22/05/2025	37,256,0	15,0	176,71	210,8	21	100,39

Nota. El presente ensayo evalúa el comportamiento mecánico del concreto cuando se reemplaza

parcialmente el cemento por sedimentos provenientes del reservorio del PET, en proporciones de 10 ,20 y 30%.

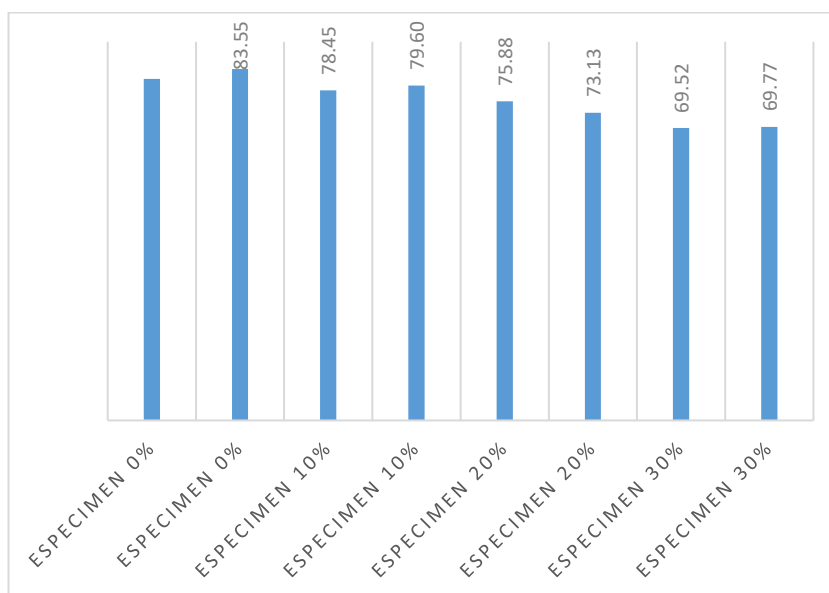
El estudio analiza la resistencia a compresión en 7,14,28 días de curado comprobándose que, a mayor porcentaje de sustitución de sedimento, la resistencia del concreto disminuye de manera progresiva.

Los resultados obtenidos en el ensayo de compresión a los 28 días evidencian que todas las probetas ensayadas superan la resistencia mínima establecida en la NTP E060, la cual exige un  $f'c$  no menor de 17 MPA (175 kg/cm<sup>2</sup>) para concreto estructural.

Según los datos de la Tabla 31, se observa que la resistencia a la compresión del concreto con diferentes porcentajes de sedimento a los 7 días es inferior en comparación con la mezcla sin adición. Esta tendencia se aprecia con mayor claridad en el grafico siguiente.

**Figura 29**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del reservorio PET a los 7 días*

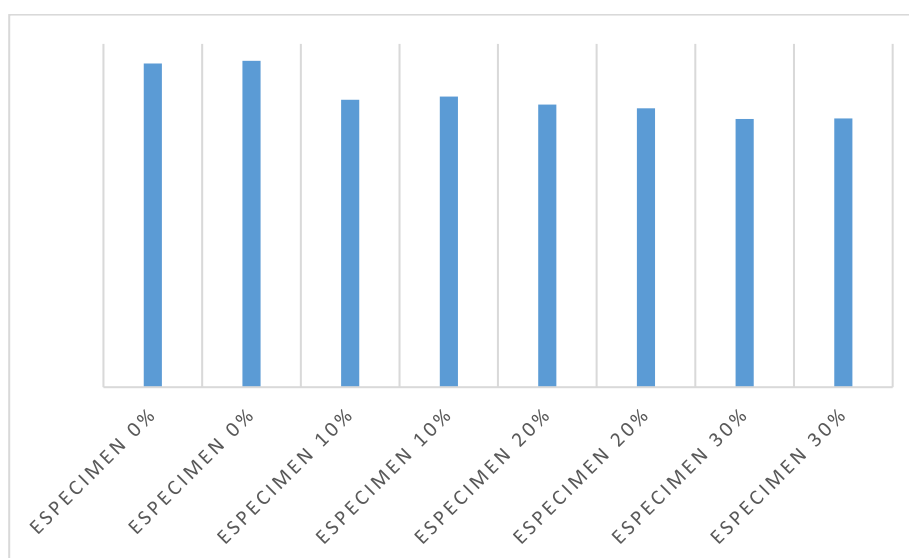


En la figura 32 se observa que la mezcla sin incorporación de sedimentos alcanza el 81,18 % y 83,55 % de la resistencia de diseño correspondiente a  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ . Cuando se sustituye el 10 % del cemento por sedimento, la resistencia presenta una ligera reducción, alcanzando valores del 78,45 % y 79,60 %, lo que equivale aproximadamente

a un 4 % menos respecto a la muestra de control. Con un reemplazo del 20 %, la resistencia desciende hasta el 75,58 % y 73,13 %, es decir, cerca de un 8 % menos que la mezcla patrón. Finalmente, al incorporar el 30 % de sedimentos del reservorio, la resistencia se reduce hasta 69,52 % y 69,77 %, lo que representa una disminución aproximadamente del 12 % respecto al concreto sin adición.

**Figura 30**

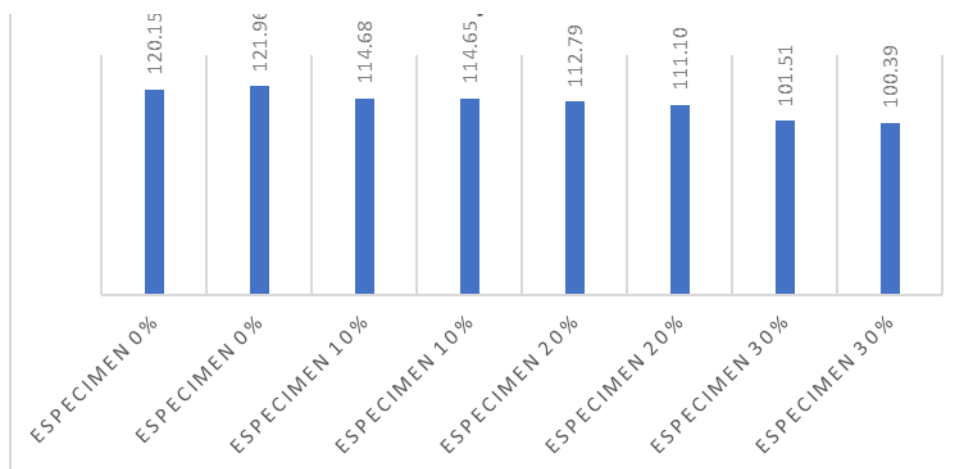
*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del reservorio PET a los 14 días*



En la Figura 33 se observa que la muestra patrón, es decir, aquella sin incorporación de sedimentos, alcanza el 94,30 % y 95,05 % de la resistencia de diseño correspondiente a  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ . Al reemplazar el 10 % del cemento por sedimentos, la resistencia muestra una disminución, registrándose valores del 83,70 % y 84,67 %, lo que equivale a una reducción aproximada del 9% respecto a la mezcla de control. Con un reemplazo del 20 %, la resistencia continúa descendiendo hasta alcanzar el 81,26 % y 78,13 % de la resistencia de diseño, representando una disminución cercana al 13 %. Finalmente, al incorporar el 30 % de sedimento del reservorio, la resistencia se reduce hasta el 78,12 % y 78,29 %, lo que supone una pérdida aproximada del 16 % en comparación con la muestra patrón.

**Figura 31**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 0 %, 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del reservorio PET a los 28 días.*



En la Figura 34 se observa que la mezcla sin incorporación de sedimentos alcanza el 120,15 % y 121,96 % de la resistencia de diseño correspondiente a  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ . Cuando se reemplaza el 10 % del cemento por sedimentos, la resistencia se reduce ligeramente, registrándose valores del 114,68 % y 114,65 %, lo que representa una disminución aproximada del 6% respecto a la muestra patrón. Con un reemplazo del 20 %, la resistencia continúa descendiendo hasta alcanzar el 112,79 % y 111,10 %, es decir, cerca de un 9% menos que el concreto sin adición. Finalmente, al incorporar el 30 % de sedimento del reservorio, la resistencia se reduce hasta el 101,51 % y 100,39 %, lo que equivale a una disminución aproximada del 19 % en comparación con la mezcla de control.

#### **4.14. Costo de obtención del sedimento del reservorio para su uso como sustituto parcial del cemento**

A continuación, en la Tabla 31, se muestra el costo de obtención y procesamiento del sedimento proveniente del reservorio, destinado a ser utilizado como reemplazo en porcentajes del cemento en la mezcla de concreto. Los costos están expresados por metro cúbico del material procesado, recordemos que actualmente el costo por m<sup>3</sup> del cemento es de S/.300,00.

**Tabla 32**

*Resultados de la resistencia a la compresión  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> – 30 % de residuo de reservorio PET*

<b>Ítem</b>	<b>Partida</b>	<b>C.U. por m<sup>3</sup> (S/.)</b>
1,01	Extracción del sedimento del reservorio	S/ 12,80
1,02	Transporte del sedimento hasta la planta de procesamiento	S/ 18,50
1,03	Tamizado y almacenamiento final	S/ 15,60
	<b>Costo total por m<sup>3</sup></b>	<b>S/ 46,90</b>

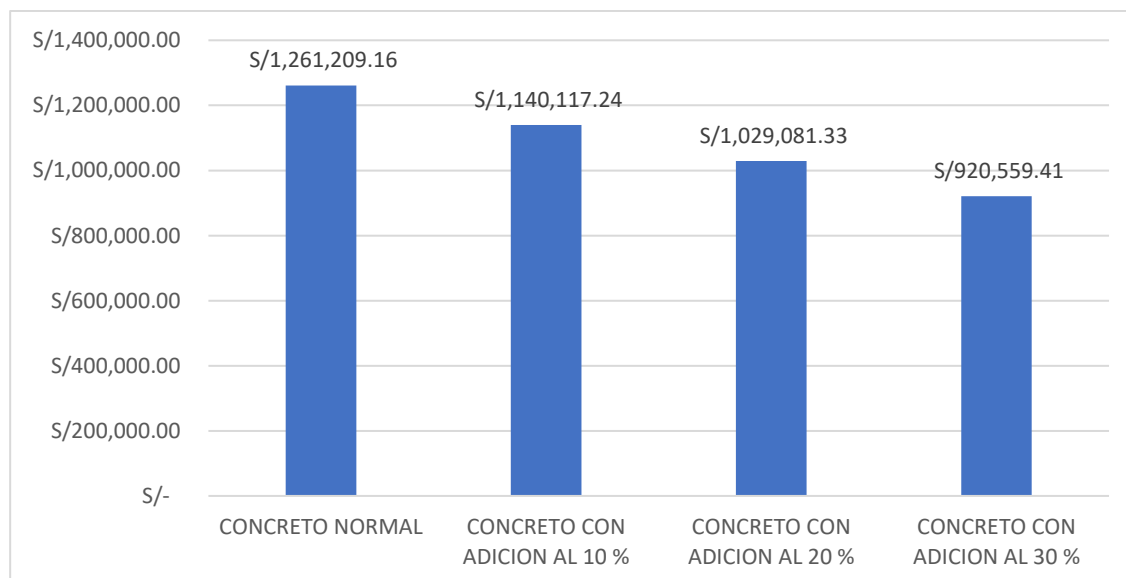
A continuación, se detallan los costos reales para un mantenimiento teniendo en cuenta la cantidad de m<sup>3</sup> que se gastan, las cantidades de bolsas a utilizar por m<sup>3</sup> según las adiciones, teniendo en cuenta que en el costo final se le suma el costo por m<sup>3</sup> de la obtención del sedimento que asciende a S/ 46,90 según la tabla 32.

**Tabla 33**

*Comparación de costos en una obra de mantenimiento de reservorios del PET*

	<b>Bolsas por m3</b>	<b>Bolsas para 5168.89 m3</b>	<b>Costo</b>
Concreto normal	8	41351	S/ 1,261,209,16
Concreto con adición al 10 %	7,2	37216	S/ 1,140,117,24
Concreto con adición al 20 %	6,4	33081	S/ 1,029,081,33
Concreto con adición al 30 %	5,6	29047	S/ 929.504,33

En un mantenimiento, el PET usa alrededor más de 5168,89 m<sup>3</sup> de concreto, y por m<sup>3</sup> de concreto normalmente se usan 8 bolsas de concreto, en la ciudad de Tacna el promedio de costo por m<sup>3</sup> de concreto asciende a s/. 300,00, como también las bolsas de cemento que tienen un precio de S/ 30,5 puesto en obra a continuación, en el gráfico observan el costo según cada adición.

**Tabla 34***Gastos de concreto en obra de mantenimiento del PET*

De esta manera podemos interpretar que, el uso de sedimentos del reservorio del PET obtenemos un costo menor hacia un concreto sin adición. Por lo tanto, de acuerdo a la Tabla 34, determinamos que la influencia económica del uso de este material tiene un impacto positivo.

**Tabla 34***Comparación de precios por m3 para los diferentes concretos*

Tipo de mezcla	Costo cemento + sedimento	Arena	Piedra	Mano de obra	Precio por m <sup>3</sup>
0% sedimento (normal)	S/ 244,00	S/ 26,00	S/ 41,25	S/ 30,00	S/ 341,25
10% sedimento	S/ 224,29	S/ 26,00	S/ 41,25	S/ 30,00	S/ 321,54
20% sedimento	S/ 204,58	S/ 26,00	S/ 41,25	S/ 30,00	S/ 301,83
30% sedimento	S/ 184,87	S/ 26,00	S/ 41,25	S/ 30,00	S/ 282,12

La tabla 35 que el cemento es el insumo más costoso de la mezcla, por ello cuando incorporamos sedimentos del PET en reemplazos del 10 %, 20 % y 30 %, el costo por

metro cúbico disminuye progresivamente. La mezcla convencional cuesta S/ 341,25, y con 30 % de sedimento baja a S/ 282,12, lo que representa un ahorro del 17 %. Esto confirma que el sedimento es económicamente viable como sustituto parcial del cemento.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En el presente capítulo se analizan e interpretan los resultados obtenidos en el Capítulo IV, correspondientes a los ensayos físicos, mecánicos y económicos realizados al concreto elaborado con reemplazo parcial del cemento Portland por sedimentos provenientes de los reservorios del Proyecto Especial Tacna (PET). Asimismo, se procede a la evaluación de la hipótesis general y las hipótesis específicas, a fin de determinar si estas son aceptadas o rechazadas en función de la evidencia experimental obtenida.

### 5.1 Contrastación de la Hipótesis

La hipótesis general planteada en esta investigación establece que: “El material cementante influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna – 2025.” Para su contrastación, se evaluaron comparativamente los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio aplicados a una mezcla patrón sin sedimento y a tres mezclas adicionales con reemplazo parcial del cemento Portland por sedimentos del PET en proporciones del 10 %, 20 % y 30 %, ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, conforme a la norma ASTM C39.

En primer lugar, los ensayos de caracterización física del sedimento (granulometría, contenido de humedad, límites de plasticidad y peso específico) permitieron verificar que el material presenta propiedades compatibles con su uso como material cementante suplementario. Si bien el sedimento evidencia características distintas al cemento Portland convencional, su comportamiento puede ser controlado mediante un adecuado proceso de dosificación, control de humedad y ajuste de la relación agua/cemento, lo cual permitió obtener mezclas trabajables y estables desde el punto de vista constructivo.

Respecto al comportamiento del concreto fresco, los resultados del ensayo de asentamiento evidenciaron una reducción progresiva de la trabajabilidad conforme se incrementó el porcentaje de sedimento, lo cual es coherente con la mayor finura del material incorporado. Sin embargo, todas las mezclas evaluadas se mantuvieron dentro de rangos aceptables para su colocación en obra, lo que confirma que el uso de sedimentos no impide la correcta ejecución del concreto en estructuras hidráulicas.

En lo que concierne al comportamiento en estado endurecido, los ensayos de resistencia a la compresión demostraron que, si bien la mezcla patrón sin sedimento presentó los mayores valores de resistencia, todas las mezclas con reemplazo parcial de cemento alcanzaron valores que cumplen con la resistencia de diseño  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, especialmente en el caso del reemplazo del 10 % y 20 %, los cuales mostraron un comportamiento estructural favorable a los 28 días de curado. Incluso la mezcla con 30 % de reemplazo presentó valores aceptables para aplicaciones hidráulicas de baja a mediana exigencia estructural.

Cabe destacar que la incorporación del sedimento no generó un deterioro drástico en la resistencia mecánica del concreto, siempre que el reemplazo se mantenga dentro de rangos técnicamente controlados. Esto permite inferir que el sedimento del reservorio del PET sí ejerce una influencia significativa en la resistencia a la compresión, modificando el comportamiento mecánico del concreto, pero manteniéndolo dentro de parámetros estructuralmente aceptables para su aplicación hidráulica.

Adicionalmente, el análisis económico evidenció que la sustitución parcial del cemento Portland por sedimentos permite una reducción del costo unitario del concreto, lo cual refuerza la viabilidad de esta alternativa desde el enfoque financiero, especialmente en obras de mantenimiento de canales y reservorios.

Por tanto, en base al análisis técnico de los resultados experimentales, al cumplimiento de los requisitos normativos y al comportamiento mecánico del concreto evaluado, se concluye que:

La hipótesis general es ACEPTADA, quedando validado que el material cementante proveniente de los sedimentos del Proyecto Especial Tacna influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna.

Asimismo, se valida que la reutilización de sedimentos como material cementante suplementario representa una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable, promoviendo una gestión más eficiente de los residuos de reservorio y una construcción más sostenible en la región Tacna.

## 5.2 Contrastación de Hipótesis Específicas

Como Hipótesis Específica 1, Las propiedades físicas del sedimento extraído de los reservorios, determinadas mediante ensayos de granulometría, humedad, plasticidad y peso específico, presentan características comparables a las requeridas en las normas técnicas, lo que sugiere su potencial de aprovechamiento como material cementante suplementario. Esta hipótesis se relaciona directamente con los ensayos de caracterización física desarrollados en el Capítulo IV, donde se evaluó la granulometría, el contenido de humedad, el peso específico y los límites de plasticidad del sedimento del PET. Los resultados obtenidos evidenciaron que el material presenta una distribución granulométrica fina, contenido de humedad controlable y valores de peso específico compatibles con su uso como material cementante suplementario.

Asimismo, los ensayos de límite líquido y límite plástico permitieron verificar que el sedimento posee un comportamiento adecuado desde el punto de vista de plasticidad, lo cual favorece su integración en la matriz del concreto sin generar efectos adversos en la cohesión de la mezcla. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Pillai et al. (2022) quienes demostraron que los sedimentos, previamente caracterizados y procesados, pueden emplearse como materiales alternativos en la producción de concreto.

Por lo tanto, en función de los resultados obtenidos en los ensayos físicos y su comparación con investigaciones previas, se valida la Hipótesis Específica 1, confirmándose que el sedimento del PET presenta propiedades físicas compatibles con su aprovechamiento como material cementante suplementario.

Como Hipótesis Específica 2, se planteó que el comportamiento del concreto fresco y endurecido se modifica con las adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, mostrando una reducción progresiva del asentamiento y del peso unitario, así como variaciones en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados obtenidos en los ensayos de asentamiento evidenciaron una disminución progresiva de la trabajabilidad conforme aumentó el porcentaje de sedimento incorporado, lo cual se explica por la mayor finura del material y su capacidad de absorción. Sin embargo, todas las mezclas se mantuvieron dentro de rangos técnicamente aceptables para la colocación del concreto en obra.

Asimismo, los ensayos de peso unitario mostraron una ligera reducción respecto al concreto patrón, lo cual es coherente con la sustitución parcial del cemento por un material de menor densidad. En cuanto al comportamiento mecánico, los ensayos de

resistencia a la compresión demostraron que, si bien el concreto patrón alcanzó los mayores valores resistentes, las mezclas con 10 %, 20 % y 30 % de sedimento lograron desarrollar resistencias que cumplen con la resistencia de diseño  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de curado, especialmente en los porcentajes de 10 % y 20 %.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por (Zheng, y otros, 2025) y (Schleiss, Franca, Juez, & De Cesare, 2016) quienes señalan que la incorporación de sedimentos tratados genera variaciones en la trabajabilidad y en el desarrollo de resistencia, sin comprometer el desempeño estructural cuando el reemplazo se mantiene dentro de rangos técnicamente controlados.

En consecuencia, se valida la Hipótesis Específica 2, confirmándose que el comportamiento del concreto sí se ve modificado por la incorporación del sedimento, pero manteniéndose dentro de parámetros aceptables para estructuras hidráulicas.

Como Hipótesis Específica 3, la incorporación del sedimento de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario reduce el costo unitario del concreto en comparación con una mezcla convencional.

El análisis económico desarrollado en el Capítulo IV demuestra que el uso de sedimentos como sustituto parcial del cemento Portland permite una reducción directa en el consumo de uno de los insumos de mayor costo en la producción del concreto, generando un impacto favorable en el costo unitario del material. Este comportamiento se ve reforzado por el hecho de que el sedimento es un recurso local, lo que elimina costos adicionales asociados al transporte y adquisición de materiales externos.

Este resultado coincide con lo indicado por Campos Vieira (2021) quien sostiene que la valorización de sedimentos permite transformar un residuo en un recurso aprovechable, generando beneficios técnicos y económicos. En el caso específico de la presente investigación, se evidencia que la sustitución parcial del cemento por sedimentos del PET constituye una alternativa económicamente viable para obras de mantenimiento y estructuras hidráulicas de la región Tacna.

Por tanto, se valida la Hipótesis Específica 3, confirmándose que el uso del sedimento no solo es técnica y estructuralmente viable, sino también económicamente favorable desde un enfoque práctico y local.

## CONCLUSIONES

La investigación demostró que la influencia del material cementante obtenido de los sedimentos de reservorios fue significativa en la resistencia a la compresión del concreto, lo cual valida la hipótesis general del estudio. Se determinó que el porcentaje óptimo de sustitución es del 10% respecto al peso del cemento. Este reemplazo garantizó el cumplimiento de la resistencia de diseño especificada ( $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>), confirmando así la viabilidad técnica de utilizar este material residual en el concreto destinado a estructuras hidráulicas en la región Tacna.

Los resultados de la caracterización física del sedimento de reservorio establecieron que este material posee las condiciones físicas aptas para ser evaluado como Material Cementante Suplementario (SCM). La alta finura del sedimento, tras el tratamiento, le permite contribuir a la densificación de la matriz del concreto, lo cual se relaciona directamente con el buen desempeño mecánico.

La incorporación del sedimento modificó significativamente las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, confirmando la hipótesis específica. En estado fresco, la mayor finura y capacidad de absorción del sedimento redujeron la trabajabilidad de la mezcla, observándose una disminución del asentamiento de hasta el 29 % con la adición del 30 %. En estado endurecido, la máxima resistencia a la compresión se alcanzó con la adición del 10%, logrando un valor equivalente al 114,6 % de la resistencia de diseño, mientras que las adiciones superiores (20 % y 30 %) redujeron la resistencia en un 9 % y 19 % respectivamente, respecto al concreto patrón.

El uso del sedimento de reservorio como sustituto parcial del cemento en una proporción del 10% es viable técnica y económicamente. El reemplazo no solo garantiza el desempeño estructural adecuado requerido para obras hidráulicas, sino que el aprovechamiento de este material residual promueve la reducción de costos de producción del concreto y fomenta una gestión ambientalmente responsable en la región de Tacna.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda de manera prioritaria que los Investigadores y Laboratorios de Control de Calidad implementen estudios exhaustivos de durabilidad que simulen fielmente las condiciones operativas de las estructuras hidráulicas de la Región Tacna, incluyendo la exposición constante a humedad, ciclos de saturación-secado, y el posible ataque por sulfatos. Este paso es fundamental para confirmar el desempeño a largo plazo y la resistencia a la erosión y agresión química del material cementante alternativo. Asimismo, es crucial establecer un protocolo de caracterización fisicoquímica riguroso para el material alternativo (sedimentos), verificando la uniformidad en parámetros como la finura, composición y reactividad, lo cual es esencial para asegurar que la mezcla de concreto mantenga la resistencia a compresión requerida ( $f'c$ ) de manera consistente en aplicaciones futuras.

Es indispensable continuar con investigaciones enfocadas en optimizar el porcentaje de reemplazo del cemento por el material alternativo. Estas deben estar dirigidas a validar el uso del material alternativo como una solución técnicamente viable y económicamente competitiva para la infraestructura regional.

Se aconseja a los Gobiernos Regionales y Locales y las Empresas Constructoras encargadas de obras hidráulicas en Tacna fomentar el uso de los resultados de este estudio como base para la incorporación y promoción de materiales cementantes alternativos y locales en el diseño de mezclas de concreto para proyectos específicos (canales, represas y reservorios). Esto apoyará la reducción del impacto ambiental. Finalmente, se debe evaluar formalmente la inclusión de esta tecnología de concreto modificado en las especificaciones técnicas y normativas locales de infraestructura hidráulica, siempre y cuando las pruebas de durabilidad confirmen que el material cumple o supera los estándares de rendimiento exigidos para la resistencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, D. A. (1918). Design of concrete mixtures. University of Illinois. <https://ia800204.us.archive.org/35/items/designofconcrete00abrarich/designofconcrete00abrarich.pdf>
- Abril Gil, M., & Ramos Sánchez, A. (2017). Identificación de la variación en la resistencia del concreto debido al origen del agregado grueso [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/56ce5b3b-0e16-4973-8f8a-ae9980bf586e/content>
- Acosta Zuñiga, A., & Aguirre Aguilar, A. (2022). Eficiencia de recubrimientos químicos en la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto para estructuras hidráulicas [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/item/d551a1c5-b39b-4ff5-8316-3feb429c8252>
- American Concrete Institute (ACI). (2001). Guía para la durabilidad del hormigón (ACI 201.2R-01). ACI. <https://es.scribd.com/document/37316534/Guia-para-la-Durabilidad-del-Hormigon-ACI-201-2R-01>
- American Concrete Institute (ACI). (2006). Code requirements for environmental engineering concrete structures and commentary (ACI 350-06). ACI. [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/350-06\\_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/350-06_preview.pdf)
- American Concrete Institute (ACI). (2022, julio). Selecting proportions for normal-density and high-density concrete—Guide (ACI 211.1-22). ACI. [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-22\\_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-22_preview.pdf)
- American Concrete Institute (ACI). (2025, 15 de agosto). ACI 318-25: Building Code Requirements for Structural Concrete. Ingevocon. <https://ingevo.net/aci-318-25-en-espanol-actualizaciones-del-nuevo-codigo-de-diseno-de-hormigon-armado/>
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2020, 14 de julio). Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete (ASTM C143/C143M-20). ASTM International. [https://store.astm.org/c0143\\_c0143m-20.html](https://store.astm.org/c0143_c0143m-20.html)
- American Society for Testing and Materials (ASTM). (2023, 15 de diciembre). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens (ASTM

C39/C39M-21). ASTM International. [https://store.astm.org/c0039\\_c0039m-21.html](https://store.astm.org/c0039_c0039m-21.html)

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2024, 4 de enero). Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate (ASTM C127-15). ASTM International. <https://store.astm.org/c0127-15.html>

American Society for Testing and Materials (ASTM). (2025). Método de prueba estándar para la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregados finos (ASTM C128-22). ASTM International. <https://store.astm.org/c0128-22.html>

Beddaa, H., Ben Fraj, A., & Saannibe Ciryle, A. (2023, 22 de febrero). Reuse of river sediments in pervious concrete: Towards an adaptation of concrete to the circular economy and climate change challenges. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. <https://trid.trb.org/View/2105291>

Buiza Bernaldo, J. (2022). Propiedades físico mecánicas del concreto F'C=210 kg/cm<sup>2</sup> con adición de ceniza de algarroba y ceniza de ichu, Huaraz-2022 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/106116>

Campos Vieira, T. (2021, 5 de agosto). Alternativas para redução de impactos ambientais e reaproveitamento sustentável dos sedimentos dragados no Porto de Santos-SP [Disertación de maestría, Universidade Federal de São Paulo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/61557>

Caso Rojas, G., & Solier Camayo, C. (2024, 16 de julio). Influencia de la ceniza de ichu en las propiedades físico-mecánicas y la durabilidad del concreto en estructuras hidráulicas, Huancayo - Junín, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15066>

Cemento Yura. (s.f.). Agregados para la elaboración de concreto. <https://www.yura.com.pe/blog/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>

Cementos Alión. (2022, 23 de marzo). Resistencia del concreto y más propiedades que debes conocer. <https://alion.com.co/propiedades-del-concreto/>

Coreño Alonso, O., Leal Vaca, J., Ramos Arroyo, Y., Delgadillo Ruiz, E., Zamorategui Molina, A., & Coreño Alonso, J. (2024, 31 de enero). Evaluación del potencial de uso de sedimentos de cuerpos de agua interiores en el Centro de México como materiales de construcción y fuente de elementos de tierras raras. *Acta*

Universitaria, 34.  
 <[https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/4000?>](https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/4000?)

Cruzado, J. C. (2021, 12 de septiembre). Influencia del aditivo SIKA WT-200P en la resistencia a la compresión y permeabilidad de concretos para estructuras hidráulicas, Trujillo 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/11537/31731>

Guevara, M. (2004). Estructuras hidráulicas-Generalidades. Studylib. <https://studylib.es/doc/5458789/estructuras-hidr%C3%A1ulicas.-generalidades-me-guevara>

Huaricancha Cristobal, N., & Ramirez Medrano, G. (2018, 24 de octubre). Influencia de la temperatura ambiente en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en más de 4380 m.s.n.m., Yanacancha - Pasco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/359>

Infinitia. Laboratorio de ingeniería industrial. (2023). Propiedades mecánicas. Infinitia. <<https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/#:~:text=Las%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20de%20un,y%20resistir%20fuerzas%20o%20deformaciones.>>

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2009). Hidrogeología de la cuenca del río Caplina - Región Tacna - [Boletín H 1]. INGEMMET. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/368>

Junak, J., & Junáková, N. (2015, 29 de abril). Beneficial Reuse of Reservoir Sediments in Concrete Production. *Advanced Materials Research*, 1100, 202–206. <https://www.scientific.net/AMR.1100.202>

Omen Bolaños, J. (2021). Influencia de los materiales cementantes suplementarios (SCMs) en concretos con agregados reciclados (RAC) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a8697a2-04e9-4c79-a877-1305ff4de168/content>

Osorio, J. (s.f.). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. 360 en Concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecnica-del-concreto-y-compresion/>

- Pillai, R., Gettu, R., & Santhanam, M. (2020). Uso de materiales cementicios suplementarios (SCM) en sistemas de concreto armado - Beneficios y limitaciones. *Revista Academia*, 10(2). <https://doi.org/10.21041/ra.v10i2.477> [Nota: Se eliminó la referencia duplicada de 2022.]
- Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE. (2021, 4 de noviembre). E.060 Concreto armado. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Sánchez Galán, J., & Coll Morales, F. (2020). Presupuesto. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/presupuesto.html>
- Sanjuán Barbudo, M., & Chinchón Yepes, M. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/entities/publication/ce8cffc8-8c03-4b82-81d6-32c395be35ba>
- Schleiss, A. J., Franca, M. J., Juez, C., & De Cesare, G. (2016, septiembre). Reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6). [https://www.researchgate.net/publication/308389638\\_Reservoir\\_sedimentation](https://www.researchgate.net/publication/308389638_Reservoir_sedimentation)
- Southard, J. B. (2006). Introduction to sediments, variables, and flumes. En *Introducción a los movimientos de fluidos y transporte de sedimentos*. LibreTexts. [https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Sedimentolog%C3%ADa/Libro%3A\\_Introducci%C3%B3n\\_a\\_los\\_Movimientos\\_de\\_Fluidos\\_y\\_Transporte\\_de\\_Sedimentos\\_\(Southard\)/08%3A\\_Sedimentos%2C\\_Variables%2C\\_y\\_Flumes/8.01%3A\\_Introducci%C3%B3n\\_a\\_Sedimentos%2C\\_Varia](https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Sedimentolog%C3%ADa/Libro%3A_Introducci%C3%B3n_a_los_Movimientos_de_Fluidos_y_Transporte_de_Sedimentos_(Southard)/08%3A_Sedimentos%2C_Variables%2C_y_Flumes/8.01%3A_Introducci%C3%B3n_a_Sedimentos%2C_Varia)
- Ulm, F.-J., & Constantinides, G. (2007, enero). The nanogranular nature of C–S–H. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 55(1), 172–192. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022509606001062>
- Vélez, L. M. (2010, 15 de diciembre). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Revistas ITM, Tecnológicas*, 13(1). <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/131>
- Zheng, Y., Xie, Y., Zhang, Y., Wan, C., Miao, L., & Zhang, P. (2025, 18 de septiembre). Valorization of river sediments in sustainable cementitious gel materials: A review of characteristics, activation, and performance. *Materials*, 18(18). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41002529/>

## ANEXOS

## Anexo 1 Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones / Indicadores	Metodología
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Dimensión:</b> Reutilización del sedimento <b>Indicador:</b> Porcentaje de sustitución del cemento por sedimento (10 %, 20 %, 30 %). <b>Dimensión:</b> Caracterización del material sedimentario <b>Indicador:</b> Granulometría Contenido de Humedad Peso Unitario Absorción Limite Liquido / Limite Plástico	<b>Tipo de investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Investigación aplicada.</li></ul> <b>Diseño de investigación:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Experimental.</li></ul> <b>Población:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Todas las probetas cilíndricas de concreto producidas en el laboratorio, correspondientes a las mezclas diseñadas con reemplazo parcial de cemento por sedimentos del Proyecto Especial Tacna</li></ul>
¿Cuál es la influencia del material cementante en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025?	Determinar la influencia del material cementante en la resistencia a la compresión del concreto para estructuras hidráulicas en la región Tacna, 2025.	El material cementante influye significativamente en la resistencia a compresión del concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna - 2025.	Porcentaje de reemplazo de cemento por sedimento		
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Dimensión:</b> Edad del concreto. <b>Indicador:</b> Días de curado del espécimen (7, 14, 28) <b>Dimensión:</b> Valor de resistencia	
¿Cuáles son las propiedades físicas del sedimento extraído de los reservorios del Proyecto	Determinar las propiedades físicas del sedimento proveniente de los reservorios del Proyecto	Las propiedades físicas del sedimento extraído de los reservorios, determinadas mediante ensayos	Resistencia a compresión del concreto		

<p>Especial Tacna, determinadas mediante ensayos de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), y en qué medida estas propiedades evidencian su idoneidad como material cementante suplementario en mezclas de concreto?</p>	<p>Especial Tacna (PET) mediante ensayos de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), límites de plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), con el propósito de evaluar su aptitud como material cementante suplementario en mezclas de concreto.</p>	<p>de granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM D2216), plasticidad (ASTM D4318) y peso específico (ASTM C127/C128), presentan características comparables a las requeridas en las normas técnicas de materiales lo que sugiere su potencial de aprovechamiento.</p>	<p><b>Indicador:</b> Fuerza máxima alcanzada (kg/cm<sup>2</sup>).  <b>Dimensión:</b> Cumplimiento normativo.  <b>Indicador:</b> f'c obtenida  <b>Dimensión:</b> Análisis de costos  <b>Indicador:</b> Variación de Costos</p>	<p>(PET). Esto incluyó todos los especímenes preparados para evaluar la resistencia a compresión a diferentes edades de curado.</p>
<p>¿Cómo se comporta el concreto fresco y endurecido al incorporar adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, evaluado mediante el ensayo de</p>	<p>Evaluar el comportamiento del concreto fresco y endurecido incorporando adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, mediante ensayos de</p>	<p>El comportamiento del concreto fresco y endurecido se modifica con las adiciones del 10 %, 20 % y 30 % de sedimento del PET, mostrando una reducción progresiva del</p>	<p><b>Instrumentos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanza electrónica digital: para el pesado preciso de los materiales.</li> <li>• Aparato de Casagrande</li> <li>• Prensa hidráulica: para el ensayo de resistencia a compresión, conforme a ASTM C39M</li> </ul>


<p>asentamiento (ASTM C143), peso unitario (ASTM C138) y la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días (ASTM C39M), siguiendo los lineamientos del método de diseño de mezclas del ACI 211.1?</p>	<p>asentamiento (slump) según ASTM C143, peso unitario (ASTM C138) y resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado de acuerdo con ASTM C39M, determinando la variación en trabajabilidad y desarrollo resistente.</p>	<p>asentamiento (ASTM C143) y del peso unitario (ASTM C138), así como variaciones en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado (ASTM C39M).</p>
<p>¿De qué manera influye técnica y económicamente la utilización de sedimento de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario para cementos mezclados y los lineamientos de durabilidad aplicables a estructuras</p>	<p>Analizar la viabilidad económica y técnica del uso de sedimentos de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario, mediante una comparación costos unitarios y el desempeño de la resistencia a la compresión del</p>	<p>La incorporación del sedimento de los reservorios del Proyecto Especial Tacna como material cementante suplementario reduce el costo unitario de las bolsas de cemento en comparación con una mezcla convencional.</p>

---

hidráulicas en la región Tacna?	concreto utilizado en estructuras hidráulicas en la región Tacna.
------------------------------------	--

---

## Anexo 2 Informe de Ensayos Validados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos



**UPT**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

*"Sin fines de lucro"*

LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE SUELOS, CONCRETOS Y  
PAVIMENTOS

**INFORME DE ENSAYO** Número de Páginas: 1

**CÓDIGO 060-097-1-2025**

**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN**

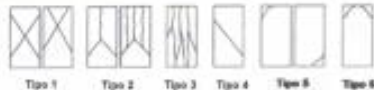
(Norma: ASTM C39/C39M-24 STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS)

Proyecto <sup>(*)</sup>	INFLUENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PARA ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN LA REGIÓN TACNA, 2025				
Ubicación	Tacna				
Cliente <sup>(*)</sup>	MERINO AREVALO, Lucero Milagros Del Carmen y NIETO LOZANO, Federico Italo,				
RUC/DNI <sup>(*)</sup>	70825985 y 71142203	Correo <sup>(*)</sup> :	Federico Nieto <ficonieto23@gmail.com	Teléf. / Celular <sup>(*)</sup> :	952319172
Fecha de ensayo <sup>(*)</sup>	2025-07-31	Hora del ensayo <sup>(*)</sup>	18:30 Hrs.	Fecha de emisión del informe:	2025-11-03
Temperatura ambiente <sup>(*)</sup>	20 °C	Humedad <sup>(*)</sup>	49 %	Ensayo realizado en:	Ambiente del Laboratorio de Ensayo de Concreto.

**1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO <sup>(\*)</sup>**

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	MEDIDA			CARGA MÁXIMA (kgFuerza)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		TIPO DE FRACTURA (Figura 1)
		Vaciado	Rotura		Altura (mm)	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )		MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
1	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	30 125,00	16,717	170,47	Tipo I	
2	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	31 006,00	17,207	175,46	Tipo I	
3	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	29 114,00	16,156	164,75	Tipo I	
4	ESPECIMEN 10%	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	28 160,00	15,627	159,35	Tipo I	
5	ESPECIMEN 20%	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	27 140,00	15,061	153,58	Tipo II	
6	ESPECIMEN 30%	2025-07-24	2025-07-31	07	15,00	176,715	25 799,00	14,371	145,99	Tipo III	

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas



Tipo 1    Tipo 2    Tipo 3    Tipo 4    Tipo 5    Tipo 6

Figura 1. Esquema de patrones típicos de fracturas

**2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS <sup>(\*)</sup>**


Código Asignado por el Cliente	f'c de Diseño	Observación	Código asignado Por el Laboratorio	Fecha de Recepción (**)
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24
ESPECIMEN 10%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24
ESPECIMEN 20%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24
ESPECIMEN 30%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-07-24

**Consideraciones**

- (\*) Datos brindados por el cliente.
- (\*\*) Fecha en la que el cliente indica que realizó su ensayo.
- Las muestras fueron moldeadas y curadas por el cliente en las instalaciones de este laboratorio.
- El ensayo fue realizado por el personal técnico del laboratorio en las instalaciones de este laboratorio y en presencia del cliente.
- El Laboratorio ha verificado que el valor de la Carga Máxima corresponde a la lectura obtenida en la Máquina de Ensayo Uniaxial utilizada para el ensayo.
- Los cálculos y resultados presentados en este informe, fueron proporcionados por el cliente.
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de neopreno como material de obturación.

Esté prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna

- (fin del informe) -



**Mta. María E. Duarte Cizarza**  
JEFA DE LA DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE SUELOS  
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

**CÓDIGO 060-097-2-2025**  
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN**  
 (Norma: ASTM C39/C39M-24 STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS)

<b>Proyecto</b> <sup>(*)</sup>	INFLUENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PARA ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN LA REGIÓN TACNA, 2025		
<b>Ubicación</b>	Tacna		
<b>Cliente</b> <sup>(*)</sup>	MERINO AREVALO, Lucero Milagros Del Carmen y NIETO LOZANO, Federico Italo,		
<b>RUC/DNI</b> <sup>(*)</sup>	70825985 y 71142203	<b>Correo</b> <sup>(*)</sup> : Federico Nieto	<ficonieto23@gmail.com
<b>Fecha de ensayo</b> <sup>(*)</sup> : 2025-08-07	<b>Hora del ensayo</b> <sup>(*)</sup> : 16:45 Hrs.	<b>Fecha de emisión del informe</b> : 2025-11-03	<b>Teléf. / Celular</b> <sup>(*)</sup> : 952319172
<b>Temperatura ambiente</b> <sup>(*)</sup> : 21 °C	<b>Humedad</b> <sup>(*)</sup> : 48 %	<b>Ensayo realizado en:</b>	Ambiente del Laboratorio de Ensayo de Concreto.

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO <sup>(\*)</sup>

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	MEDIDA			CARGA MÁXIMA kg/Fuerza	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		TIPO DE FRACTURA (Figura 1)
		Vaciado	Rotura		Altura (mm)	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )		MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
1	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	34 996,00	19 421	198,04	Tipo I	
2	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	35 274,00	19 575	199,61	Tipo I	
3	ESPECIMEN	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	31 060,00	17 236	175,76	Tipo I	
4	ESPECIMEN 10%	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	30 561,00	16 960	172,94	Tipo I	
5	ESPECIMEN 20%	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	30 154,00	16 734	170,64	Tipo II	
6	ESPECIMEN 30%	2025-07-24	2025-08-07	14	15,00	176,715	28 995,00	16 090	164,08	Tipo III	

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas



Figura 1. Esquema de patrones típicos de fractura

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS <sup>(\*)</sup>

Código Asignado por el Cliente	F <sub>c</sub> ' de Diseño	Observación	Código asignado Por el Laboratorio	Fecha de Recepción <sup>(**)</sup>
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07
ESPECIMEN 10%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07
ESPECIMEN 20%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07
ESPECIMEN 30%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-08-07

**Consideraciones**

- (\*) Datos brindados por el cliente.
- (\*\*) Fecha en la que el cliente indica que realizó su ensayo.
- Las muestras fueron moldeadas y curadas por el cliente en las instalaciones de este laboratorio.
- El ensayo fue realizado por el personal técnico del laboratorio en las instalaciones de este laboratorio y en presencia del cliente.
- El Laboratorio ha verificado que el valor de la Carga Máxima corresponde a la lectura obtenida en la Máquina de Ensayo Uniaxial utilizada para el ensayo.
- Los cálculos y resultados presentados en este informe, fueron proporcionados por el cliente.
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de neopreno como material de obturación.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna

- (fin del informe) -



Micaela E. Duarte Lizarraburo  
 JEFA DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETOS Y PAVIMENTOS

FORMATO: LS-FD-03; VERSIÓN: 02; FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2022

INFORME DE ENSAYO

Número de Páginas: 1

**CÓDIGO 060-097-3-2025**  
**MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS**  
**CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN**  
 (Norma: ASTM C39/C39M-24 STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS)

Proyecto <sup>(*)</sup>	INFLUENCIA DEL MATERIAL CEMENTANTE EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PARA ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS EN LA REGIÓN TACNA, 2025		
Ubicación	Tacna		
Cliente <sup>(*)</sup>	MERINO AREVALO, Lucero Milagros Del Carmen y NIETO LOZANO, Federico Italo.		
RUC/DNI <sup>(*)</sup>	70825985 y 71142203	Correo <sup>(*)</sup> : Federico Nieto* <ficonieto23@gmail.com	Teléf. / Celular <sup>(*)</sup> : 952319172
Fecha de ensayo <sup>(*)</sup> : 2025-05-22	Hora del ensayo <sup>(*)</sup> : 17:10 Hrs.	Fecha de emisión del informe: 2025-11-03	
Temperatura ambiente <sup>(*)</sup> : 22 °C	Humedad <sup>(*)</sup> : 45 %	Ensayo realizado en:	Ambiente del Laboratorio de Ensayo de Concreto.

1. TABLA DE DATOS DEL ENSAYO <sup>(\*)</sup>

N°	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA		EDAD (Días)	MEDIDA			CARGA MÁXIMA kg/Fuerza	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		TIPO DE FRACTURA (Figura 1)
		Vaciado	Rotura		Altura (mm)	Diámetro (mm)	Área (cm <sup>2</sup> )		MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
1	ESPECIMEN	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	44 589,00	24 842	253,32	Tipo I	
2	ESPECIMEN	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	45 261,00	25 117	256,12	Tipo I	
3	ESPECIMEN	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	42 558,00	23 617	240,83	Tipo I	
4	ESPECIMEN 10%	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	41 595,00	23 228	236,86	Tipo I	
5	ESPECIMEN 20%	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	41 229,00	22 880	233,31	Tipo II	
6	ESPECIMEN 30%	2025-04-24	2025-05-22	28	15,00	176,715	37 669,00	20 904	213,16	Tipo III	

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.



Figura 1. Esquema de patrones típicos de fractura

2. DE LA IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS <sup>(\*)</sup>

Código Asignado por el Cliente	Fc' de Diseño	Observación	Código asignado Por el Laboratorio	Fecha de Recepción <sup>(**)</sup>
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22
ESPECIMEN	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22
ESPECIMEN 10%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22
ESPECIMEN 20%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22
ESPECIMEN 30%	210 kg/cm <sup>2</sup>	-	-	2025-05-22

**Consideraciones**

- (\*) Datos brindados por el cliente
- (\*\*) Fecha en la que el cliente indica que realizó su ensayo
- Las muestras fueron moldeadas y curadas por el cliente en las instalaciones de este laboratorio
- El ensayo fue realizado por el personal técnico del laboratorio en las instalaciones de este laboratorio y en presencia del cliente.
- El Laboratorio ha verificado que el valor de la Carga Máxima corresponde a la lectura obtenida en la Máquina de Ensayo Uniaxial utilizada para el ensayo.
- Los cálculos y resultados presentados en este informe, fueron proporcionados por el cliente.
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de neopreno como material de obturación.

Está prohibida la reproducción total o parcial del informe de ensayo sin la autorización por escrito del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna

-(fin del informe) -

  
 Mra. María E. Duarte-Lizaladro  
 JEFE DE LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETOS Y PAVIMENTOS

FORMATO: LS-FD-53; VERSIÓN: 02; FECHA DE EMISIÓN: 28/10/2022

Pág. 1 de 1

**Anexo 3 Cálculo de precios por m3 de cada concreto de prueba**

DATOS	10 %	20 %	30 %
Costo del cemento + sedimento (según porcentaje de reemplazo)	S/	S/	S/
Costo de arena	26,00	26,00	26,00
Costo de piedra	41,25	41,25	41,25
Costo de mano de obra	30,00	30,00	30,00
			S/ 97,25
DATOS BASE			
COSTO DE CEMENTO	S/ 244,00		
COSTO DE SEDIMENTO	S/ 46,90		

FORMULA DE REPLAZO 
$$\text{Costo}_{\text{compuesto}} = (1 - p) \cdot C + p \cdot S$$

p= porcentaje de reemplazo  
C=244,00  
S=46,90

**A) Mezcla 0 % sedimento (normal)**

$$p=0$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} = (1-0) (244) + 0(46,90)$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} \quad \text{S/} \quad 244,00$$

$$\begin{array}{l} \text{COSTO} \\ \text{FINAL} \quad \text{S/} \quad 341,25 \end{array}$$

**B) Mezcla 10 % sedimento**

$$p=0.1$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} = (1-0.1) (244) + 0.1(46,90)$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} \quad \text{S/} \quad 224,29$$

COSTO  
FINAL S/ 321,54

**C) Mezcla 20 % sedimento**

$$p=0,2$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} = (1-0,2)(244) + 0,2(46,90)$$

Costo cemento + sedimento S/  
204,58

COSTO FINAL S/ 301,83

**D) Mezcla 30 % sedimento**

$$p=0,3$$

$$\text{Costo cemento + sedimento} = (1-0,3) (244) + 0,3(46,90)$$

Costo cemento + sedimento S/  
184,87

COSTO FINAL S/ 282,12