UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE DE LA MINA TOQUEPALA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA FABRICACIÓN DE CERCOS TIPO PLACA

TESIS

Presentada por:

Bach. Jorge Anderson Chávez Quispe

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO METALURGISTA

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y Materiales

EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE DE LA MINA TOQUEPALA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA FABRICACIÓN DE CERCOS TIPO PLACA

Trabajo sustentado y aprobada el día 22 de diciembre del 2025, estando integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE : .....
MSc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo

SECRETARIO : .....
Mg. José Orlando Catacora Flores

VOCAL : .....
Dr. Luis Fortunato Caso Palpa

ACCESITARIO: : .....
Dr. Matías Carlos Vivar Colquicocha

Certificado de similitud

Yo, **Luis Fortunato Caso Palpa**, en mi condición de asesor acreditado por Resolución de Facultad No. 9751-2025-FAIN/UNJBG DE 07 DE JULIO DE 2025, de la tesis: **EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE DE LA MINA TOQUEPALA COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO EN LA FABRICACIÓN DE CERCOS TIPO PLACA**, presentado por el bachiller **JORGE ANDERSON CHÁVEZ QUISPE** para optar el **Titulo Profesional de Ingeniero Metalurgista**, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizada a través del software de similitud textual TURNITIN cuenta con el nivel de similitud que es permitido cuyo porcentaje es de **10 %**. Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para la obtención del **TITULO PROFESIONAL**, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional

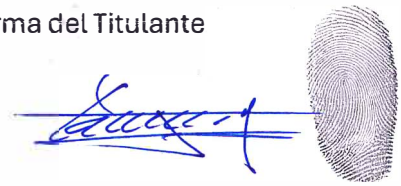
Firmo el presente certificado con fines de continuar con los tramites respectivos para su publicación

Firma del Asesor



Dr. Luis Caso Palpa
DNI: 06452883

Firma del Titulante



Jorge Anderson Chavez Quispe
DNI: 73646910

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo apoyo constante, comprensión y confianza fueron fundamentales durante todo el proceso de formación académica y elaboración de esta tesis. Su acompañamiento ha sido un pilar esencial para alcanzar esta meta.

Asimismo, dedico esta tesis a la memoria de mi abuelo, cuyo ejemplo de integridad, esfuerzo y sabiduría continúa siendo una guía en mi vida. Su recuerdo permanece presente en cada logro y motivación que me impulsa a seguir avanzando.

Agradecimiento

A mi familia, gracias por ser mi pilar y mi mayor fuente de fortaleza. Su cariño, comprensión y apoyo incondicional han sido fundamentales para llegar hasta aquí. Cada palabra de aliento, cada gesto de confianza y cada sacrificio que hicieron por mí han sido motores que me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más exigentes. Esta meta es tan mía como suya, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A mi querido abuelo, cuya ausencia se siente, pero cuya presencia permanece en mi corazón. Aunque ya no esté físicamente conmigo, sus enseñanzas, su ejemplo de vida y su amor continúan guiando mis pasos. Gracias por inculcarme la importancia del esfuerzo, la humildad y la perseverancia. Esta tesis es también un homenaje a su memoria y a todo lo que significó en mi vida. Espero que, desde donde esté, se sienta orgulloso.

Índice

Contenido vi
Índice de tablas x
Índice de figuras xi
Resumen xii
Abstract xiii
Introducción 14
Capítulo I 17
El problema de investigación 17
1.1. Antecedentes 17
1.1.1. Contexto general de la minería en la región Tacna 17
1.1.2. Norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones 18
1.2. Identificación y formulación del problema de investigación 19
1.2.1. Impacto ambiental de los relaves 19
1.2.2. Planteamiento del problema 20
1.3. Justificación e importancia de la investigación 21
1.4. Objetivos 22
1.4.1. Objetivo general 22
1.4.2. Objetivos específicos 23
1.5. Hipótesis 23
1.5.1. Hipótesis general 23
1.5.2. Hipótesis específicas 23
1.6. Variables 24
1.6.1. Identificación de las variables 24
1.6.2. Caracterización de las variables 24
1.6.3. Definición operacional de las variables 25
1.7. Limitaciones de la investigación 26
1.8. Descripción de las características de la investigación 27
Capítulo II 29

Marco teórico 29
2.1. Antecedentes del estudio 29
2.2. Bases teóricas 31
2.2.1. Descripción fisicoquímica de los relaves de Toquepala 31
2.2.2. Cercos tipo placa 31
2.2.3. Resistencia a la Compresión 32
2.2.4. Factores que afectan la resistencia a la compresión: 33
2.2.5. Agregados 33
2.2.6. Cemento 34
2.2.7. Concreto 35
2.2.8. Agua de mezcla 37
2.2.9. Agua de curado 37
2.2.10. Granulometría 38
2.2.11. Diseño de mezcla de concreto 39
2.2.12. Método de prueba de resistencia a la compresión 41
2.2.13. Economía lineal 41
2.2.14. Economía circular 43
2.2.15. Desafíos de implementar prácticas de economía circular y beneficios 45
2.2.16. Diferencia entre economía circular y economía lineal 46
2.2.17. Impactos ambientales 47
2.2.18. Utilización de recursos 48
2.2.19. Implicaciones económicas 48
2.2.20. Revalorización de desechos mineros 49
2.2.21. Construcción sustentable 52
2.3. Definición de términos 53
Capítulo III 56
Marco metodológico 56
3.1. Caracterización del diseño de investigación 56
3.1.1. Tipo y diseño de la investigación 56

3.2. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto 56
3.3. Materiales e instrumentos 58
3.4. Población y muestra 58
3.5. Tratamiento de datos 59
3.5.1. Matriz de pruebas 60
3.5.2. Secuencia de preparación y ensayos de las probetas 61
3.5.2.1. Conformación de probetas 61
3.5.2.2. Curado de probetas 63
3.5.2.3. Ensayos de compresión 64
3.5.2.4. Cálculo de la resistencia 65
Capítulo IV 67
Resultados y discusión 67
4.1. Resultados 67
4.1.1. Variación del diámetro 68
4.1.2. Variación de altura 70
4.1.3. Sección de área calculada 72
4.1.4. Resistencia a la compresión calculada 72
4.1.4.1. Análisis del diseño factorial 77
4.1.4.2. Efecto de las variables sobre la respuesta 78
4.1.4.3. Análisis de varianza 81
4.1.4.4. Análisis de Pareto 82
4.1.4.5. Ecuación de regresión 82
4.1.5. Tipos de fracturas obtenidos 83
4.2. Discusión de resultados 86
4.2.1. Variación del diámetro 86
4.2.2. Variación de altura 86
4.2.3. Sección de área calculada 86
4.2.4. Resistencia a la compresión calculada 87
4.2.5. Análisis del diseño factorial 87

4.2.6. Tipos de fracturas obtenidos 88
Conclusiones 89
Recomendaciones 91
Referencias 93
Anexos 97

Índice de tablas

Tabla 1 *Operacionalización de variables* 25

Tabla 2 *Clasificación según tamaño de los agregados* 34

Tabla 3 *Requisitos Granulométricos del agregado fino* 38

Tabla 4 *Matriz de pruebas* 60

Tabla 5 *Variación de diámetros* 69

Tabla 6 *Variación de alturas* 71

Tabla 7 *Área circular de probetas* 72

Tabla 8 *Resistencia a la compresión – Cemento Yura* 73

Tabla 9 *Resistencia a la compresión – Cemento CBB* 74

Tabla 10 *Resumen de resistencia a la compresión* 75

Tabla 11 *Resultados obtenidos aleatoriamente* 78

Tabla 12 *ANOVA* 81

Tabla 13 *Tipo de fractura obtenido* 83

Índice de figuras

Figura 1 *Cerco tipo placa* 32

Figura 2 *Fraguado de concreto* 36

Figura 3 *Requisitos granulométricos del agregado grueso* 40

Figura 4 *Economía lineal y circular* 45

Figura 5 *Mezcladora de laboratorio* 62

Figura 6 *Tamizaje de relave* 62

Figura 7 *Curado de probetas* 63

Figura 8 *Equipo utilizado para pruebas de compresión* 64

Figura 9 *Insumos requeridos* 68

Figura 10 *Elaboración de probetas* 70

Figura 11 *Resistencia a la compresión - Cemento Yura* 76

Figura 12 *Resistencia a la compresión – Cemento CBB* 77

Figura 13 *Resistencia a la compresión según tipo de cemento* 79

Figura 14 *Efecto del porcentaje de relave* 80

Figura 15 *Diagrama de Pareto* 82

Figura 16 *Patrones de fractura* 84

Figura 17 *Muestras fracturadas* 85

Resumen

La presente investigación evalúa la posibilidad de utilizar relave minero proveniente de las operaciones mineras de Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos perimétricos tipo placa, estos elementos estructurales son utilizados en la delimitación y protección de terrenos. Se realizaron pruebas basados en un diseño experimental basado en bloques aleatorios con diferentes porcentajes de reemplazo (0, 5, 10, 15 y 20 %) y los dos tipos de cemento comerciales disponibles en la ciudad de Tacna, Yura y CBB, analizando la resistencia a la compresión obtenida en cada caso. Los resultados muestran que solo las mezclas con cemento Yura hasta un 10% de sustitución de cemento por relave cumplen con el mínimo requerido por la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones para concreto estructural simple. Porcentajes superiores de sustitución, dan como resultado la reducción de la resistencia a la compresión por debajo del valor indicado por la normativa, de esta manera no son técnicamente viables para usos estructurales. El uso de relave como sustituto parcial del cemento da valor a estos desechos mineros, favoreciendo la economía circular y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, aún es necesario seguir investigando en temas como la durabilidad y el comportamiento a largo plazo del concreto con relave.

Palabras claves: Relave minero, economía circular, concreto, cercos tipo placa, resistencia a la compresión

Abstract

This research evaluates the feasibility of using tailings from Toquepala mining operations as a partial substitute for cement in the production of prefabricated perimeter fences, which are structural elements used for the delimitation and protection of land. Tests were carried out using an experimental design based on randomized blocks with different tailings replacement percentages (0, 5, 10, 15, and 20%) and the two types of commercial cement available in the city of Tacna, Yura and CBB, analyzing the compressive strength obtained in each case.

The results show that only the mixtures with Yura cement, up to 10% cement substitution with tailings, meet the minimum requirements established by Standard E060 of the National Building Regulations for plain structural concrete. Higher substitution percentages result in a reduction in compressive strength below the value specified by the regulation, thus making them technically unfeasible for structural uses.

The use of tailings as a partial substitute for cement adds value to this mining waste, promoting circular economy practices and contributing to environmental sustainability. Is still necessary on aspects such as durability and the long-term behavior of tailings-based concrete.

Keywords: Mine tailing, circular economy, concrete, precast concrete fence panels, compressive strength.

Introducción

La economía circular se ha vuelto una tendencia global para reducir el impacto ambiental de las industrias y mejorar el uso de los recursos. En este contexto, el sector minero afronta serios desafíos en lo que concierne a la gestión de los residuos que genera, entre los que destacan por su volumen y potencial impacto ambiental los relaves mineros. De este modo, la reutilización de relaves como materia prima para elaborar cercos prefabricados tipo placa es una solución innovadora y sostenible para fomentar la economía circular en zonas productoras de cobre como es el caso del departamento de Tacna.

Tacna es un departamento minero productor de cobre gracias a que alberga las operaciones de la minera de capitales mexicanos Southern Perú, la explotación de los recursos minerales genera grandes cantidades de relave que son depositados en la relavera Quebrada Honda, localizada en la zona sur occidental del distrito de Locumba, provincia Jorge Basadre, departamento de Tacna, bajo estrictas normas ambientales.

Ante esta situación, se abre la posibilidad de convertir estos residuos en material constructivo y así disminuir el uso de cemento y los costos de producción de elementos estructurales reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental generado por la acumulación del pasivo ambiental.

Esta investigación propone la posibilidad de sustituir parcialmente el cemento por relave minero en la elaboración de cercos tipo placa y verificar su resistencia y cumplimiento de la normativa estructural actual en el Perú lo que representa una iniciativa para una gestión más sostenible y responsable de los relaves mineros.

Síntesis de la estructura de la investigación:

Capítulo I: Indica los objetivos e hipótesis, las variables, alcances y limitaciones del estudio basados en el planteamiento del problema de investigación y sus respectivas justificaciones previa contextualización de la minería en Tacna.

Capítulo II: Explica los antecedentes y bases teóricas sobre relaves, cercos tipo placa, concreto y economía circular, incluye la definición de los conceptos clave usados en la tesis.

Capítulo III: Describe el tipo y diseño de investigación, los materiales e instrumentos, la población y muestra. Detalla paso a paso la secuencia de preparación, curado y ensayo de las probetas. Muestra cómo se trataron estadísticamente los datos.

Capítulo IV: Contiene las mediciones y tablas de resultados (dimensiones, áreas, resistencias, tipos de fractura), indica el análisis estadístico y la discusión de

resultados de cómo influyen el tipo de cemento y el porcentaje de relave en la respuesta.

Capítulo I

El problema de investigación

1.1. Antecedentes

1.1.1. Contexto general de la minería en la región Tacna

La región de Tacna, ubicada en el sur de Perú, presenta un considerable potencial productivo en el sector minero. Tacna se destaca principalmente por su producción de cobre, un mineral clave en la industria moderna, considerado al igual que el litio, como metal estratégico para el cambio progresivo de matriz energética. Además del cobre, la región cuenta con importantes reservas de oro, molibdeno, hierro, plata, plomo, así como depósitos de elementos no metálicos como azufre, bórax y epsomita de acuerdo con el informe de INGEMMET sobre la geología económica, los recursos minerales, las minas y los proyectos en la región de Tacna (J. Acosta et al., 2011).

El reporte de BCR (n.d.) indica una síntesis de la actividad económica en Tacna, se muestra que la producción minera en la región creció un 15,4 % en comparación con el año anterior, impulsada por un aumento en la extracción de cobre (18,8 %), molibdeno (16,2 %) y plata (19,3 %) debido a una mejor recuperación en flotación. Sin embargo, la producción de oro disminuyó un 38,1 %, afectando el resultado general.

Tacna se posicionó en segundo lugar en la producción de molibdeno, representando el 27,3 % del total, y ocupó el quinto lugar en la producción de cobre, aportando el 9,8 % del total nacional.

La importancia de la actividad minera se ve reflejada en el crecimiento económico de la región Tacna, según indica el instituto de estadística e informática INEI. Tacna presentó al segundo trimestre del 2024 un crecimiento económico de 11.1 % impulsado principalmente por la expansión de la actividad minera del incremento productivo de molibdeno y cobre por la minera Toquepala de Southern Perú Copper Corporation, así como por el incremento en la extracción de los metales preciosos plata y oro por parte de las mineras Southern Perú Copper Corporation y Minsur (Rumbo Minero, 2024).

1.1.2. Norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones

El reglamento nacional de edificaciones (RNE) en su norma E060, capítulo 22, sección 22.2.5 refiere que la resistencia específica mínima del concreto simple medida a los 28 días, no debe ser inferior a 14 MPa para fines estructurales. La resistencia especificada puede ser aplicada para elementos estructurales como los cercos tipo placa conocidos como muros o cercos prefabricados, al respecto de este punto, la misma norma define como concreto estructural a todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple, bajo este argumento los muros prefabricados elaborados con concreto simple deben ser reconocidos como elementos estructurales, ya que han sido concebidos principalmente para cumplir

funciones esenciales de delimitación, seguridad y soporte propio. Son capaces de resistir fuerzas externas como el viento, así como el peso de otras placas sobrepuestas, permitiendo alcanzar la altura necesaria para desempeñarse como cercos perimétricos.

1.2. Identificación y formulación del problema de investigación

1.2.1. Impacto ambiental de los relaves

El proceso productivo del cobre mediante la concentración de minerales sulfurados de cobre involucra la generación de residuos denominados relaves. Posterior a los procesos de chancado y molienda, donde se reduce las rocas a partículas milimétricas, el mineral se mezcla con agua para formar una pulpa, esta es enviada hacia equipos denominados celdas de flotación donde se añaden reactivos químicos diseñados para la captación del mineral valioso formando un concentrado de alta ley. Los residuos sin contenido mineral significativo, es decir sin valor económico, forman el relave. Según sus características fisicoquímicas, el relave debe ser almacenado en forma húmeda o seca en depósitos diseñados conocidos como relaveras teniendo en cuenta la presencia de agua en el residuo, las condiciones climáticas y el entorno del lugar (Rumbo Minero, 2017).

Los relaves mineros, residuos resultantes de la extracción y procesamiento de metales, representan un desafío ambiental significativo debido a su alta

generación, que oscila entre 20 y 25 mil millones de toneladas anuales a nivel mundial. (Acosta, 2021).

Estos residuos no pueden considerarse como contaminantes debido a que son contenidos de manera adecuada por lo que el contacto directo y por filtraciones es bastante mínimo; sin embargo, contienen elementos que a ciertas concentraciones puede considerarse como tóxicos, entre ellos cianuro, arsénico, cobre, cromo, zinc, plomo, etc. elementos relacionados con el tipo de yacimiento explotado. Esta es la razón principal por lo que estos residuos deben contenerse en depósitos de relaves que son diseñados específicamente para asegurar que estos residuos permanezcan aislados de los ecosistemas circundantes, donde además se instala sistemas de monitoreo que permiten controlar los niveles de agua acumulada en el interior de la relavera, así como su captación para su reutilización.

1.2.2. Planteamiento del problema

La búsqueda de soluciones sustentables basado en el concepto de economía circular ha llevado a considerar la fabricación de ladrillos o de elementos estructurales en los que puede usarse como insumo al relave minero, transformando de esta manera a los relaves en materiales útiles aprovechando sus propiedades químicas y su tamaño de partícula fino.

La fabricación de muros prefabricados, técnicamente denominados cercos tipo placa, figura como una alternativa bastante prometedora si se toma en cuenta

que el uso de relave puede representar una alternativa técnica para sustituir parcialmente el cemento en la construcción, en ese contexto, es necesario absolver el siguiente cuestionamiento:

¿Es posible sustituir parcialmente la cantidad de cemento por el relave de la mina Toquepala para la fabricación de cercos tipo placa que cumplan los criterios establecidos por la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

Es necesario realizar la investigación debido a que la posible sustitución parcial de relave por cemento no solo ayudaría a gestionar los relaves mineros de manera sostenible, sino que también puede contribuir al desarrollo de materiales ecosostenibles de calidad, fomentando la economía circular y mitigando el impacto ambiental negativo asociado a los residuos mineros.

La obtención de valores aceptables en los estudios de resistencia a la compresión para la fabricación de cercos perimétricos tipo placas, conocidos también como muros prefabricados puede contribuir a la economía regional a través de la generación de empleo y el impulso de la infraestructura en sectores de la población tacneña con escasos recursos económicos al tratarse de un material que en teoría debe ser más barato al usar una menor cantidad de cemento. Basado en este punto económico, es tentativo proponer la utilización de estos cercos perimétricos en zonas altoandinas de Tacna donde a consecuencia del intenso friaje se tiene pérdidas económicas por muerte de ganado afectando a las poblaciones que

dependen de este recurso para su subsistencia tal como refiere RPP (2022) donde se da a conocer que las consecuencias negativas por el friaje no solo se limitan a problemas de salud, sino que también se genera cuantiosas pérdidas económicas.

También debe considerarse que este estudio representa una oportunidad para el desarrollo sustentable en la creación de una empresa comprometida en la fabricación de elementos estructurales que puede ayudar a minimizar los efectos negativos del impacto ambiental ocasionado por la acumulación del relave minero, asegurando un equilibrio entre el crecimiento económico y la conservación del medio ambiente. En resumen, el potencial productivo en la generación de cercos perimétricos con relave minero es bastante significativo ya que ofrece perspectivas prometedoras para el futuro económico y el desarrollo sostenible de la región Tacna integrando la actividad minera con los sectores de construcción y ganaderos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Determinar el porcentaje de sustitución de cemento por relave de la mina Toquepala para la fabricación de cercos tipo placa según los criterios establecidos en la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis comparativo entre las mezclas que contienen relave y las que contienen únicamente cemento, para evaluar el impacto de la sustitución en la propiedad mecánica de resistencia a la compresión.
- Determinar si la mezcla de relave con los diferentes tipos de cementos comerciales disponibles en la ciudad de Tacna tiene significancia estadística sobre los valores de resistencia a la compresión.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- La sustitución parcial de cemento por relave de la mina Toquepala en la fabricación de cercos tipo placa permitirá obtener un material que cumpla con los criterios establecidos en la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se determinará una mezcla con un porcentaje adecuado de relave de la mina Toquepala el cual presentará una resistencia a la compresión comparable a la mezcla que utiliza únicamente cemento, indicando que la sustitución de cemento por relave tiene un impacto positivo.

- La variación en los tipos de cementos comerciales disponibles en la ciudad de Tacna utilizados en la mezcla con relave de la mina Toquepala tendrá un efecto significativo en los valores de resistencia a la compresión, lo que indica que ciertos tipos de cemento son más adecuados para maximizar el desempeño del material creado.

1.6. Variables

1.6.1. Identificación de las variables

- Variable dependiente (VD):
    a. Resistencia a la compresión
- Variables independientes (VI):
    a. Porcentaje de relave en mezcla
    b. Tipo de cemento comercial

1.6.2. Caracterización de las variables

- Resistencia a la compresión: es la capacidad de un material para soportar cargas o fuerzas sin romperse, este valor es determinado mediante ensayos destructivos aplicando una fuerza axial al material hasta que presenta fallas en su estructura.
- Porcentaje de relave en mezcla: es la cantidad de masa equivalente de material sólido de desecho minero conocido como relave

expresado en términos porcentuales con el fin de reemplazar al cemento utilizado en la obtención de una mezcla adecuada de concreto.

- Tipo de cemento comercial: se refiere a la clasificación de cemento comercial disponible en el mercado tacneño considerando que, aunque todos pertenecen a cemento tipo Portland, se entiende que cada uno tiene características propias como el comportamiento de la mezcla, el grado de hidratación, resistencia final y el precio. En este estudio se evaluará 4 marcas de cemento.

1.6.3. Definición operacional de las variables

La Tabla 1 relaciona la definición conceptual de las variables y la forma en la que estas serán medidas:

Tabla 1

Operacionalización de variables

variable	dimensión	indicador
VD Resistencia a la compresión	Propiedades mecánicas	kg/cm^2
VI Porcentaje de relave en mezcla	Composición de la mezcla	%
Tipo de cemento comercial	Características del material	marca comercial

Nota. Las cuatro marcas de cemento seleccionadas obedecen al mayor consumo presentado en la región Tacna.

1.7. Limitaciones de la investigación

El desarrollo de la presente investigación tiene como limitantes los siguientes aspectos:

- **Acceso y disponibilidad del relave**: La obtención de relave de la mina Toquepala puede estar limitada por restricciones de acceso, costos de transporte o disponibilidad del material. Esto podría dificultar la realización de experimentos para asegurar la validez de los resultados.
- **Características específicas de los agregados empleados**: Los agregados locales, que pueden diferir en composición mineralógica, tamaño, forma y análisis de granulometría en comparación con agregados de otras regiones del país, pueden influir significativamente en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto mezclado con relave. Esto podría resultar en un comportamiento diferente de las mezclas en términos de resistencia a la compresión y otras propiedades, lo que dificultaría la extrapolación de los resultados a otros contextos o regiones con diferentes características de agregados.
- **Limitación relativa al tipo de relave**: La composición y propiedades específicas del relave proveniente de la mina Toquepala son características propias e intrínsecas a su proceso de extracción,

lo que significa que el comportamiento del relave en la mezcla de concreto puede ser único. Aunque existen procesos similares en otras minas, no se puede garantizar que los relaves de otras empresas mineras tengan las mismas propiedades fisicoquímicas, mineralógicas o de reactividad. Esta diferencia puede influir en la resistencia mecánica, durabilidad y otras propiedades del concreto elaborado con el relave de Toquepala, limitando la posibilidad de generalizar los resultados obtenidos a otros tipos de relaves, así como su aplicación en diferentes contextos industriales fuera de la región. Los resultados obtenidos deben ser considerados solo como datos referenciales para otras operaciones mineras debido a las propiedades intrínsecas de cada yacimiento.

1.8. Descripción de las características de la investigación

La investigación presentada en esta tesis se caracteriza por su enfoque cuantitativo, ya que implica la manipulación de variables independientes para determinar su relación con la variable dependiente. Este enfoque permite medir de manera precisa las variables involucradas en la hipótesis planteada.

Se propone un diseño experimental basado en bloques aleatorios, lo que asegura que los resultados obtenidos sean confiables al controlar las variables de confusión y facilitar el análisis de la relación de dependencia entre las variables, ya

sean directas o inversas. Este diseño riguroso permitirá establecer conclusiones válidas sobre el impacto del relave en la mezcla de cemento.

La recolección de datos de las evaluaciones aporta un componente cuantitativo significativo, dado que se pueden medir objetivamente los resultados relacionados con las variables estudiadas. Esta combinación de método, diseño y análisis busca contribuir de forma efectiva al conocimiento en la ciencia de los materiales.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes del estudio

La tesis presentada por Morales (2019) donde evaluó el uso de geo polímeros para promover la inmovilización de relaves de flotación de cobre principalmente para evitar la contaminación de metales pesados presentes en el relave, tuvo como objetivo determinar las propiedades mecánicas óptimas de un geopolímero para la inmovilización de relaves de flotación de cobre. El estudio empleó un diseño de experimentos con enfoque en la metodología de superficie de respuesta para optimizar la composición del geopolímero. Se realizaron diversas pruebas, incluyendo resistencia a la compresión, densidad y TCLP (Procedimiento de lixiviación por características de toxicidad).

El estudio encontró una resistencia a la compresión máxima de 14,08 MPa a 28 días y de 24,60 MPa a 35 días para una mezcla de geopolímero que contenía 55 % de relaves, 37,5 % de ceniza volante y 7,5 % de metacaolín, activada con 10M de NaOH. Los resultados también indicaron reducciones significativas en la lixiviación de metales pesados. Los geopolimeros resultaron ser efectivos para inmovilizar los relaves de flotación de cobre, logrando una resistencia mecánica significativa y reduciendo el potencial de lixiviación de metales pesados.

El estudio sugiere que la presencia de ceniza volante o metacaolín no es crucial para lograr una buena resistencia.

En esa misma línea de investigación, Canahua (2023) desarrolló su tesis titulada "Producción de Elementos de Construcción con Relaves de Quebrada Honda Bajos en Cemento para Mejorar la Calidad de Vida de los Residentes de Pampa Sitana. El objetivo principal fue reutilizar los relaves mineros de la concentradora Toquepala (relaves de Quebrada Honda) para crear viviendas accesibles para los residentes cercanos en Pampa Sitana.

La preparación de las muestras de concreto obedeció al planteamiento de las pruebas experimentales, se evaluó diferentes porcentajes de relaves que sustituyeron al cemento. Se probó la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado del concreto. Los resultados de los análisis fisicoquímicos y mineralógicos de los relaves basados en técnicas de SEM, DRX y FRX encontraron que los relaves se componen principalmente de silicio, aluminio, molibdeno y hierro, con trazas de otros elementos, la fase cristalina principal es el cuarzo. La tesis demuestra con éxito el potencial de utilizar los relaves de Quebrada Honda en la construcción de viviendas utilizando una mezcla de concreto donde es posible reemplazar hasta el 10% de relaves para mantener la resistencia a la compresión del concreto. Más del 10%, la resistencia disminuyó. El análisis de varianza confirmó que el porcentaje de relave afecta significativamente la resistencia del concreto.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción fisicoquímica de los relaves de Toquepala

Morales (2019) indicó que la granulometría del mineral presente en el relave de la mina Toquepala tiene un P80 malla 140, correspondiendo a un tamaño de partícula de 106 um, presenta una gravedad específica de 2,86; en cuanto a las características químicas el mismo autor indica la presencia de tres fases mineralógicas de acuerdo al resultado de la composición mineralógica efectuado mediante difractómetro de rayos X (DRX), se encontró que el dióxido de silicio, comúnmente llamado sílice, es la fase predomínate con un porcentaje aproximado de 61%, mientras que la Muscovita y la clorita presentan un porcentaje de 37 % y 2 % respectivamente.

2.2.2. Cercos tipo placa

Los cercos tipo placa, en su forma prefabricada, son una solución práctica y económica para demarcar y proteger propiedades, además de ofrecer flexibilidad de diseño y funcionalidad, están hechos de secciones modulares que se fabrican en una planta y luego se transportan e instalan en el sitio deseado, el hormigón es el elemento más común con el que se fabrican este tipo de cercos La instalación de las placas no requiere de pegamento para unir las secciones debido a que son paneles modulares que se ensamblan uno sobre otro (PREFAC, 2024).

Figura 1

Cerco tipo placa



Nota. Adaptada *de "Cercos tipo placas",* por PREFAC, 2024, de https://prefac.com.pe/cpt-product/cerco-tipo-placa-prefabricado-concreto/.

2.2.3. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica de los materiales que tienen la capacidad para soportar una carga antes que se rompa. Esta propiedad es un factor clave para el diseño de estructuras y componentes, ya que una estructura con baja compresión puede colapsar por las cargas impuestas. La resistencia a la compresión se suele expresar en mega pascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (PSI). Los materiales con alta resistencia a la compresión; es decir, los que son más resistentes a la rotura bajos cargas son concreto reforzado, acero estructural, madera dura, y piedra (Martos, 2017).

2.2.4. Factores que afectan la resistencia a la compresión:

La resistencia de los materiales a la compresión se ve afectada por varios factores, pero entre los más importantes figuran aquellos que menoran la capacidad del material para soportar una carga antes de romperse (Rivera, 2023):

- **La composición del material:** la resistencia a la compresión es afectado por la proporción de los materiales que lo componen y hace referencia a los elementos, compuestos o mezclas que lo constituyen.
- **La estructura del material:** se refiere a la disposición espacial de los constituyentes a nivel atómico, molecular, microscópico o macroscópico.
- **Tratamiento del material:** la resistencia a la compresión se ve afectada por el tratamiento físico o químico del material; por ejemplo, el acero tratado térmicamente posee una mayor resistencia a la compresión del acero no tratado.

2.2.5. Agregados

Anicama (2010) menciona que los agregados son materiales granulares que son utilizados para proporcionar resistencia y durabilidad a las estructuras. Entre los más comunes tenemos la arena, la grava y los cantos rodados. Los agregados son la fase discontinua del concreto y ocupan aproximadamente el 75% del volumen total del concreto. La función principal de los agregados es brindar resistencia y durabilidad al concreto.

Tabla 2

Clasificación según tamaño de los agregados

Tamaño de la partícula en mm	Denominación corriente	Clasificación
Pasante del tamiz N°200 inferior a 0.002 mm Entre 0.002-0.074 mm	Arcilla Limo	Fracción fina o finos
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200. Es decir, entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N° 4 Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N° 4 y ¾") Entre 19.1 mm y 50.8 mm (3/4" y 2") Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6") Superior a 152.4 mm (6")	 Gravilla Grava Piedra Rajón, piedra bola	Agregado grueso

Nota. Adaptado de *"Clasificación según tamaño de agregados"*, de NTP 400.12, 2011.

Los tipos de agregados se dividen en naturales que son obtenidos por la desintegración natural de rocas, arena, grava o cantos rodados y las artificiales que son obtenidas por procesos industriales; por ejemplo, la trituración de residuos de construcción o escorias. La clasificación por tamaño de los agregados es gruesa con tamaño superior a 4.75 mm, mediana de 2,36 a 4.75 mm y finos con un tamaño inferior de 2.36 mm.

2.2.6. Cemento

El cemento es un material de construcción y se emplea para unir materiales, este se produce a través de un proceso fisicoquímico de calcinación, que es una

mezcla de caliza y arcilla, y se muele a posteriori para obtener un polvo fino. Cuando el cemento tendrá en contacto con el agua, se endurece y se forma un sólido resistente (Chota & Navarro, 2019).

Existen diversos tipos de cemento, entre lo más comerciales tenemos:

- Cemento Portland: es el cemento más ordinario para aplicaciones de construcción, se produce por una mezcla entre caliza y arcilla a elevadas temperaturas.
- Cemento aluminoso: este tipo de cemento se produce a partir de una mezcla de caliza, arcilla y bauxita. Entre sus propiedades es que es resistente al fuego y se endurece más rápido que el cemento Portland y se emplea en construcciones de hornos o chimeneas.
- Cemento blanco: es el resultado de la mezcla de caliza y arcilla blanca. El cemento blanco es usado para acabados estéticos.
- Cemento puzolánico: este cemento es usado en construcciones que requieren una resistencia a la alcalinidad, construcciones que tienen mucho contacto con agua, es el resultado de la mezcla del cemento Portland y puzolana.

2.2.7. Concreto

Frommenwiler (2020) menciona que el concreto fue inventado por los romanos mezclando puzolana y rocas, para construir de sus estructuras. En 1824,

Joseph Aspdin creó el cemento Portland; sin embargo, después de varios análisis de laboratorio recién se pudo masificar su consumo.

El concreto es un material de construcción resultado de una mezcla de cemento, agregados, agua y aditivos. Reacciona con el agua para formar una pasta, que une a los agregados. Es utilizado para obras de construcción como pavimentos, casas, puentes, entre otros.

Figura 2

Fraguado de concreto



Nota. Adaptada *de "Controlando los tiempos de fraguado del concreto",* por GCP, 2021, de www.gcpat.mx/es-la/about/news/blog/controlling-concrete-setting-times.

2.2.8. Agua de mezcla

El agua de mezcla es un componente esencial del concreto, puesto que permite la hidratación del cemento y la formación de una matriz cementante para unirse con los agregados. La cantidad del agua varía de acuerdo con varios factores, entre ellos, el tipo de cemento, el tamaño, la forma de los agregados, la temperatura, entre otros (Chilón, 2019).

Según (Chilón, 2019), el agua de mezcla tiene dos funciones principales:

- **Hidratación del cemento:** La reacción de hidratación es una reacción química exotérmica que ocurre entre el cemento y el agua, produciendo calor, dióxido de carbono y una pasta cementante
- **Manejabilidad:** la manejabilidad se refiere a la capacidad del concreto para ser colocado y acabado sin grietas, ya que el agua facilita a las partículas del agregado se separen y se muevan libremente.

2.2.9. Agua de curado

Es el agua que se aplica en la etapa de fraguado al concreto. La función principal es la perdida de agua por evaporación, lo que facilita que la reacción química de hidratación del cemento continúe, para que concreto alcance su resistencia y durabilidad máxima. Además, reduce la contracción del concreto que aparece a medida que el concreto se seca y evita la aparición de grietas (Chilón, 2019).

2.2.10. Granulometría

Granulometría se define así a la distribución por tamaños a las partículas que constituyen un agregado. Es importante considerar este factor, ya que afecta a las propiedades del concreto, como la resistencia, la manejabilidad y la durabilidad. Estas se dividen en dos tipos:

- **Granulometría del agregado fino:**

  La granulometría del agregado fino es la distribución por tamaños de la arena y estas se separan por un análisis granulométrico por medio de tamices. Los resultados obtenidos se pueden expresar gráficamente en una curca granulométrica, que muestra la distribución por tamaño.

Tabla 3

Requisitos Granulométricos del agregado fino

Tamiz	Grupo C Arena gruesa	Grupo M Arena intermedia	Grupo F Arena fina
9.5 mm (3/8”)	100	100	100
4.75 mm (N° 4)	95 - 100	85 - 100	89-100
2.36 mm (N° 8)	80 - 100	65 - 100	80-100
1.18 mm (N° 16)	50 - 85	45 - 100	70-100
600 µm (N° 30)	25 - 60	25 - 80	55-100
300 µm (N° 50)	10-30	5-48	5-70

Nota. Adaptada de Requisitos granulométricos del agregado fino, NTP 400.037, 2002.

- **Granulometría del agregado grueso:**

  La granulometría del agregado grueso es la distribución de las partículas de las gravas o piedras. El análisis parte de que un excesivo porcentaje de partículas finas provoca un concreto demasiado fluido y un excesivo porcentaje de partículas gruesas provoca un concreto demasiado rígido y difícil de compactar. La Figura 3 indica los limites granulométricos del agregado grueso establecido por la Norma NTP 400.037.

2.2.11. Diseño de mezcla de concreto

MVCS (2019) establece la norma E.060, para la cantidad de cada material que se debe emplear para la elaboración de mezclas de concreto. Estos porcentajes es una guía general y la cantidad real varía de acuerdo del tipo de cemento, tipo de agregados, condiciones ambientales, métodos de colocación, entre otros.

- Cemento entre 15% a 25%
- Agregados gruesos 60% a 75%
- Agregados finos 10% a 20%
- Agua 15% a 25%

Figura 3

Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MAXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota. Adaptada de *Requisitos granulométricos del agregado grueso*, NTP 400.037, 2002.

2.2.12. Método de prueba de resistencia a la compresión

La ASTM-C39 (2020) es una norma que establece parámetros internacionales para encontrar la resistencia a la compresión del concreto, por medio de cargas externas y es usada en los ensayos de laboratorio para determinar distintos valores numéricos, de la resistencia a la compresión, de cualquier material de estudio. La norma establece los siguientes requisitos para probetas de prueba:

- Las probetas deben tener un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm.
- Las probetas deben se deben elaborar en ambientes controlados de humedad y temperatura.
- Las probetas deben curarse durante de 28 días.
- Las probetas se cargan axialmente en una prensa hidráulica hasta que se fracturen.
- La resistencia a la compresión se determina dividiendo a carga máxima aplicada entre el área de la sección transversal de la probeta

2.2.13. Economía lineal

La economía lineal se caracteriza por un modelo sencillo y unidireccional de consumo de recursos y generación de residuos, a menudo resumido como "tomar, hacer, desechar". Este modelo implica extraer recursos naturales, fabricar productos y, en última instancia,

desecharlos después de su uso, lo que genera importantes desafíos ambientales y sociales (Esposito et al., 2018).

Asimismo, (Chennak et al., 2024) añade que una economía lineal es un modelo tradicional de uso de recursos en el que se extraen recursos, se fabrican productos, se utilizan y luego se desechan como residuos. Los impactos ambientales de una economía lineal incluyen el agotamiento de los recursos, la generación de desechos y la degradación ambiental. Por otro lado, una economía circular tiene como objetivo reducir la generación de residuos y minimizar los impactos ambientales promoviendo el uso sostenible de los recursos a través de la reutilización, reparación, reciclaje y recuperación de materiales. A continuación, se muestra un resumen de las principales ideas del autor:

Características clave:

- **Extracción de recursos:** Los recursos naturales se extraen continuamente para satisfacer las demandas de producción.
- **Producción y consumo:** Los productos se fabrican y consumen, a menudo con un enfoque en artículos de un solo uso.
- **Generación de residuos:** Después de su uso, los productos se eliminan, lo que contribuye a grandes cantidades de desechos y degradación ambiental.

Cuestiones de sostenibilidad:

- **Agotamiento de recursos:** La economía lineal supone un suministro interminable de recursos naturales, lo cual es insostenible dada la naturaleza finita de estos recursos.
- **Impacto ambiental:** La eliminación de productos genera desechos y contaminación significativos, lo que afecta los ecosistemas y la salud humana.
- **Desafíos económicos y sociales:** El modelo lineal ejerce presión sobre los sistemas económicos y las comunidades, en particular los que dependen de los recursos naturales.

2.2.14. Economía circular

La economía circular (EC) es un modelo económico orientado a minimizar los residuos y maximizar la reutilización de los recursos. A diferencia de la economía lineal tradicional, que sigue un enfoque de "tomar, hacer, desechar", la economía circular se centra en la creación de sistemas de circuito cerrado en los que los productos, materiales y recursos se reincorporan continuamente al proceso de producción (Ghosh, 2019). El autor refiere los siguientes principios para la EC:

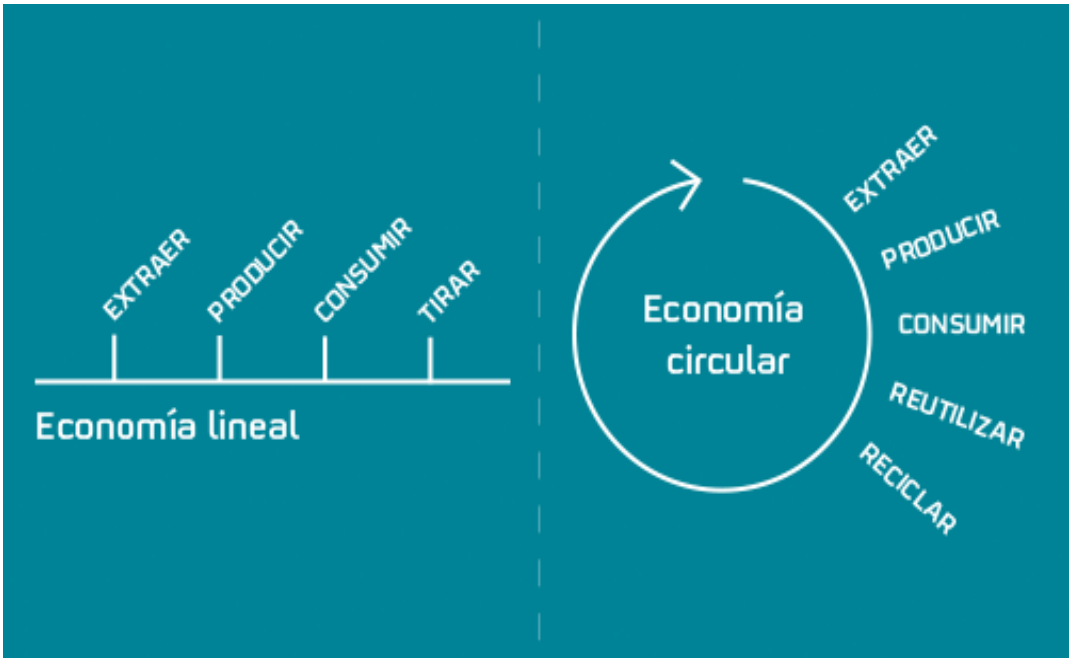
- **Diseñar para eliminar los residuos y la contaminación**: Este principio se centra en diseñar productos y procesos para minimizar los residuos y las emisiones, promoviendo patrones de producción y consumo sostenibles.

- **Mantener los productos y materiales en uso**: Enfatiza la importancia de extender la vida útil de los productos y materiales a través de la reutilización, la remanufactura y el reciclaje, reduciendo así la dependencia de recursos finitos.
- **Regenerar los sistemas naturales**: La economía circular tiene como objetivo regenerar los sistemas naturales minimizando los impactos ambientales y el agotamiento de los recursos mediante la utilización sostenible de los recursos y la reducción de los residuos.
- **Sistemas de circuito cerrado**: Refiere a la implementación de sistemas de circuitos cerrados donde los desechos se reintroducen en el ciclo de producción como nuevos insumos.
- **Consumo sostenible**: Refiere a la educación por parte de los consumidores y promover hábitos de consumo sostenibles. Asimismo, es necesario marcos normativos de apoyo e incentivo.

La economía circular contribuye a la sostenibilidad al optimizar la utilización de recursos, reducir la generación de residuos y minimizar los impactos ambientales. Promueve el diseño duradero de productos, la refabricación, el reciclaje y la reducción de desechos, conservando así el medio ambiente y mitigando los efectos del cambio climático. Además, fomenta el uso eficiente de los recursos, el menor impacto en el entorno natural, el ahorro de costos y la creación de empleo (Aluchna & Rok, 2019).

Figura 4

Economía lineal y circular



Nota. Adaptada de Economía circular, Repsol, 2002, de https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/medio-ambiente/economia-circular/index.cshtml

2.2.15. Desafíos de implementar prácticas de economía circular y beneficios

La implementación de los principios de la economía circular presenta varios desafíos, incluida la necesidad de nuevos modelos de negocio, el impacto disruptivo en las operaciones de la empresa y la necesidad de establecer nuevas prácticas en la producción y el consumo. Además, barreras como los costos adicionales, la colaboración inadecuada y el bajo conocimiento de los mercados de intercambio dificultan la implementación y el escalado de prácticas circulares dentro de industrias como el entorno construido; sin embargo, la transición a un modelo de economía circular ofrece varios beneficios económicos, incluida la eficiencia de los

procesos de producción, las innovaciones, la seguridad energética y la configuración de la seguridad ecológica. También presenta oportunidades de crecimiento económico tanto para las empresas como para los consumidores, al tiempo que contribuye al desarrollo económico sostenible. Además, las prácticas de economía circular pueden generar resultados financieros positivos para las empresas, así como la creación de empleo y la sostenibilidad social (Chen et al., 2021).

La economía circular y la economía lineal difieren en su utilización de recursos, impactos ambientales, implicaciones económicas e implicaciones sociales y políticas (Atstaja et al., 2020).

2.2.16. Diferencia entre economía circular y economía lineal

La economía lineal sigue un modelo de tomar-hacer-desperdiciar, donde se utilizan recursos, se producen bienes y servicios, se consumen y finalmente se desechan como desechos.

Por el contrario, la economía circular enfatiza la regeneración y tiene como objetivo reducir la generación de residuos y minimizar los impactos ambientales promoviendo la reutilización, reparación, reciclaje y recuperación de materiales a lo largo de su ciclo de vida.

La economía circular se centra en mantener los productos y materiales en uso durante el mayor tiempo posible, extraer el máximo valor de ellos y recuperar y regenerar productos y materiales al final de su vida útil.

Gestión de residuos

- **Lineal**: Elimina los residuos, contribuyendo a la degradación del medio ambiente.
- **Circular**: Trata los residuos como un recurso, incorporándolos de nuevo al ciclo productivo.

Impacto económico

- **Lineal**: Se centra en las ganancias económicas a corto plazo, a menudo descuidando los costos ambientales.
- **Circular**: tiene como objetivo el crecimiento económico sostenible equilibrando los beneficios económicos, ambientales y sociales.

Modelos de negocio

- **Lineal**: Modelos tradicionales que priorizan la producción y el consumo.
- **Circular**: Modelos innovadores que incorporan la sostenibilidad, como los sistemas de productos-servicios y las cadenas de suministro cerrado.

2.2.17. Impactos ambientales

- La economía circular tiene como objetivo reducir los impactos ambientales y el agotamiento de los recursos mediante el diseño de productos y servicios

que minimicen los desechos, prolonguen la vida útil de los materiales y regeneren los sistemas naturales.

- Promueve la sostenibilidad al reducir el uso de materias primas, residuos y aumentar la reutilización, el reciclaje y la recuperación de materiales, lo que da como resultado un ciclo cerrado y regenerativo que preserva los recursos naturales y minimiza los impactos ambientales.

2.2.18. Utilización de recursos

- La economía circular optimiza los flujos de materiales y energía, ralentizando el agotamiento de los recursos naturales y reduciendo los impactos ambientales.
- Enfatiza el uso eficiente y equitativo de los recursos para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras, contribuyendo al logro de los objetivos de sostenibilidad.

2.2.19. Implicaciones económicas

- La transición de una economía lineal a una economía circular requiere que las empresas participen activamente en prácticas más sostenibles, reconsideren los modelos de negocio y fomenten la innovación orientada a la sostenibilidad para ofrecer valor al cliente teniendo en cuenta los aspectos medioambientales y sociales.

- La economía circular puede ayudar a los participantes a reducir gastos, estabilizar las cadenas de suministro a largo plazo y reducir los costos operativos y de fabricación, beneficiando tanto a la economía como al medio ambiente.

2.2.20. Revalorización de desechos mineros

La revalorización de los residuos mineros es un tema emergente y se refiere a todos los procesos que transforman los materiales de desecho de un proceso industrial en recursos valiosos con beneficios económicos y ambientales. Este cambio está impulsado por varios factores y enfoques innovadores (Biały, 2022).

- **Recuperación de recursos:** Los desechos mineros contienen elementos valiosos como cobre, cobalto y elementos de tierras raras. El reciclaje y la reutilización de estos materiales pueden abordar los déficits de suministro y reducir los impactos ambientales. La escoria de cobre, por ejemplo, se puede reprocesar para recuperar cobre y cobalto, lo que contribuye a una economía circular (Phiri et al., 2022).
- **Principios de la economía circular:** La integración de los principios de la economía circular en las prácticas mineras promueve la gestión sostenible de los recursos. Esto incluye la valorización de residuos, la recuperación de recursos de los relaves mineros y la reutilización del agua en los procesos mineros.

- **Separación avanzada y biolixiviación:** Se están explorando métodos innovadores como metodologías avanzadas de separación, biolixiviación y procesos hidrometalúrgicos para recuperar materiales preciosos de los desechos mineros.
- **Materiales controlados de baja resistencia (CLSM):** Los desechos mineros se pueden utilizar para crear rellenos fluidos conocidos como CLSM, que consisten en materiales como cemento Portland, cenizas volantes y agregados finos. Este enfoque minimiza el uso de cemento y proporciona beneficios de costos para el desarrollo sostenible (Kumar Singh & Kumar Das, 2020).

  Los materiales controlados de baja resistencia (CLSM) son materiales cementosos fluidos y autocompactantes que se utilizan en diversas aplicaciones de ingeniería civil, como relleno, bases de pavimento, bases estructurales, empotramiento de servicios públicos y relleno de huecos. Están diseñados para tener una resistencia a la compresión de menos de 8,3 MPa, lo que los hace adecuados para diversas aplicaciones (Mneina et al., 2018).

a. Composición y propiedades

CLSM generalmente consiste en cemento Portland, agregados finos, cenizas volantes y agua (Kumar Singh & Kumar Das, 2020). El diseño de la mezcla también puede incorporar varios subproductos industriales, como

polvo de cantera, polvo de fundición, neumáticos de caucho triturados y desechos de arena de aceite tratada (TOSW) para mejorar propiedades específicas y promover la sostenibilidad. Se ha demostrado que la inclusión de TOSW, por ejemplo, aumenta la fluidez y reduce la demanda de agua, mejorando así la resistencia a la compresión (Parhi et al., 2023).

b. Aplicaciones y características clave

CLSM es un material de construcción versátil y sostenible con numerosas aplicaciones en ingeniería civil. Su capacidad para incorporar materiales de desecho y sus propiedades autocompactantes lo convierten en una alternativa atractiva a los materiales de relleno tradicionales. Entre sus aplicaciones, relleno para zanjas y estribos, agujeros en estructuras abandonadas, bases de pavimentos-estructuras, entre otros (Puppala et al., 2007).

Bertola et al., (2013) refiere que CLSM presenta las siguientes características físicas:

- **Fluidez**: CLSM es altamente fluido y autonivelante, lo que le permite rellenar huecos y zanjas sin necesidad de compactación.
- **Resistencia**: La resistencia a la compresión de CLSM suele ser baja, lo que facilita la excavación futura si es necesario.

- **Durabilidad**: CLSM exhibe una buena durabilidad, aunque su ganancia de resistencia a largo plazo a veces puede plantear desafíos para futuras eliminaciones.
- **Impacto ambiental**: El uso de subproductos industriales en CLSM puede mitigar los problemas ambientales mediante el reciclaje de materiales de desecho.

2.2.21. Construcción sustentable

Abdul et al., (2013) refiere que la construcción sostenible es un campo en evolución que integra prácticas ambientalmente responsables en los proyectos de construcción para minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y promover beneficios económicos y sociales. Estos son los aspectos y prácticas claves asociados con la construcción sostenible:

Principios clave

- **Responsabilidad ambiental:** La construcción sostenible tiene como objetivo reducir el consumo de recursos, minimizar los desechos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto incluye el uso de materiales reciclados, sistemas de eficiencia energética y principios de diseño sostenible.
- **Viabilidad económica:** La implementación de prácticas sostenibles puede generar ahorros de costos a largo plazo a través de la reducción de costos operativos y gastos de mantenimiento. Los sistemas

energéticamente eficientes y los materiales sostenibles pueden aumentar el valor de las propiedades y atraer a inquilinos que priorizan la sostenibilidad.

- **Beneficios sociales:** La construcción sostenible promueve la salud y el bienestar de los ocupantes del edificio al mejorar la calidad del aire interior, el confort térmico y el confort acústico. Esto puede conducir a una mayor productividad y una reducción del ausentismo.

2.3. Definición de términos

- Relave minero: Material sin valor económico considerado como desecho de los procesos de concentración de minerales, sobre todo de minerales sulfurados de cobre, zinc, plomo, etc. Está conformado por partículas extremadamente pequeñas en el orden de las micras producto de la molienda aplicada, así mismo, contiene sustancias químicas utilizadas en las etapas de flotación y precipitación, esta es la razón por lo que deben ser depositados en lugares especiales denominadas relaveras para prevenir daños al ambiente.
- Relavera: Estanque diseñado para almacenar de forma controlada relaves mineros y así aislarlos del medioambiente circundante, previniendo filtraciones y el contacto con el entorno.
- Economía circular: Es un modelo productivo que implica que los materiales y los desechos se transformen en nuevas materias primas para

ser utilizadas en nuevos ciclos productivos, generando sostenibilidad y disminuyendo el impacto ambiental.

- Cercos tipo placa: También conocidos como muros prefabricados son elementos estructurales de concreto simple o modificado, utilizados para cerramientos, seguridad y soporte en infraestructuras perimétricas. Construidos en módulos y resistentes a fuerzas externas como viento y cargas sobrepuestas.
- Resistencia a la compresión: Característica mecánica de un material que indica la capacidad de resistir cargas axiales sin fracturarse; determinada en ensayos destructivos aplicando cargas hasta la falla.
- Norma E060 del RNE: Norma técnica del Reglamento Nacional de Edificaciones que define los criterios mínimos de resistencia y especificaciones técnicas para elementos estructurales como el concreto y cercos tipo placa.
- Concreto estructural Simple: Material constructivo conformado por cemento, agregados y agua; de uso estructural y expuesto a requisitos de resistencia especificados en la norma E060.
- ASTM C39 / NTP 339.034: Normas internacionales y nacionales, EE. UU. y Perú respectivamente, en las que se especifican los procedimientos y criterios para determinar la resistencia a la compresión del concreto. También indican las pautas para la preparación de

probetas, la velocidad de la carga aplicada y la verificación de resultados.

- Diseño en bloques al azar: Técnica experimental usado para ordenar en bloques homogéneos las pruebas y mediciones, permite manipular y controlar las variables para obtener resultados confiables en estudios comparativos de mezclas, en esta tesis se utiliza esta técnica estadística para estudiar mezclas de concreto con distintos porcentajes de sustitución de relave por cemento con diferentes marcas.
- SEM: Técnica de microscopía electrónica de barrido, la cual usa electrones para generar imágenes de alta resolución de la microestructura y características internas de los materiales; en esta tesis para visualizar la estructura morfológica del concreto con relave.

Capítulo III

Marco metodológico

3.1. Caracterización del diseño de investigación

3.1.1. Tipo y diseño de la investigación

La manipulación de las variables independientes para determinar la relación que tienen con la variable dependiente confiere a la presente tesis características propias de una investigación de corte cuantitativa.

Se utilizó un diseño experimental basado en bloques aleatorios, el resultado de las evaluaciones establece que la relación de dependencia es directa con el tipo de cemento e inversa con el porcentaje de relave sobre la variable de respuesta.

La recolección de datos de las evaluaciones proporciona un enfoque cuantitativo al permitir la medición de las variables presentes en la hipótesis. Además, para que una investigación sea considerada creíble y aceptada, es esencial aplicar procedimientos estandarizados en la comunidad científica, en este caso específico, el diseño factorial actúa como la herramienta estadística que respalda este requisito.

3.2. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

Se desarrolló las siguientes actividades de manera secuenciada en la presente investigación:

- Indagación y búsqueda del estado del arte a fin de encontrar trabajos similares.
- Presentación y aprobación del plan de tesis
- Adquisición de los insumos necesarios como los tipos de cemento, agregados y el relave acondicionado para la preparación de las mezclas de concreto.
- Recolección de datos: mediante el diseño experimental planteado las probetas preparadas fueron ensayadas en el laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería de la UNJBG.
- Preparación de datos: los datos obtenidos en las evaluaciones fueron digitalizados para ser analizadas mediante el software estadístico MiniTab versión 2019.
- Análisis de datos: Los resultados obtenidos a partir del software estadístico mencionado permitieron medir el efecto obtenido por el uso del relave en la mezcla de concreto.
- Interpretación y presentación de resultados: El análisis obtenido permitió hacer las inferencias necesarias para determinar y establecer si se cumplen los objetivos planteados.

3.3. Materiales e instrumentos

Los instrumentos y equipos utilizados permitieron hacer las mediciones y los experimentos permitiendo hacer las interpretaciones a partir de los resultados obtenidos son:

- Prensa hidráulica
- Probetas de concreto
- Elementos componentes del concreto, cemento, agua, arena fina y gruesa.
- Herramientas en general para la preparación del concreto, palas, baldes, balanza, mezclador
- Laptop con software estadístico Minitab y procesador de texto.

3.4. Población y muestra

Se establece como población al universo que conforma el material de relave que es almacenado en la relavera Quebrada Honda perteneciente a la minera encargada de procesar el mineral de la mina Toquepala. La muestra de relave fue cedida por el departamento de pruebas metalúrgicas de la escuela Profesional de Metalurgia, proviene de los relaves generados en pruebas de flotación en el mineral de la mina Toquepala. Por lo expuesto, el tipo de muestreo aplicado es no probabilístico, en ese sentido el tamaño de muestra no puede ser estimado bajo un argumento de aleatoriedad, si no que, por el contrario, depende de la cantidad facilitada por la ESME UNJBG, siendo en este caso 4 kg.

En cuanto a los tipos de cemento, se utilizó dos marcas existentes en el mercado comercial de Tacna, siendo cemento Yura y cemento CBB las marcas usadas. De acuerdo con el estudio realizado por INDECOPI "*Reporte sobre el mercado de adquisición de cemento mediante procesos de contratación pública"* (Eloy et al., 2022), en el departamento de Tacna la mayor demanda de cemento es cubierta por la marca Yura, con el propósito de contrastar los resultados obtenidos con el uso de cemento Yura, en este trabajo de tesis se consideró utilizar cemento de procedencia chilena de la marca CBB principalmente por la poca o nula oferta de otro tipo de marcas nacionales en el mercado de nuestra ciudad de Tacna. La preparación y acondicionamiento de los insumos, así como los ensayos de compresión se llevaron a cabo en el Laboratorio IngeServicios SAC, ciudad de Tacna. La elección de este laboratorio se justifica porque cuenta con certificación y acreditación vigente otorgada por el INACAL para ejecutar ensayos de resistencia a la compresión de concreto. Si bien el laboratorio de la Escuela de Metalurgia de la UNJBG (ESME UNJBG) dispone de una prensa para ensayos de probetas cilíndricas, dicho equipo carece de la certificación INACAL.

3.5. Tratamiento de datos

Definido las variables tanto en sus dimensiones y unidades, se usó la siguiente matriz de pruebas basado en la experimentación mediante bloques aleatorios con cinco niveles para la variable porcentaje de relave y dos niveles para la variable tipo de cemento, esto involucró la realización de 30 evaluaciones debido

a que se realizó por triplicado cada evaluación, esto de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM C39 que refiere a la evaluación debe realizarse por triplicado cuando las dimensiones de probeta son cilindros con diámetro de 100 mm y altura de 200 mm (LanammeUCR, 2023). La evaluación es por triplicado con el fin de obtener una resistencia promedio representativa y cumplir con los requisitos dimensionales que garantizan la validez del ensayo, lo mencionado es resumido en la Tabla 4.

3.5.1. Matriz de pruebas

Dada la naturaleza del tipo de diseño experimental DOE escogido, la combinación de las dos variables, tipo de cemento y porcentaje de relave, dio como resultado en la evaluación de 30 probetas, la Tabla 4 indica la interacción de las variables mencionadas y el total de probetas necesarias.

Tabla 4

Matriz de pruebas

	% DE RELAVE				
TIPO DE CEMENTO	0	5	10	15	20
A	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
B	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX

Nota. Cemento A= Marca Yura; Cemento B= Marca CBB

3.5.2. Secuencia de preparación y ensayos de las probetas

El método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión está determinado por la norma ASTM C39, esta norma específica la secuencia de los pasos para la evaluación de las probetas de concreto moldeado en el laboratorio o campo.

3.5.2.1. Conformación de probetas

Se prepararon 30 probetas de concreto empleando probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, moldeadas con cemento Portland tipo Yura y CBB, los datos de Tabla 4 indican los porcentajes de reemplazo de relave por cemento: 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.

Cada lote se elaboró con relave seco previamente tamizado a malla 100% -75 µm (Figura 6**),** agua potable de la ciudad de Tacna y un diseño de mezcla que mantuvo constante la relación agua/cemento a 0,50. A fin de garantizar la homogeneidad, la dosificación se realizó en una mezcladora durante 3 min, seguida de 3 min de reposo y 2 min de mezclado final, conforme a la secuencia indicada por ASTM C192 para mezclas de laboratorio.

Figura 5

Mezcladora de laboratorio



Nota. Equipo utilizado en la mezcla de los componentes de las probetas propiedad de laboratorio IngeServicios SAC (Tacna).

Figura 6

Tamizaje de relave



Nota. Equipo Ro-Tap perteneciente a la ESME-UNJBG utilizado para uniformizar el relave a 100% -75 micras (malla -200).

3.5.2.2. Curado de probetas

A fin de evitar la evaporación de las probetas moldeadas, estas se cubrieron con plástico y se almacenaron durante 24 horas en un ambiente acondicionado que los cubría del contacto con el exterior. Transcurrido ese lapso, se desmoldearon y se trasladaron a la sala de curado húmedo del Laboratorio IngeServicios SAC (Tacna), donde permanecieron 28 días a temperatura ambiente. Al culminar el período de curado de 28 días, se retiraron las probetas del almacenaje húmedo y se procedieron a ensayarlas según el orden en que el fueron colocadas en la solución de curado.

Figura 7

Curado de probetas



Nota. Probetas sumergidas durante el periodo de curado de 28 días bajo condiciones controlables.

3.5.2.3. Ensayos de compresión

Se colocó cada una de las probetas sobre la platina o base de la máquina de compresión (Figura 8), cada uno de los especímenes fueron centrados y alineados al centro del eje de empuje. Se verificó que el indicador de carga estuviera en cero antes de iniciar el ensayo.

Figura 8

Equipo utilizado para pruebas de compresión



Nota. Equipo utilizado en el test de rotura por compresión de las probetas de propiedad de laboratorio IngeServicios SAC (Tacna).

Una vez que las probetas fueron posicionadas correctamente, se aplicó la carga de compresión axial de manera continua a una velocidad constante de 0,25 ± 0,05 MPa/s hasta alcanzar el punto rotura o punto de falla. El criterio de aplicación de velocidad está regulado por la norma NTP 339.034:2021, es necesario que la velocidad sea constante y se mantenga dentro del rango estipulado para garantizar resultados confiables y repetibles. Se registró la carga máxima alcanzada durante el ensayo y se documentó el tipo de falla observado conforme a los patrones establecidos en la norma.

Los resultados de la resistencia a la compresión, así como los patrones de fractura obtenidas pueden verificarse en el informe de cada una de las pruebas anexadas en la parte final de este trabajo, en los informes también se hace referencia a las características de cada probeta, fecha de realización de ensayos, así como las observaciones entregadas por el laboratorio donde se realizaron las pruebas.

3.5.2.4. Cálculo de la resistencia

Para calcular la resistencia a la compresión, es necesario dividir el valor registrado en el punto de falla, es decir la carga máxima aplicada en cada uno los ensayos sobre el área transversal de cada probeta. Este cálculo está indicado en la norma NTP 339.034:2021, los resultados se expresan MPa redondeado a un decimal. Finalmente, se lograron tres mediciones por cada condición de evaluación (de acuerdo con la Tabla 4), lo que posibilitó la comparación del impacto de cada

porcentaje de relave y de cada clase de cemento en la resistencia media a los 28 días.

Capítulo IV

Resultados y discusión

4.1. Resultados

En el transcurso del segundo semestre del presente año 2025, el Laboratorio IngeServicios SAC, ubicado en la ciudad de Tacna, recibió por parte del autor del presente trabajo, Jorge Anderson Chávez Quispe, los insumos necesarios a fin de realizar ensayos de compresión a probetas básicamente con diferentes proporciones de cemento y relave principalmente por que dicha institución cuenta con la acreditación LE-218 otorgada por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), el máximo organismo de acreditación del Perú, esto permite que los resultados presentados en los siguientes apartados sean confiables.

Con la intención de identificar correctamente la pertenencia del tipo de cemento en cada prueba, se utilizó los siguientes términos para la codificación de las probetas, así como en los resultados generados:

- C1: refiere al cemento Yura
- C2: refiere al cemento CBB
- %R: refiere al porcentaje de relave reemplazante de cemento

Figura 9

Insumos requeridos



Nota. Material entregado: dos tipos de cemento, agregados de arena fina y gruesa y relave previamente tamizado.

La constancia física de los resultados obtenidos que serán materia de análisis, son referenciados en la parte correspondiente a los anexos del presente trabajo, es importante señalar que cada una de las constancias tiene el nombre, sello y firma de un profesional colegiado representante del laboratorio IngeServicios S.A.C.

4.1.1. Variación del diámetro

La Tabla 5 presenta las mediciones efectuadas a cada uno de los diámetros de las probetas y la variación con respecto a lo que indica lo norma, es decir 100 mm.

Tabla 5

Variación de diámetros

Característica	Código de probeta	Diámetro	Variación
		mm	%
C1 + 0 % R	2025-562-E01	100,52	0,52
	2025-562-E02	101,38	1,38
	2025-562-E03	101,19	1,19
C1 + 5 % R	2025-562-E04	100,32	0,32
	2025-562-E05	100,66	0,66
	2025-562-E06	101,21	1,21
C1 + 10 % R	2025-566-E01	100,7	0,70
	2025-566-E02	101,27	1,27
	2025-566-E03	101,02	1,02
C1 + 15 % R	2025-566-E04	100,96	0,96
	2025-566-E05	100,29	0,29
	2025-566-E06	100,28	0,28
C1 + 20 % R	2025-569-E01	100,57	0,57
	2025-569-E02	101,15	1,15
	2025-569-E03	101,2	1,20
C2 + 0 % R	2025-582-E01	101,32	1,32
	2025-582-E02	100,82	0,82
	2025-582-E03	100,76	0,76
C2 + 5 % R	2025-572-E07	101,15	1,15
	2025-572-E08	99,72	0,28
	2025-572-E09	98,98	1,02
C2 + 10 % R	2025-572-E10	99,12	0,88
	2025-572-E11	99,8	0,20
	2025-572-E12	99,36	0,64
C2 + 15 % R	2025-572-E01	101,37	1,37
	2025-572-E02	100,75	0,75
	2025-572-E03	101,16	1,16
C2 + 20 % R	2025-572-E04	100,72	0,72
	2025-572-E05	100,29	0,29
	2025-572-E06	99,52	0,48

Nota. Todas las mediciones presentan valores inferiores a 2 %.

El porcentaje indicado en la última columna puede ser atribuido a condiciones de humedad y temperatura, es decir por condiciones climatológicos que escapan a cualquier control efectuado en cada una de las probetas, en cuanto al tiempo de fraguado, las probetas fueron desmontadas después de 24 horas. Para considerarse como válida una probeta, la altura no debe exceder 2 % del valor nominal.

Figura 10

Elaboración de probetas



Nota. Las probetas fueron elaboradas bajo el mismo procedimiento en diferentes momentos por lo que las condiciones climatológicas podrían inferir en las dimensiones finales.

4.1.2. Variación de altura

La norma indica una relación altura sobre diámetro (H/D) entre 1,8 y 2,2 para considerar como válida a una probeta.

Tabla 6

Variación de alturas

Característica	Código de probeta	Altura	Relación H/D
		mm	
C1 + 0 % R	2025-562-E01	204,26	2,03
	2025-562-E02	203,81	2,01
	2025-562-E03	203,83	2,01
C1 + 5 % R	2025-562-E04	203,62	2,03
	2025-562-E05	203,53	2,02
	2025-562-E06	203,34	2,01
C1 + 10 % R	2025-566-E01	204,27	2,03
	2025-566-E02	204,08	2,02
	2025-566-E03	203,17	2,01
C1 + 15 % R	2025-566-E04	203,13	2,01
	2025-566-E05	203,79	2,03
	2025-566-E06	203,84	2,03
C1 + 20 % R	2025-569-E01	203,95	2,03
	2025-569-E02	203,73	2,01
	2025-569-E03	203,37	2,01
C2 + 0 % R	2025-582-E01	204,02	2,01
	2025-582-E02	204,19	2,03
	2025-582-E03	203,96	2,02
C2 + 5 % R	2025-572-E07	200,21	1,98
	2025-572-E08	202,51	2,03
	2025-572-E09	201,38	2,03
C2 + 10 % R	2025-572-E10	199,6	2,01
	2025-572-E11	200,93	2,01
	2025-572-E12	199,41	2,01
C2 + 15 % R	2025-572-E01	204,15	2,01
	2025-572-E02	203,94	2,02
	2025-572-E03	204,1	2,02
C2 + 20 % R	2025-572-E04	204,11	2,03
	2025-572-E05	204,74	2,04
	2025-572-E06	204,1	2,05

Nota. Todas las relaciones H/D presentan valores dentro del rango permitido.

4.1.3. Sección de área calculada

Los datos de las tablas anteriores permiten calcular la sección circular debido a que las probetas tienen forma de cilindro. LaTabla 7 indica el cálculo por triplicado para cada condición. Los datos promedian un valor de 7946.19 mm y una desviación estándar de 109.11 mm, indicando un coeficiente de variación de 1,37.

Tabla 7

Área circular de probetas

Característica	**Área**		
	mm²	mm²	mm²
C1 + 0 % R	7935,64	8072,25	8041,22
C1 + 5 % R	7957,21	8045,20	7903,54
C1 + 10 % R	7963,53	8054,74	8014,23
C1 + 15 % R	8005,50	7899,60	7897,24
C1 + 20 % R	7943,77	8035,66	8042,81
C2 + 0 % R	8061,90	7982,52	7973,82
C2 + 5 % R	8035,66	7809,28	7694,58
C2 + 10 % R	7716,36	7821,81	7752,99
C2 + 15 % R	8070,65	7972,23	8037,25
C2 + 20 % R	7966,70	7898,81	7778,76

Nota. Los valores indicados fueron tomados de los resultados entregados por IngeServicios. S.A.C.

4.1.4. Resistencia a la compresión calculada

La Tabla 8 indica los resultados calculados de la resistencia a la compresión obtenidos de la aplicación de la carga máxima a las probetas elaboradas utilizando cemento Yura, así como el tipo de fractura obtenido en cada uno de los resultados.

Tabla 8

Resistencia a la compresión – Cemento Yura

Característica	Código de probeta	Carga máxima	Resistencia	Tipo de Fractura
		kN	MPa	
C1 + 0 % R	2025-562-E01	141,9	17,9	Tipo 5
	2025-562-E02	140,5	17,4	Tipo 2
	2025-562-E03	141,5	17,6	Tipo 5
C1 + 5 % R	2025-562-E04	121,2	15,3	Tipo 2
	2025-562-E05	107,0	13,4	Tipo 6
	2025-562-E06	123,3	15,3	Tipo 5
C1 + 10 % R	2025-566-E01	91,9	11,5	Tipo 2
	2025-566-E02	115,6	14,4	Tipo 2
	2025-566-E03	83,1	10,4	Tipo 2
C1 + 15 % R	2025-566-E04	89,9	11,2	Tipo 2
	2025-566-E05	85,5	10,8	Tipo 2
	2025-566-E06	91,3	11,6	Tipo 2
C1 + 20 % R	2025-569-E01	82,7	10,4	Tipo 2
	2025-569-E02	87,1	10,8	Tipo 2
	2025-569-E03	80,7	10,0	Tipo 2

Nota. Los valores indicados fueron tomados de los resultados entregados por IngeServicios. S.A.C.

Tabla 9

Resistencia a la compresión – Cemento CBB

Característica	Código de probeta	Carga máxima	Resistencia	Tipo de Fractura
		kN	MPa	
C2 + 0 % R	2025-582-E01	103,6	12,9	Tipo 2
	2025-582-E02	108,7	13,6	Tipo 2
	2025-582-E03	96,8	12,1	Tipo 6
C2 + 5 % R	2025-572-E07	65,8	8,2	Tipo 2
	2025-572-E08	88,8	11,4	Tipo 2
	2025-572-E09	87,3	11,3	Tipo 2
C2 + 10 % R	2025-572-E10	89,8	11,6	Tipo 2
	2025-572-E11	88,9	11,4	Tipo 2
	2025-572-E12	84,3	10,9	Tipo 2
C2 + 15 % R	2025-572-E01	62,2	7,7	Tipo 2
	2025-572-E02	77,1	9,7	Tipo 2
	2025-572-E03	76,7	9,5	Tipo 2
C2 + 20 % R	2025-572-E04	56,9	7,1	Tipo 2
	2025-572-E05	64,5	8,2	Tipo 2
	2025-572-E06	64,2	8,3	Tipo 2

Nota. Los valores indicados fueron tomados de los resultados entregados por IngeServicios. S.A.C.

La Tabla 9 indica los resultados calculados de la resistencia a la compresión obtenidos de la aplicación de la carga máxima a las probetas elaboradas utilizando el otro tipo de cemento CBB de procedencia chilena, también se indica el tipo de fractura obtenido en cada uno de los resultados.

A manera de resumir los resultados indicados en las tablas anteriores, la Tabla 10 muestra el promedio obtenido, así como la resistencia máxima obtenida para cada tipo de cemento con los porcentajes respectivos de relave.

Tabla 10

Resumen de resistencia a la compresión

Tipo de Cemento	Porcentaje de relave	Resistencia promedio	Resistencia máxima
	%	MPa	MPa
Yura	0	17,633	17,9
	5	14,667	15,3
	10	12,100	14,4
	15	11,200	11,6
	20	10,400	10,8
CBB	0	12,867	13,6
	5	10,300	11,4
	10	11,300	11,6
	15	8,967	9,7
	20	7,867	8,3

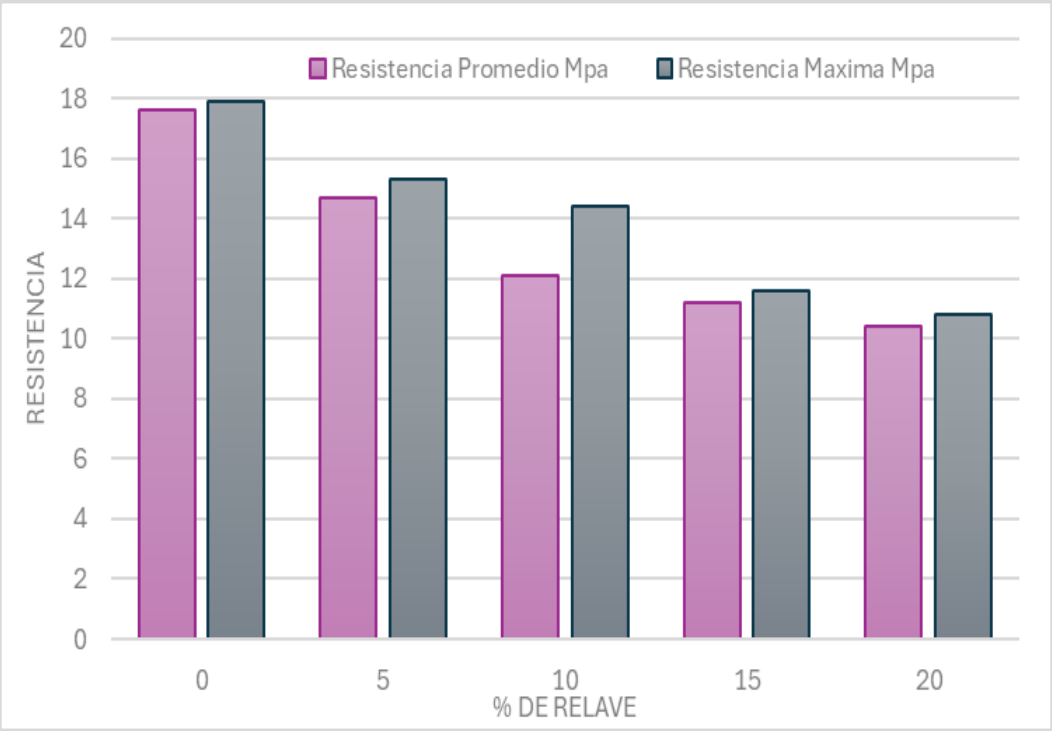
Nota. Valores obtenidos del informe de resultados de resistencia de entregado por IngeServicios. S.A.C.

La Tabla 10 indica que las probetas elaboradas con el cemento Yura, presentan valores más altos de resistencia a la compresión, se obtuvo un promedio de 17,633 MPa sin el componente de relave para el cemento Yura, mientras que para el cemento CBB se alcanzó un promedio de 12,687 MPa; así mismo, se obtuvo valores de resistencia más altos con el uso de cemento Yura en todos los porcentajes de relave comparados con los valores obtenidos con el otro tipo de cemento.

Lo indicado en la Tabla 10 es representado de manera gráfica en las siguientes figuras de barras:

Figura 11

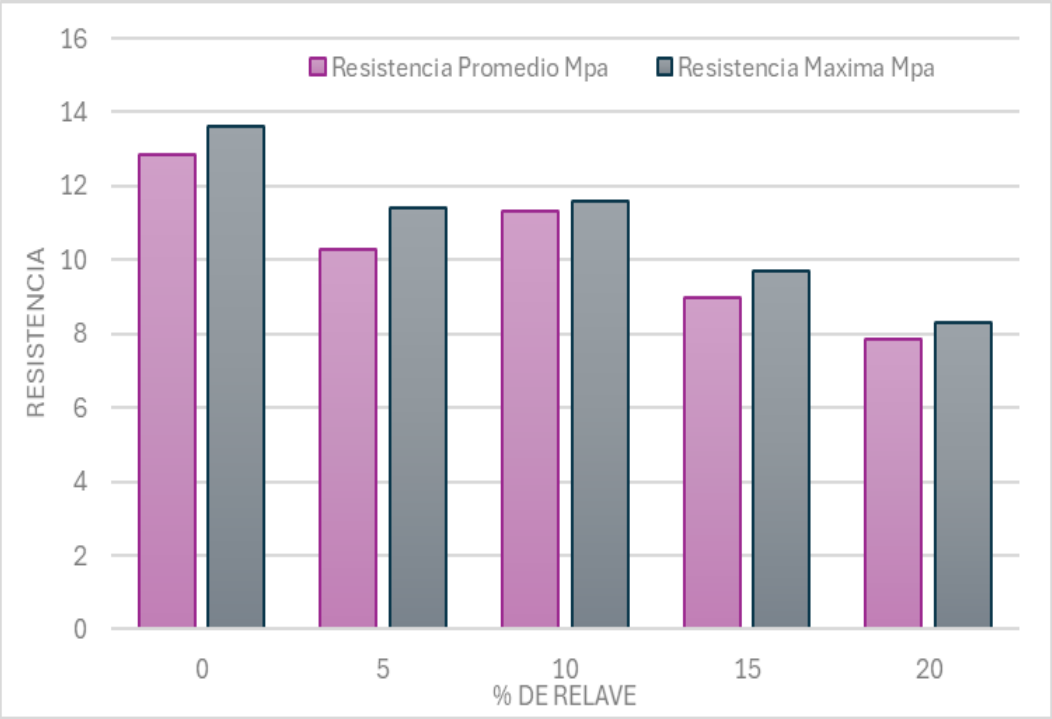
Resistencia a la compresión - Cemento Yura



Nota. Resultado de resistencias según cada porcentaje de relave.

Figura 12

Resistencia a la compresión – Cemento CBB



Nota. Resultado de resistencias según cada porcentaje de relave.

4.1.4.1. Análisis del diseño factorial

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia de compresión indicados en las tablas anteriores fueron ingresados a la matriz de prueba referenciada en la sección 3.5.1. La secuencia de las evaluaciones, es decir, tanto el orden con los que se elaboró cada probeta, así como el orden de la evaluación del rompimiento de las probetas, obedecieron el criterio aleatorio propuesto por el software Minitab, la Tabla 11 muestra los resultados ordenados según el criterio mencionado:

Tabla 11

Resultados obtenidos aleatoriamente

Tipo de cemento	Porcentaje de relave	Resistencia
	%	MPa
C1	10	12,100
C1	0	17,633
C2	15	8,967
C1	20	10,400
C1	15	11,200
C2	0	12,867
C1	5	14,667
C2	5	10,300
C2	10	11,300
C2	20	7,867

Nota. Secuencia de pruebas según orden aleatorio propuesto por Minitab.

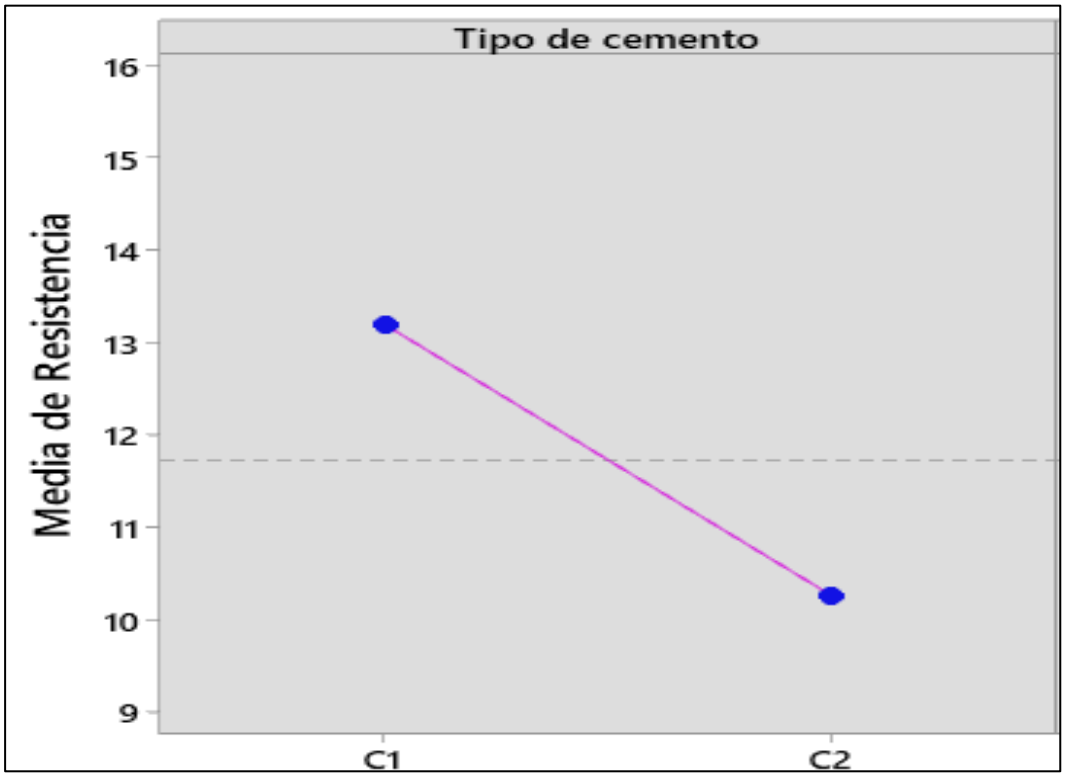
4.1.4.2. Efecto de las variables sobre la respuesta

La Figura 13 muestra claramente que los promedios de resistencia a la compresión son mayores en el cemento tipo C1, es decir cemento Yura comparados con el promedio alcanzado por las probetas elaboradas con el cemento CBB.

El uso de cemento Yura permitió alcanzar un promedio de 13,20 MPa, en tanto el promedio del otro tipo de cemento promedió 10,26 MPa, es decir el cemento CBB presentó una disminución promedio de -22,21% con respecto al cemento Yura. El valor negativo originado por el cambio de cemento sugiere un mejor desempeño del cemento Yura.

Figura 13

Resistencia a la compresión según tipo de cemento

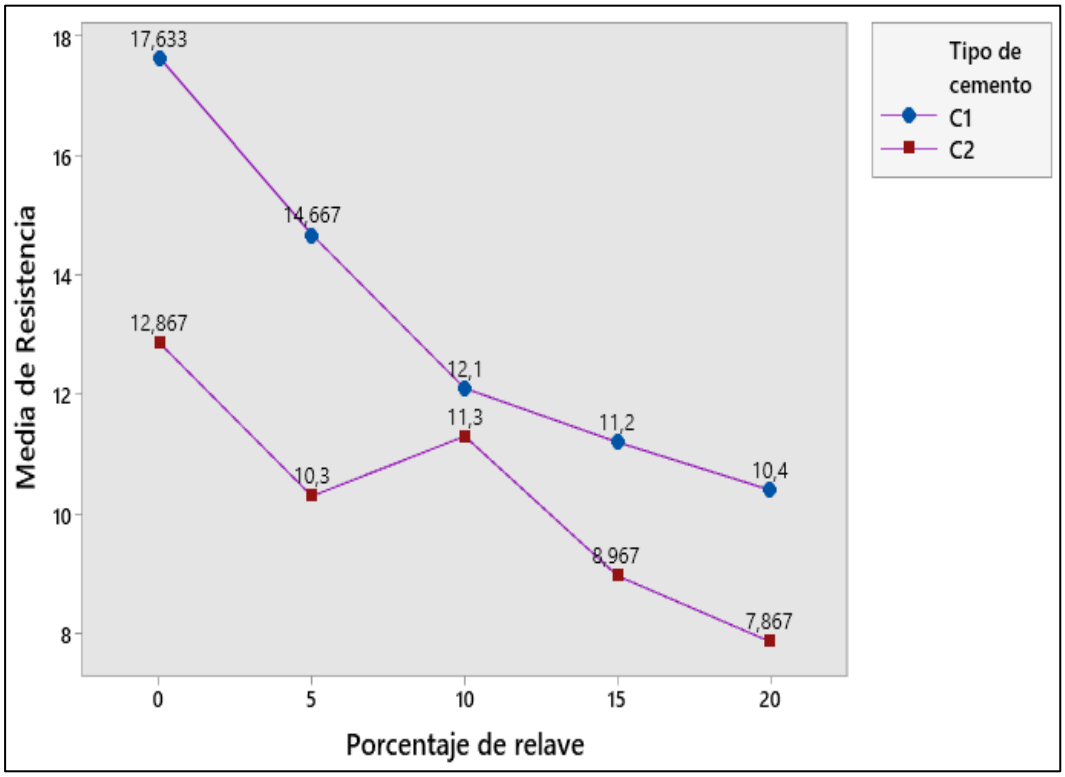


Nota. Grafica obtenida del análisis del diseño factorial en Minitab.

La Figura 14 indica que conforme se incrementa el porcentaje de sustitución de relave por cemento, la resistencia a la compresión disminuye para los dos tipos de cemento, la figura muestra niveles máximos de 17,63 MPa y 12, 87 MPa para los cementos Yura y CBB respectivamente cuando no se usa relave y alcanza un descenso mínimo de 10,4 MPa y 7,87 MPa respectivamente cuando se utiliza un porcentaje de sustitución de 20 %.

Figura 14

Efecto del porcentaje de relave



Nota. Grafica obtenida del análisis del diseño factorial en Minitab.

La relación obtenida de resistencia a la compresión y el incremento del porcentaje de relave muestra una relación no lineal inversa. De acuerdo con el valor mínimo de 14 Mpa para elementos estructurales con concreto simple establecido por la norma E060 del Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, solo las mezclas con el cemento Yura y con porcentajes en el rango de 0 a 10 % se encuentran dentro de lo permitido por la norma.

4.1.4.3. Análisis de varianza

La Tabla 12 indica en el análisis de varianza ANOVA, en ella se incluye el tipo de cemento y el porcentaje de relave como factores, comparando sus efectos sobre una variable dependiente, en este caso el valor de resistencia a la compresión. Para determinar la significancia de los factores, se usa el valor p, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0,05$, es decir una confiabilidad de 95 %.

Tabla 12

ANOVA

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	66,430	13,286	10,01	0,022
Lineal	5	66,430	13,286	10,01	0,022
Tipo de cemento	1	21,606	21,606	16,28	0,016
% de relave	4	44,824	11,206	8,44	0,031
Error	4	5,308	1,327		
Total	9	71,738			

Nota. Datos obtenidos del análisis de diseño factorial en Minitab. GL: grados de libertad.

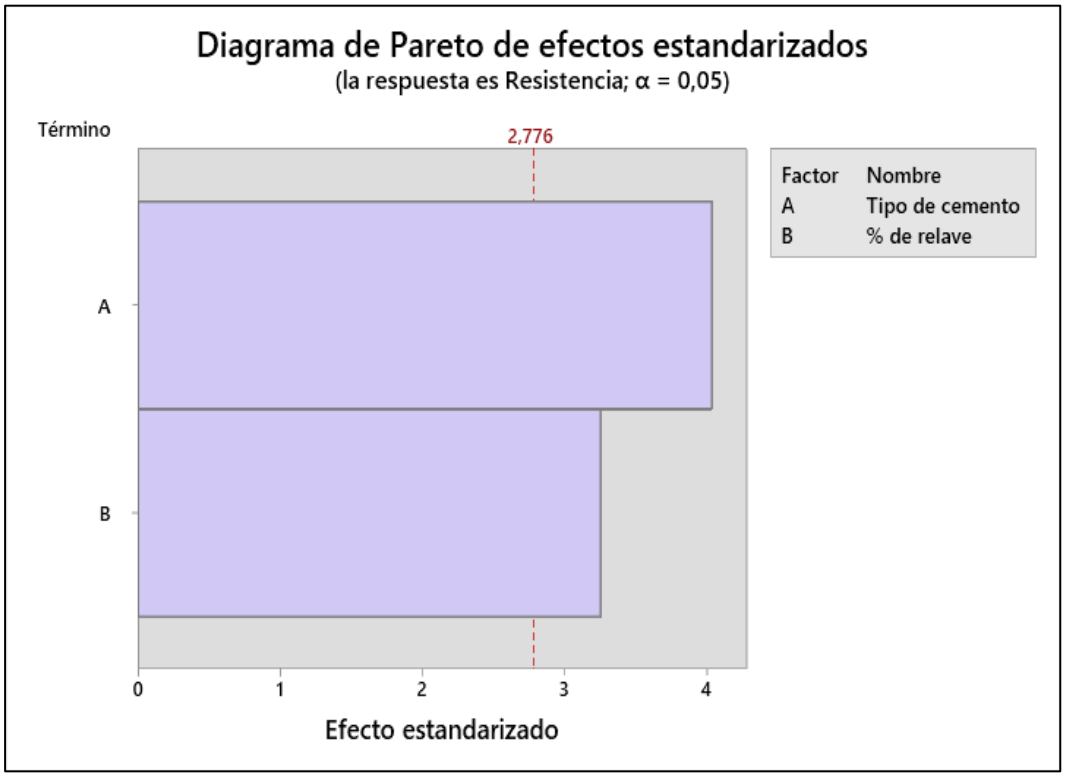
Las variables “tipo de cemento” y “porcentaje de relave” son bastante significativas sobre el valor de resistencia a la compresión, ambas variables presentan valores p (valor de significancia) de 0,016 y 0,031 respectivamente, ambos valores son menores a 0,05 por lo que aportan información relevante para explicar la variación de la respuesta.

4.1.4.4. Análisis de Pareto

El diagrama de Pareto de la Figura 15 muestra que ambos factores (tipo de cemento y % de relave) superan el umbral de significancia marcado (2,776), indicando que sus efectos son estadísticamente relevantes.

Figura 15

Diagrama de Pareto



Nota. Figura tomada del análisis de diseño factorial en Minitab.

4.1.4.5. Ecuación de regresión

El ANOVA de la Tabla 12 también indica que el modelo matemático generado es bastante significativo; sin embargo, el modelo de regresión generado es poco relevante considerando que el objetivo principal de la tesis es seleccionar

el mejor porcentaje de relave como sustituto del mejor tipo de cemento. La estructura del diseño factorial utilizado solo permite comparar resultados puntuales entre combinaciones específicas del cemento 1 o cemento 2 con cada porcentaje de relave, por lo que no es posible proporcionar un criterio de optimización en el rango de valores analizados

Resistencia = 11,730 + 1,470 *C1 - 1,470*C2 + 3,520 % de relave_0 + 0,753 % de relave_5 - 0,030 % de relave_10 - 1,647 % de relave_15 - 2,597 % de relave_20

4.1.5. Tipos de fracturas obtenidos

A partir de los datos de las dos tablas anteriores, se elabora donde se muestra el resumen de los tipos de fractura obtenidos para cada tipo de cemento utilizado.

Tabla 13

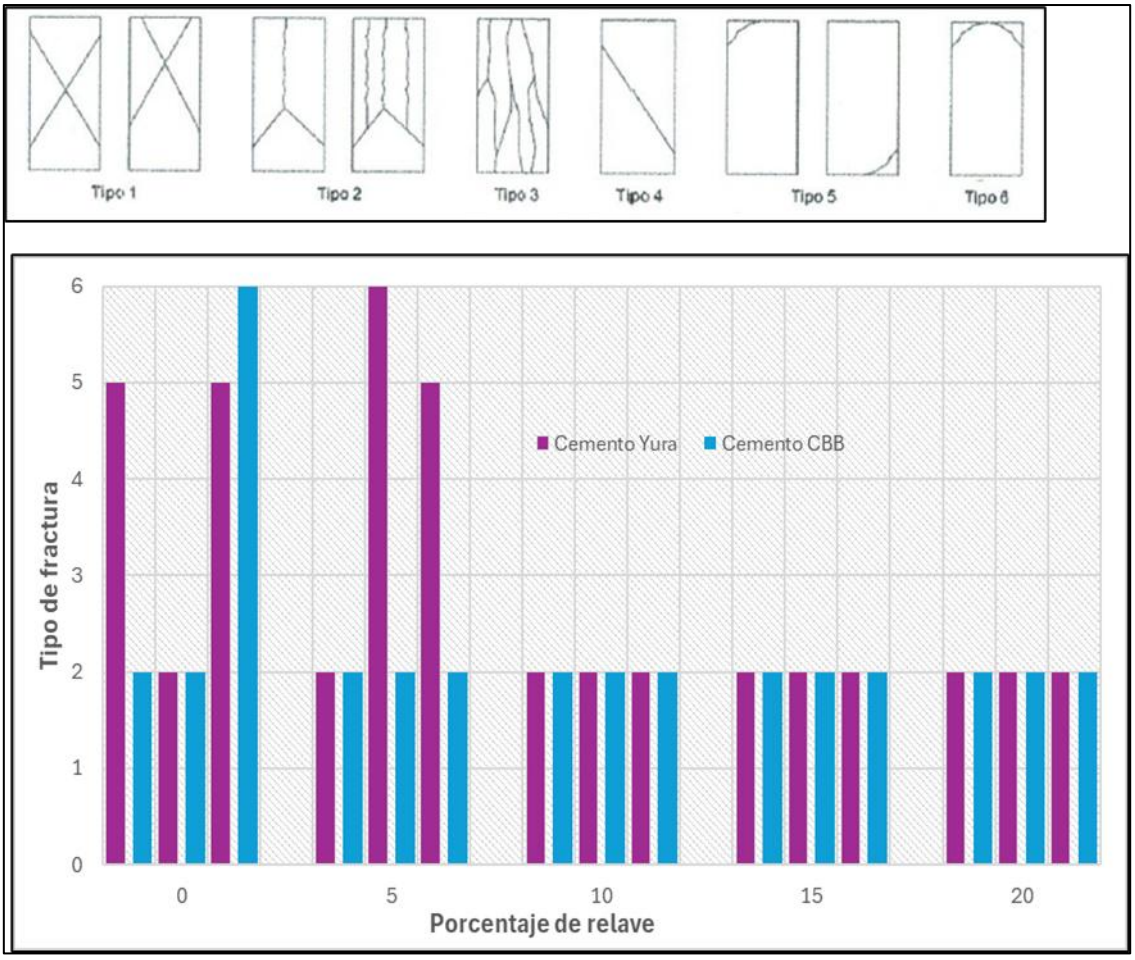
Tipo de fractura obtenido

Porcentaje de relave	Cemento Yura			Cemento CBB		
%						
0	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 6
5	Tipo 2	Tipo 6	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2
10	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2
15	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2
20	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2

Nota. Los valores indicados fueron tomados de las tablas correspondientes a los resultados de resistencia de compresión obtenidos según los resultados entregados por IngeServicios. S.A.C.

Figura 16

Patrones de fractura



Nota. Los patrones fueron referenciados en los resultados entregados por IngeServicios. S.A.C

Según lo mostrado en la Figura 16 las diferencias del tipo de fractura obtenido posterior a la aplicación de carga máxima de rotura se dan en los porcentajes de relave de 0 y 5. El tipo de fractura predominante corresponde a la fractura tipo 2, así mismo a porcentajes de relave de 0 % y 5 % para el cemento

yura, se obtuvo mayoritariamente fracturas del tipo 5 y 6. Solo una muestra con cemento CBB y sin contenido de relave mostró un patrón de fractura tipo 6.

La Figura 17 muestra el material fragmentado obtenido posterior a las pruebas de rotura. De acuerdo con el patrón referenciado en la parte superior de la Figura 16, las muestras presentan patrones tipo 2, este tipo de fractura es producido cuando la aplicación de la fuerza de compresión genera una distribución de cargas internas de forma uniforme evitando la ruptura prematura o localizada.

Figura 17

Muestras fracturadas



Nota. Izquierda: nuestra de probetas fragmentadas post-ensayo. Derecha: Cincelado de probetas para obtención de muestra para microscopia SEM.

La imagen también muestra el cincelado aplicado a una de las probetas a fin del rompimiento total de la probeta para poder obtener una muestra tamizada que será analizada en el microscopio de barrido electrónico a fin de analizar la estructura y características del concreto mezclado con relave.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Variación del diámetro

Las mediciones del diámetro muestran fluctuaciones menores al 2% respecto al valor normativo de 100 mm, situando todos los resultados dentro de la tolerancia permitida para ensayos de compresión. El valor promedio de todas las variaciones fue de 0,82 % indicando un valor muy por debajo del límite permitido.

4.2.2. Variación de altura

Las mediciones efectuadas indican que las relaciones altura / diámetro (H/D) de cada una de las 30 probetas se encuentran dentro del margen tolerable, al presentar variaciones promedio de 2,02. La norma contempla variaciones dentro del rango 1,8 y 2,2 por lo que las probetas deben ser consideradas como aptas para la aplicación de pruebas de compresión.

4.2.3. Sección de área calculada

La variabilidad observada del cálculo de las áreas transversales, a partir de los diámetros medidos, entre las muestras es mínima al presentar un coeficiente de

variación de 1,37, indicando la existencia de homogeneidad del procedimiento experimental en la fabricación de las probetas.

4.2.4. Resistencia a la compresión calculada

Las resistencias obtenidas del análisis de los dos tipos de cemento muestran diferencias significativas entre los dos. El cemento Yura (C1) supera en valores significativamente mayores al promedio general y en cada porcentaje de relave al cemento CBB (C2).

Ambos cementos disminuyen su resistencia a la compresión a medida que aumenta el porcentaje de relave, siendo más notorio en las probetas preparadas con el cemento CBB, estos resultados señalan la superioridad del cemento Yura, ya que superan el límite normativo de 14 MPa para concreto estructural simple.

4.2.5. Análisis del diseño factorial

Se comprueba que tanto el tipo de cemento, así como porcentaje de relave son factores influyentes sobre la resistencia a la compresión según los resultados indicados en la tabla ANOVA donde ambos presentan con valores p inferiores a 0,05. El diagrama de Pareto confirma la aseveración anterior y permite visualizar que el tipo de cemento tiene mayor significancia que el porcentaje de relave adicionado.

El análisis gráfico de las medias de resistencia con respecto al tipo de cemento utilizado cuantifica la diferencia de desempeño entre los cementos,

mostrando una disminución de más del 22 % al emplear el cemento CBB frente al cemento Yura.

El modelo matemático obtenido tiene poca relevancia debido a que el objetivo de la tesis está orientado a la determinación del mejor tipo de cemento y su sustitución porcentual de relave y no a la aplicación de un modelo matemático para la interpolación de las variables.

4.2.6. Tipos de fracturas obtenidos

La fractura más incidente corresponde al tipo 2, seguido por las variantes tipo 5 y 6 en el cemento Yura, especialmente a menores porcentajes de relave. La fractura tipo 2 es indicativo de la distribución uniforme de carga aplicada y es característica típica de rupturas en probetas correctamente elaboradas y ensayadas reflejando la calidad del proceso experimental realizado, de esta forma las resistencias de compresión en las muestras de los dos cementos logrados son técnicamente válidos.

Conclusiones

- Es posible fabricar cercos tipo placa con una combinación de cemento Yura y relave de la mina Toquepala en proporciones de hasta el 10%, debido a que el concreto formado cumple en este rango cumple con el requisito mínimo para la resistencia a compresión de14 MPa fijado para el concreto estructural simple establecido por la norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Esto demuestra que, técnicamente, el uso de relave como sustituto parcial del cemento es válido únicamente si no se sobrepasa ese porcentaje. Así mismo, en proporciones superiores a 10 %, la sustitución de cemento por relave tiene un efecto limitante.

- El análisis comparativo evidencia que todas las mezclas con reemplazo de relave presentan una disminución gradual de la resistencia a compresión, siendo esta reducción más notoria y desfavorable al emplear cemento CBB, cuyas muestras no logran superar el umbral normativo para ningún porcentaje de sustitución evaluado. Se ha demostrado que las variables analizadas, porcentaje de relave y el tipo de cemento, tienen un impacto significativo en cómo se comportan las mezclas mecánicamente. En particular, el tipo de cemento es el factor más influyente para mantener la resistencia a la compresión.

- El diseño factorial utilizado evidencia que el cemento Yura tiene una supremacía manifiesta en cuanto a resistencias estructurales aceptables sobre el cemento CBB, ambas marcas comerciales fueron las únicas disponibles en la ciudad de Tacna al momento de seleccionar el tipo de cemento. Se concluye que únicamente el cemento Yura, con porcentajes de reemplazo de relave entre 0% y 10%, es apto para su aplicación en cercos prefabricados tipo placa sometidos a carga, cumpliendo así con los requerimientos de seguridad y desempeño estructural del RNE E060.

Recomendaciones

- Se sugiere que las investigaciones futuras basadas en los resultados obtenidos evalúen distintas marcas y variedades de cemento que no estaban accesibles cuando se llevó a cabo el experimento en la ciudad de Tacna. Esto posibilitaría determinar si hay formulaciones de cemento que sean más compatibles con el relave y que consigan incrementar la resistencia mecánica obtenida con el cemento Yura.

- A pesar de que los hallazgos de la presente tesis indican que se puede sostener la resistencia a la compresión en el rango normativo reemplazando hasta un 10% del cemento Yura por relave, se aconseja seguir con pruebas adicionales para examinar otras cualidades del concreto, como su durabilidad a largo plazo, su permeabilidad y su resistencia ante elementos como la humedad. El comportamiento de estructuras como cercos que están expuestos al ambiente depende en gran medida de estos factores.

- Teniendo en cuenta que el relave está compuesto por metales pesados y restos de reactivos químicos utilizados en el proceso de flotación de sulfuros de cobre, resulta aconsejable hacer un monitoreo especial al desgaste de los cercos expuestos a la intemperie en el caso de que sean fabricados con la

formulación obtenida en el presente trabajo. Esto permitirá definir si existe riesgo ambiental o estructural asociado al uso de relaves en aplicaciones constructivas y, en caso de existir, definir medidas de encapsulamiento o restricción de uso a ciertas condiciones no críticas donde la exposición a estos elementos sea mínima.

Referencias

Abdul, A., Aftab, M., Abdul, I., Nagapan, S., & Imran, Q. (2013). *IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*. IEEE.

Acosta, J., Rodriguez, I., & Huanacuni, D. (2011). *Memoria sobre la geología económica de la región Tacna*. INGEMMET. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/3523/1/GE33_Memoria_Geologia_Economica_Tacna.pdf

Acosta, M. (2021). *Relave minero como alternativa de reciclaje para la industria de la construcción*. https://www.petroenergia.info/post/relave-minero-como-alternativa-de-reciclaje-para-la-industria-de-la-construcci%C3%B3n

Aluchna, M., & Rok, B. (2019). Closing the Loop: Circular Economy Through Sustainable Innovation Lens. En *CSR, Sustainability, Ethics and Governance* (pp. 19-36). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11217-2_2

Anicama, G. (2010). ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE MATERIALES DE DESECHO DE PROCESOS MINEROS EN APLICACIONES PRÁCTICAS CON PRODUCTOS CEMENTICIOS. *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 1-58.

ASTM-C39. (2020). ASTM Designación : C 39 / C 39M – 01 ASTM Designación : C 39 / C 39M – 01 «Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto». En *American Society of Testing Materials*.

Atstaja, D., Uvarova, I., Kamilla Kambala, D., Alberte, V., Stokmane, K., Gegere-Zetterstroma, A., Kraze, S., & Zapletnuka, G. (2020). Investments to Develop Business Models and Projects in the Circular Economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *578*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/578/1/012029

BCR. (s. f.). *BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERU*. Recuperado 28 de noviembre de 2024, de https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Arequipa/2024/sintesis-tacna-01-2024.pdf

Bertola, F., Bassani, M., Canonico, F., & Bianchi, M. (2013). Use of rapid-hardening cement for controlled low-strength materials for pavement applications. *Transportation Research Record*, *2363*, 77-87. https://doi.org/10.3141/2363-09

Biały, W. (2022). Revitalization of Mining Dumps. Assessment of Possibilities. *Production Engineering Archives*, *28*(2), 201-209. https://doi.org/10.30657/pea.2022.28.24

Canahua, H. (2023). *Producción de elementos de construcción con relaves de Quebrada Honda bajos en cemento para mejorar la calidad de vida de los residentes de Pampa Sitana*.

Chen, C., Chen, Y., & Jayaraman, V. (2021). Pursuing Sustainability. En *International Series in Operations Research & Management Science*. http://www.springer.com/series/6161

Chennak, A., Giannakas, K., & Awada, T. (2024). On the Economics of the Transition to a Circular Economy. *Circular Economy and Sustainability*, *4*(4), 3007-3023. https://doi.org/10.1007/s43615-023-00297-8

Chilón, L. (2019). INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DE MEZCLA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL CONCRETO ELABORADO EN CLIMAS FRÍOS. En *Correspondencias & Análisis* (Número 15018). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.

Chota, D., & Navarro, P. (2019). *Análisis de la resistencia del concreto utilizando hormigón en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI FACULTAD.

Eloy, J., Lozada, E., Fernández, D., Asesor, F., Senior, L., Ortiz, H., Asesor, R., Senior, E., Yu, M., Loayza, C., Contreras Condezo, J., García, M. A., Andrés, L., Povis, S., Aracelly, N., & Ramos, L. (2022). *Reporte sobre el mercado de adquisición de cemento mediante procesos de contratación pública*. https://www.indecopi.gob.pe/documents/51771/7911673/Reporte+sobre+Mercado+de+Adquisici%C3%B3n+de+Cemento/01b2dc19-6ffe-7a69-2b55-f0f12000df33#:~:text=Es%20importante%20notar%20que%20UNACEM,cemento%20en%20el%20mercado%20nacional.

Esposito, M., Tse, T., & Soufani, K. (2018). Introducing a Circular Economy: New Thinking with New Managerial and Policy Implications. *California Management Review*, *60*(3), 5-19. https://doi.org/10.1177/0008125618764691

Frommenwiler, A. (2020). NEW GENERATION OF SUPERPLASTICIZERS FOR HIGH PERFORMANCE CONCRETE. *MBT Holding, Switzerland*, *1964*, 307-318. https://doi.org/10.1201/9781482271782-37

Ghosh, S. K. (2019). Circular economy: Global perspective. En *Circular Economy: Global Perspective*. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6

Kumar Singh, V., & Kumar Das, S. (2020). Performance of controlled low strength material made using industrial by-products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *491*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/491/1/012032

LanammeUCR. (2023). *Resistencia a la compresión de cilindros de concreto*. https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/ensayos/3-concreto/3.10-11.pdf

Martos, S. (2017). VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS LADRILLOS, DEBIDO A LOS FACTORES: MATERIALES Y PROCESO DE FABRICACIÓN, A PARTIR DE INVESTIGACIONES REALIZADAS EN EL PERÚ. En *UPN*. UPN.

Mneina, A., Soliman, A. M., Ahmed, A., & El Naggar, M. H. (2018). Engineering properties of Controlled Low-Strength Materials containing Treated Oil Sand Waste. *Construction and Building Materials*, *159*, 277-285. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.093

Morales, C. (2019). *Inmovilización de relaves de flotación de cobre en Tacna mediante el uso de geopolímeros*. UNJBG.

MVCS. (2019). NORMA E.060 CONCRETO ARMADO. En *Norma E.060 Concreto Armado*.

Parhi, S. K., Dwibedy, S., Panda, S., & Panigrahi, S. K. (2023). A comprehensive study on Controlled Low Strength Material. En *Journal of Building Engineering* (Vol. 76). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107086

Phiri, T. C., Singh, P., & Nikoloski, A. N. (2022). The potential for copper slag waste as a resource for a circular economy: A review – Part I. En *Minerals Engineering* (Vol. 180). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107474

PREFAC. (2024). *Cerco tipo placa prefabricados de concreto*. https://prefac.com.pe/cpt-product/cerco-tipo-placa-prefabricado-concreto/

Puppala, A. J., Balasubramanyam, P., & Madhyannapu, R. S. (2007). Experimental investigations on the properties of controlled low-strength material. *Ground Improvement*. www.groundimprovement.com

Rivera, J. (2023). *Resistencia de materiales Libro interactivo para ingenieros* (F. E. R. Descartes, Ed.; Fondo Edit).

RPP. (2022). *¿Cómo impactan las heladas y el friaje a la economía? | RPP Noticias*. https://rpp.pe/economia/economia/como-impactan-las-heladas-y-el-friaje-a-la-economia-noticia-1413417

Rumbo Minero. (2017). *Relaves Mineros: Optimizando la Gestión para una Iindustria ecoamigable*. https://www.rumbominero.com/revista/relaves-mineros-optimizando-la-gestion-para-una-iindustria-ecoamigable/

Rumbo Minero. (2024). *Actividad minera impulsó el desempeño productivo de Tacna en 11,1%*. https://www.rumbominero.com/peru/actividad-minera-desempeno-productivo-tacna/

Anexos

1. A continuación, se referencia las siguientes fotografías con la intención de evidenciar el desarrollo de las evaluaciones, el orden en que son presentadas no son necesariamente el orden cronológico en que fueron ejecutadas las evaluaciones a las que representan.






EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+0%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+5%R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+10%R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+5%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+10%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+10%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+15%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+20%R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+15%R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+0%R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+20%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C1+15%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+0%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+ 5%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+ 5%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+0%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+10%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+15 % R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+10 % R)


EVALUACIÓN DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+20%R)


EVALUACION DEL USO DE RELAVE
DE LA MINA TOQUEPALA COMO
SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO
EN LA FABRICACION DE CERCOS
TIPO PLACA (C2+15%R)

2. Certificados entregados por IngeServicios SAC

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos,concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio Acreditado

PRP-06-01/Abril 2023/Rev.03

INFORME DE ENSAYO

Pagina: 1 de 1
Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2167

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracin – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de ceroos tipo placa
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 11 de Agosto de 2025

Hora Inicio de ensayo: 4:26 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 23.6°C
Humedad relativa: 46%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C2+15%R	2025-572-E01	C2 (Cemento CB6) + 15% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°2:	C2+15%R	2025-572-E02	C2 (Cemento CB6) + 15% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°3:	C2+15%R	2025-572-E03	C2 (Cemento CB6) + 15% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-572-E01	2025-572-E02	2025-572-E03	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	11/07/2025	11/07/2025	11/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	8/08/2025	8/08/2025	8/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	101.37	100.75	101.16	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	204.15	203.94	204.10	-	-	-
Área del especimen (mm²):	8070.66	7972.23	8037.25	-	-	-
Carga Máxima (kN):	62.2	77.1	76.7	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	7.7	9.7	9.6	-	-	-
	(Kg/cm²)	78.6	98.6	97.3	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca
ING. CIVIL CIP 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 10:50 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracin – Tacna
Contacto: 052284898 - 956668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos,concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 218

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2117

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Clenique Distrito de Gregorio Albarracin – Tacna

PROYECTO (*): Efectos en la resistencia al esfuerzo de compresión en el concreto, mediante la utilización de mucilago de penca en la ciudad de Tacna 2024
SOLICITANTE (*): Flores Cuellar Alexander Fernando
DIRECCIÓN (*): A.H. Asoc. V. Residencia El Olivar Mz. A Lt. 31 - Tacna - Tacna - Tacna
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Tacna
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 5:42 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 22.3°C
Humedad relativa: 58%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C1+6%R	2025-562-E04	C1 (Cemento Yura) + 5% de relave minero	1/08/2025
Especimen N°2:	C1+6%R	2025-562-E05	C1 (Cemento Yura) + 5% de relave minero	1/08/2025
Especimen N°3:	C1+6%R	2025-562-E06	C1 (Cemento Yura) + 5% de relave minero	1/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-562-E04	2025-562-E05	2025-562-E06	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	4/07/2025	4/07/2025	4/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	1/08/2025	1/08/2025	1/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.32	100.66	101.21	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	203.62	203.53	203.34	-	-	-
Área del especimen (mm^2):	7903.54	7957.21	8045.20	-	-	-
Carga Máxima (kN):	121.2	107	123.3	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

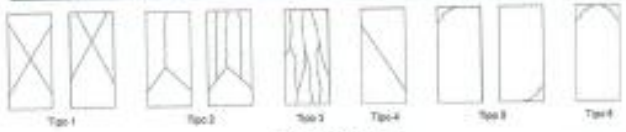
Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	15.3	13.4	15.3	-	-	-
	(Kg/cm^2)	156.4	137.1	156.3	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 6	Tipo 5	-	-	-

Revisado y autorizado por:

IngeServicios

Ing. Marco Antonio Gomez Ludeña
ING. CIVIL CIP. 242536
JEFE DE LABORATORIO

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 17:20 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que la produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos,concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME Nº: LSCP - 25 - 2115

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa Nº 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracin – Tacna

PROYECTO (*): Efectos en la resistencia al esfuerzo de compresión en el concreto, mediante la utilización de mucilago de penca en la ciudad de Tacna 2024
SOLICITANTE (*): Flores Cuellar Alexander Fernando
DIRECCIÓN (*): A.H. Asoc. V. Residencia El Olivar Mz. A Lt. 31 - Tacna - Tacna - Tacna
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Tacna
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 2 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 5:30 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC./NG-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 22.3°C
Humedad relativa: 59%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen Nº1:	C1+0%R	2025-562-E01	C1 (Cemento Yura) + 0% de relave minero	1/08/2025
Especimen Nº2:	C1+0%R	2025-562-E02	C1 (Cemento Yura) + 0% de relave minero	1/08/2025
Especimen Nº3:	C1+0%R	2025-562-E03	C1 (Cemento Yura) + 0% de relave minero	1/08/2025
Especimen Nº4:	-	-	-	-
Especimen Nº5:	-	-	-	-
Especimen Nº6:	-	-	-	-

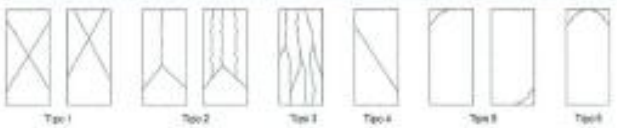
ESPECIMENES Nº

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-562-E01	2025-562-E02	2025-562-E03	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	4/07/2025	4/07/2025	4/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	1/08/2025	1/08/2025	1/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.52	101.38	101.19	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	204.26	203.81	203.83	-	-	-
Área del especimen (mm²):	7935.64	8072.25	8041.22	-	-	-
Carga Máxima (kN):	141.9	140.5	141.5	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	17.9	17.4	17.6	-	-	-
	(Kg/cm²)	182.3	177.5	179.4	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 5	Tipo 2	Tipo 5	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
ING. CIVIL Cip: 242936
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 17:20 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretación de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

IngeServicios SAC
Laboratorio de ensayo concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 218

PRP-06-01/Abril 2023/Rev.03 | **INFORME DE ENSAYO** | Pagina: 1 de 1 | Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2170

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Clenique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 11 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 4:44 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 23.6°C
Humedad relativa: 46%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C2+10%R	2025-572-E10	C2 (Cemento CBB) + 10% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°2:	C2+10%R	2025-572-E11	C2 (Cemento CBB) + 10% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°3:	C2+10%R	2025-572-E12	C2 (Cemento CBB) + 10% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-572-E10	2025-572-E11	2025-572-E12	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	11/07/2025	11/07/2025	11/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	8/08/2025	8/08/2025	8/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	99.12	99.80	99.35	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	199.60	200.93	199.41	-	-	-
Área del especimen (mm²):	7716.36	7821.81	7752.99	-	-	-
Carga Máxima (kN):	89.8	88.9	84.3	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	11.6	11.4	10.9	-	-	-
	(Kg/cm²)	118.7	115.9	110.9	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Alfredo Gomez Lupaca
ING. CIVIL CIP 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 10:50 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproducion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, canbio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Clenique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284898 - 955668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos,concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
D.A. - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro N°LE - 218

PRP-06-01R/Abril 2023/Rev.03 | **INFORME DE ENSAYO** | Pagina: 1 de 1 | Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2169

DIRECCION DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricacion de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHN Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 11 de Agosto de 2025

Hora Inicio de ensayo: 4:38 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC./NG-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 23.6°C
Humedad relativa: 46%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C2+5%R	2025-572-E07	C2 (Cemento CBB) + 5% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°2:	C2+5%R	2025-572-E08	C2 (Cemento CBB) + 5% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°3:	C2+5%R	2025-572-E09	C2 (Cemento CBB) + 5% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

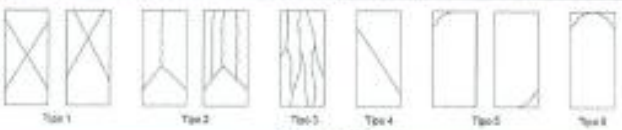
ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-572-E07	2025-572-E08	2025-572-E09	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	11/07/2025	11/07/2025	11/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	8/08/2025	8/08/2025	8/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	101.15	99.72	98.98	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	200.21	202.61	201.38	-	-	-
Área del especimen (mm²):	8035.66	7809.28	7694.56	-	-	-
Carga Máxima (kN):	65.8	88.8	87.3	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	8.2	11.4	11.3	-	-	-
	(Kg/cm²)	83.6	116.0	115.7	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
ING. CIVIL CIP. 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 10:50 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aquí declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284898 - 955668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos, concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro Nº LE - 218

PRP-06-01/R/Abril 2023/Rev.03 | **INFORME DE ENSAYO** | Pagina: 1 de 1 | Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2168

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 11 de Agosto de 2025

Hora Inicio de ensayo: 4:32 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 23.6°C
Humedad relativa: 48%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C2+20%R	2025-572-E04	C2 (Cemento CB6) + 20% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°2:	C2+20%R	2025-572-E05	C2 (Cemento CB6) + 20% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°3:	C2+20%R	2025-572-E06	C2 (Cemento CB6) + 20% de relave minero	8/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-572-E04	2025-572-E05	2025-572-E06	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	11/07/2025	11/07/2025	11/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	8/08/2025	8/08/2025	8/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.72	100.29	99.62	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	204.11	204.74	204.10	-	-	-
Área del especimen (mm²):	7966.70	7898.81	7778.76	-	-	-
Carga Máxima (kN):	58.9	64.5	64.2	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	7.1	8.2	8.3	-	-	-
	(Kg/cm²)	72.8	83.3	84.2	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
INGENIERO CIVIL CIP:242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 10:50 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284898 - 955668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos,concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL DA - Perú

Registro N°LE - 218

PRP-06-01R/Abril 2023/Rev.03

INFORME DE ENSAYO

Pagina: 1 de 1
Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2135

DIRECCION DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 8 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 11:12 a. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 20.5°C
Humedad relativa: 60%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C1+20%R	2025-569-E01	C1 (Cemento Yura) + 20% de relave minero	7/08/2025
Especimen N°2:	C1+20%R	2025-569-E02	C1 (Cemento Yura) + 20% de relave minero	7/08/2025
Especimen N°3:	C1+20%R	2025-569-E03	C1 (Cemento Yura) + 20% de relave minero	7/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

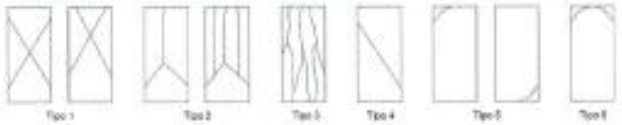
ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-569-E01	2025-569-E02	2025-569-E03	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	9/07/2025	9/07/2025	9/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	7/08/2025	7/08/2025	7/08/2025	-	-	-
Edad (días):	29	29	29	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.57	101.15	101.20	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	203.96	203.73	203.37	-	-	-
Área del especimen (mm^2):	7943.77	8035.66	8042.81	-	-	-
Carga Máxima (kN):	82.7	87.1	80.7	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	**(MPA)**	10.4	10.8	10.0	-	-	-
	(Kg/cm^2)	106.2	110.5	102.3	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
ING. CIVIL CIP N° 242536
JEFE DEL LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 10:00 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284898 - 955668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos, concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro Nº LE - 218

PRP-06-01R/Abril 2023/Rev.03

INFORME DE ENSAYO

Página: 1 de 1
Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME Nº: LSCP - 25 - 2126

DIRECCIÓN DE LABORATORIO: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*): Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especímenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN: Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 7 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 11:42 a. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 21.9°C
Humedad relativa: 60%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C1+10%R	2025-566-E01	C1 (Cemento Yura) + 10% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°2:	C1+10%R	2025-566-E02	C1 (Cemento Yura) + 10% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°3:	C1+10%R	2025-566-E03	C1 (Cemento Yura) + 10% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-566-E01	2025-566-E02	2025-566-E03	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	8/07/2025	8/07/2025	8/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	5/08/2025	5/08/2025	5/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.70	101.27	101.02	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	204.27	204.08	203.17	-	-	-
Área del especimen (mm²):	7963.53	8054.74	8014.23	-	-	-
Carga Máxima (kN):	91.9	115.6	83.1	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c) (MPA)	11.5	14.4	10.4	-	-	-
Resistencia a la Compresión (F'c) (Kg/cm²)	117.7	146.3	105.7	-	-	-
Tipo de Fractura:	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Alfredo Gómez Lupaca
ING. CIVIL CIP 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 11:30 Hrs
- Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284898 - 955668070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos, concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro Nº LE - 218

PRP-06-01R/Abril 2023/Rev.03 | **INFORME DE ENSAYO** | Pagina: 1 de 1 | Aprobado por: GT

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME N°: LSCP - 25 - 2127

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c: 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 7 de Agosto de 2025

Hora inicio de ensayo: 11:51 a. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 21.9°C
Humedad relativa: 60%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimes	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C1+15%R	2025-566-E04	C1 (Cemento Yura) + 15% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°2:	C1+15%R	2025-566-E05	C1 (Cemento Yura) + 15% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°3:	C1+15%R	2025-566-E06	C1 (Cemento Yura) + 15% de relave minero	5/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

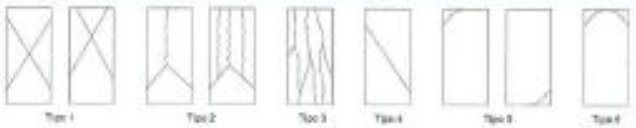
ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-566-E04	2025-566-E05	2025-566-E06	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	8/07/2025	8/07/2025	8/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	5/08/2025	5/08/2025	5/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	100.96	100.29	100.28	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	203.13	203.79	203.84	-	-	-
Área del especimen (mm^2):	8005.50	7899.60	7897.24	-	-	-
Carga Máxima (kN):	89.9	86.5	91.3	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	11.2	10.8	11.6	-	-	-
	(Kg/cm^2)	114.5	110.4	117.9	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-	-	-

Consideraciones
*) Datos brindados por el cliente.
**) Fecha en la que las muestras se ntemaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
ING. CIVIL Reg. 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 11:30 Hrs
Las muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.

Dirección: Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna
Contacto: 052284588 - 955888070
E-mail: info@ingeservicios.com.pe
Web: www.ingeservicios.com.pe
RUC: 20449438834

IngeServicios SAC
Laboratorio de suelos, concreto y pavimentos

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO Nº LE - 218

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado
Registro Nº LE - 218

INFORME DE ENSAYO

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS - NTP 339.034:2021

INFORME Nº: LSCP - 25 - 2166

DIRECCIÓN DE LABORATORIO : Av. Collpa N° 8, sector Pago Olanique Distrito de Gregorio Albarracín – Tacna

PROYECTO (*): Evaluación del uso de relave de la mina Toquepala como sustituto parcial del cemento en la fabricación de cercos tipo placa.
SOLICITANTE (*): Chavez Quispe Jorge Anderson
DIRECCIÓN (*): AHM Ciudad Nueva Mz. 72 Lt. 05, Ciudad Nueva
UBICACIÓN (*) : Tacna - Tacna - Ciudad Nueva
MUESTRA (*): Especimenes de concreto f'c 210 kg/cm²
ENSAYADO EN : Laboratorio de Ingeservicios S.A.C

FECHA DE EMISIÓN DE INFORME: 11 de Agosto de 2025

Hora Inicio de ensayo: 12:50 p. m.
Dirección de carga: Carga Paralela
Ensayo realizado: TEC.ING-02

Condiciones ambientales
Temperatura ambiente: 23.3°C
Humedad relativa: 53%

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

	Código de cliente (*)	Código de especimen de Lab.	Descripción de especimen	Fecha de Recepción (**)
Especimen N°1:	C2+0%R	2025-582-E01	C2 (Cemento C86) + 0% de relave minero	9/08/2025
Especimen N°2:	C2+0%R	2025-582-E02	C2 (Cemento C86) + 0% de relave minero	9/08/2025
Especimen N°3:	C2+0%R	2025-582-E03	C2 (Cemento C86) + 0% de relave minero	9/08/2025
Especimen N°4:	-	-	-	-
Especimen N°5:	-	-	-	-
Especimen N°6:	-	-	-	-

ESPECIMENES N°

	1	2	3	4	5	6
Código especimen:	2025-582-E01	2025-582-E02	2025-582-E03	-	-	-
Fecha de vaciado (*):	12/07/2025	12/07/2025	12/07/2025	-	-	-
Fecha de rotura (*):	9/08/2025	9/08/2025	9/08/2025	-	-	-
Edad (días):	28	28	28	-	-	-
Diámetro ($D_{prom.}$) (mm):	101.32	100.82	100.76	-	-	-
Altura ($H_{prom.}$) (mm):	204.02	204.19	203.96	-	-	-
Área del especimen (mm^2):	8061.90	7982.52	7973.82	-	-	-
Carga Máxima (kN):	103.6	108.7	96.8	-	-	-

REPORTE DE RESULTADOS

Resistencia a la Compresión (F'c)	(MPA)	12.9	13.6	12.1	-	-	-
	(Kg/cm^2)	131.0	138.9	123.8	-	-	-
Tipo de Fractura:		Tipo 2	Tipo 2	Tipo 6	-	-	-

Consideraciones
(*) Datos brindados por el cliente.
(**) Fecha en la que las muestras se internaron en el Laboratorio.



Patrones de Fractura

Revisado y autorizado por:
IngeServicios
Ing. Marco Antonio Gomez Lupaca
ING. CIVIL CIP 242536
JEFE DE LABORATORIO

Observación:
- Las muestras fueron proporcionadas y puestas en laboratorio por el cliente.
- Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas
- Las muestras fueron recibidas en el laboratorio 12:47 Hrs
- Los muestras se ensayaron utilizando almohadillas de Neopreno como material de obturación.

- FIN DE INFORME -

- Esta prohibido la reproduccion parcial o total de este documento sin la autorizacion escrita de Ingeservicios S.A.C.
- El laboratorio no se hace responsable de la incorrecta interpretacion de los resultados aqui declarados.
- Los resultados del informe de ensayo solo estan relacionados a la muestra ensayada, no debe de ser utilizado como un certificado de conformidad de productos o certificados de sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Cualquier modificación, cambio y/o alteración presente invalida el documento, reservandonos el derecho de las acciones legales que correspondan.