UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR ARCILLA MOLDEADA CALCINADA EN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, UCAYALI – 2025.

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

DANIEL FRANCIS SANDY CASTRO

Pucallpa - Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 032-2026

GRADUANDO : **Bach. SANDY CASTRO DANIEL FRANCIS**

TEMA : **"ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR ARCILLA MOLDEADA CALCINADA EN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, UCAYALI - 2025".**

ASESOR : **Dr.DONAYRE HERNANDEZ DEVYN OMAR**

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACIÓN				
* MOTIVACIÓN		X		
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL		X		
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA			X	
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCIÓN DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO	X			
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD		X		
* A LA PROFESIÓN		X		

EVALUACIÓN

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACIÓN FINAL :
PUNTAJE : 20 / 30

CONCLUSIONES:
APROBADO POR : MAYORIA
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Mg.QUISPE AUCCASI, JOEL VICTOR
PRESIDENTE

Mg.QUIROZ PANDURO, AUGUSTO CECILIO
PRIMER MIEMBRO

Mg.MERCADO ROJAS, MIJAEL GABRIEL
SEGUNDO MIEMBRO

Dra. RIOS HIDALGO DE CERNA, CLOTILDE
SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 14 DE AGOSTO DEL 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

TESIS TITULADO : "ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR ARCILLA MOLDEADA CALCINADA EN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, UCAYALI – 2025".

ELABORADO POR : Bach. DANIEL FRANCIS SANDY CASTRO

APROBADO POR :

Mg. JOEL VICTOR QUISPE AUCCASI
PRESIDENTE

Mg. AUGUSTO CECILIO QUIROZ PANDURO
MIEMBRO

Mg. MIJAEL GABRIELMERCADO ROJAS
MIEMBRO

Dr. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
ASESOR DE TESIS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº V/089-2026.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA DEL REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR ARCILLA MOLDEADA CALCINADA EN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, UCAYALI - 2025**"

Autor(es)	:	**SANDY CASTRO, DANIEL FRANCIS**
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Dr. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 13/02/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, DANIEL FRANCIS SANDY CASTRO

Autor de la tesis titulada : "ANALISIS DE LA VIABILIDAD TECNICA DEL REEMPLAZO PARCIAL DE AGREGADO GRUESO POR ARCILLA MOLDEADA CALCINADA EN CONCRETO NO ESTRUCTURAL, EN EL DISTRITO DE YARINACOCHA, UCAYALI – 2025"

Sustentada el año 2026

Asesor(a): DR. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

Facultad: FISeIC

Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 14 / 08 / 2026

Email: danielsandycastro@outlook.es Firma:

Teléfono: 933346519 DNI: 73239512

DEDICATORIA

A Dios, por la sabiduría, la fuerza y por ser la luz constante en cada paso de este camino.

A mi familia, por ser mi base más sólida, mi soporte incondicional y mi mayor ejemplo de perseverancia a lo largo de toda mi vida.

A mi compañera, por tu amor infinito, tu paciencia en las horas de cansancio y por sostener mi mano para construir este sueño juntos.

Y a mi hijo que viene en camino, mi inspiración más pura. La promesa de tu llegada fue el motor que me dio las fuerzas para no rendirme. Este logro es mi primer legado para ti, la prueba de que con esfuerzo todo se puede alcanzar. Te esperamos con el alma entera.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor, por su orientación técnica, acompañamiento académico y recomendaciones oportunas, las cuales fueron fundamentales para el desarrollo adecuado de la presente investigación.

A la Universidad y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por la formación académica recibida y por brindarme las herramientas necesarias para el desarrollo de competencias profesionales y científicas.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la viabilidad técnica del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en concreto no estructural, en el distrito de Yarinacocha. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo experimental, con un diseño no experimental de corte transversal. Se elaboraron probetas cilíndricas de concreto considerando tres niveles de reemplazo del agregado grueso: 0 % (concreto patrón), 15 % y 25 %, evaluándose la resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado. Los ensayos de laboratorio se realizaron conforme a las normas ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034, utilizando equipos debidamente calibrados. Los resultados mostraron que el concreto patrón alcanzó una resistencia promedio superior al f’c de diseño (175 kg/cm²), confirmando su adecuado desempeño mecánico. Asimismo, el concreto con 15 % de reemplazo evidenció un incremento de la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional, constituyéndose como el porcentaje más favorable. Por el contrario, el concreto con 25 % de reemplazo presentó una disminución de la resistencia promedio, situándose cercana o por debajo del valor de diseño. Se concluye que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto no estructural, siendo técnicamente viable hasta un 15 % de sustitución, mientras que porcentajes mayores generan un deterioro del desempeño mecánico. Los resultados aportan evidencia experimental para el uso controlado de materiales alternativos en concreto no estructural, contribuyendo a prácticas constructivas más sostenibles.

Palabras clave: Concreto no estructural, Arcilla moldeada calcinada, Agregado grueso, Resistencia a la compresión, Reemplazo parcial.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the technical feasibility of partially replacing coarse aggregate with calcined molded clay in non-structural concrete in the district of Yarinacocha. The study followed a quantitative approach with an experimental scope and a non-experimental cross-sectional design. Concrete cylindrical specimens were prepared using three levels of coarse aggregate replacement: 0% (control mix), 15%, and 25%, and their compressive strength was evaluated at 28 days of curing. Laboratory tests were conducted in accordance with ASTM C39, AASHTO T22, and NTP 339.034 standards, using properly calibrated equipment. The results showed that the control concrete achieved an average compressive strength higher than the specified design strength (f'c = 175 kg/cm²), confirming its adequate mechanical performance. Likewise, the concrete with 15% replacement exhibited an increase in compressive strength compared to the conventional mix, representing the most favorable replacement level. In contrast, the concrete with 25% replacement showed a reduction in average compressive strength, approaching or falling below the design strength value. It is concluded that partial replacement of coarse aggregate with calcined molded clay significantly influences the compressive strength of non-structural concrete, being technically viable up to a 15% replacement level, while higher percentages lead to a deterioration of mechanical performance. The findings provide experimental evidence supporting the controlled use of alternative materials in non-structural concrete, contributing to more sustainable construction practices.

Keywords: Non-structural concrete, Calcined molded clay, Coarse aggregate, compressive strength, Partial replacement.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....vi

AGRADECIMIENTOS.....vii

RESUMEN.....viii

ABSTRACT.....ix

ÍNDICE GENERAL.....x

ÍNDICE DE TABLAS.....xii

ÍNDICE DE FIGURAS.....xiv

INTRODUCCIÓN.....xv

CAPÍTULO I.....17

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....17

1.1. Descripción y fundamentación del problema.....17

1.2. Formulación del problema.....20

1.2.1. Problema general.....20

1.2.2. Problemas específicos.....20

1.3. Objetivos de la investigación.....21

1.3.1. Objetivo general.....21

1.3.2. Objetivos específicos.....21

1.4. justificación e importancia.....21

1.5. limitaciones y alcance.....24

1.6. Hipótesis y/o sistema de hipótesis.....25

1.6.1 Hipótesis general.....25

1.6.2 Hipótesis específicas.....25

1.7. Sistemas de Variables, dimensiones e indicadores.....26

CAPÍTULO II.....31

MARCO TEÓRICO.....31

2.1. Antecedentes de la investigación.....31

2.1.1. Antecedentes internacionales 31
2.1.2. Antecedentes nacionales 33
2.1.3. Antecedentes locales 36
2.2. Bases teóricas 37
2.2.1. Viabilidad técnica 37
2.3. Definiciones de términos básicos 49
CAPÍTULO III 52
METODOLOGÍA 52
3.1. Tipo y nivel de investigación 52
3.2. Diseño de la investigación – esquema de la investigación 53
3.3. Población 56
3.4. Muestra 56
3.5. Materiales y equipos utilizados 57
3.6. Procedimiento experimental 60
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 66
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos 67
3.9. Consideraciones de confiabilidad y validez experimental 69
CAPÍTULO IV 71
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 71
4.1. Resultados descriptivos según los objetivos de la investigación 71
4.2. Análisis comparativo de los resultados 81
4.3. Análisis de resultados en relación con las hipótesis 88
4.4. Consideraciones sobre la confiabilidad de los resultados 93
4.5. Síntesis de resultados relevantes 95
CONCLUSIONES 100
RECOMENDACIONES 101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102
ANEXOS 107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable 1 29

Tabla 2. Operacionalización de variable 2 30

Tabla 3. Diseño experimental según porcentaje de reemplazo del agregado grueso 54

Tabla 4. Dosificación por tratamiento (kg/m³) 55

Tabla 5. Distribución de la población y muestra experimental 57

Tabla 6. Materiales empleados en la elaboración del concreto 59

Tabla 7. Equipos de laboratorio y normas técnicas aplicadas 60

Tabla 8. Técnicas, instrumentos y normas empleadas 67

Tabla 9. Criterios de análisis y tratamiento estadístico de los datos 68

Tabla 10. Resultados comparativos de resistencia a la compresión del concreto a 28 días 73

Tabla 11. Resultados comparativos de trabajabilidad del concreto 74

Tabla 12. Evaluación de la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada 76

Tabla 13. Resultados de resistencia a la compresión del diseño M-1 (0 % de reemplazo) 77

Tabla 14. Resultados de resistencia a la compresión – diseño M-2 (15 % de reemplazo) 79

Tabla 15. Resultados de resistencia a la compresión – diseño M-3 (25 % de reemplazo) 80

Tabla 16. Comparación de resistencias promedio a la compresión del concreto a 28 días 81

Tabla 17. Comparación del asentamiento del concreto según porcentaje de reemplazo 83

Tabla 18. Matriz comparativa de la disponibilidad operativa y logística del material sustituto 85

Tabla 19. Síntesis comparativa de la viabilidad técnica del concreto no estructural _____ 87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del diseño experimental del estudio, mostrando los tres niveles de reemplazo del agregado grueso (0 %, 15 % y 25 %) y su evaluación mediante el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días. 55

Figura 2. Resistencia promedio a la compresión a 28 días según porcentaje de reemplazo 73

Figura 3. Trabajabilidad del concreto según porcentaje de reemplazo 75

Figura 4. Gráfico estadístico de resistencia a la compresión del concreto patrón (0 % de reemplazo) 78

Figura 5. Gráfico estadístico de resistencia a la compresión – Concreto con 15 % de reemplazo 79

Figura 6. Gráfico estadístico de resistencia a la compresión – Concreto con 25 % de reemplazo 80

Figura 7. Comparación de la resistencia promedio a la compresión a 28 días según porcentaje de reemplazo 82

Figura 8. Comparación de la trabajabilidad del concreto mediante el ensayo de asentamiento 83

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial debido a su versatilidad, resistencia mecánica y disponibilidad de materiales constituyentes. En el contexto de la ingeniería civil, su empleo se extiende tanto a elementos estructurales como no estructurales, siendo estos últimos ampliamente utilizados en obras de infraestructura urbana, pavimentos rígidos, veredas, sardineles y elementos secundarios. No obstante, la creciente demanda de agregados naturales y la necesidad de promover prácticas constructivas más sostenibles han generado interés en la incorporación de materiales alternativos en la elaboración del concreto.

En los últimos años, diversas investigaciones han evaluado el uso de residuos cerámicos y materiales calcinados como sustitutos parciales de los agregados convencionales, con el objetivo de reducir el impacto ambiental y optimizar el uso de recursos disponibles. Dentro de este enfoque, la arcilla moldeada calcinada representa una alternativa potencial, debido a su disponibilidad, características físicas y posible compatibilidad con la matriz cementicia. Sin embargo, la incorporación de este material en el concreto requiere una evaluación técnica rigurosa, particularmente en términos de resistencia mecánica, para garantizar su desempeño adecuado en condiciones reales de servicio.

En el distrito de Yarinacocha, la necesidad de soluciones constructivas eficientes y sostenibles plantea la posibilidad de emplear materiales alternativos en aplicaciones de concreto no estructural. No obstante, existe una limitada evidencia experimental local que permita establecer criterios técnicos claros sobre los porcentajes óptimos de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, así como los límites a partir de los cuales dicho reemplazo podría afectar negativamente el comportamiento del concreto.

Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en concreto no estructural, considerando como principal parámetro de análisis

la resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado. Para ello, se desarrolló un estudio experimental que contempló la elaboración de probetas cilíndricas con diferentes porcentajes de reemplazo (0 %, 15 % y 25 %), cuyos resultados fueron analizados y comparados conforme a normas técnicas vigentes.

La investigación se estructura en seis capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico y conceptual, abordando antecedentes y fundamentos relacionados con el concreto y el uso de materiales alternativos. El Capítulo III describe la metodología empleada en la investigación, detallando el diseño experimental, la población y muestra, así como los procedimientos de ensayo. El Capítulo IV expone los resultados obtenidos y su análisis correspondiente. El Capítulo V discute los resultados en relación con la normativa vigente y estudios previos. Finalmente, el Capítulo VI presenta las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y fundamentación del problema

A nivel internacional, el uso de materiales alternativos en la fabricación de concreto se analizará desde su contribución a la sostenibilidad ambiental y a la eficiencia en los procesos productivos. En este contexto, la arcilla calcinada se considerará como un material con potencial técnico para sustituir el agregado grueso, dado que estudios internacionales han reportado mejoras en la resistencia del concreto. Sin embargo, los resultados obtenidos en contextos como India o Alemania como los de Ul Haq et al. Ramírez Muñoz (2025) reportan que el uso de arcilla calcinada en reemplazos de hasta 30 % logra una reducción de la huella de carbono sin comprometer la integridad estructural, aplicando ensayos normalizados y diseños experimentales comparativos con resultados satisfactorios, lo cual demuestra su viabilidad técnica en contextos globales donde se busca eficiencia y sostenibilidad en el sector construcción.

A nivel nacional, universidades peruanas como la Universidad Continental, la Universidad Nacional del Altiplano y la Universidad San Pedro han desarrollado investigaciones sobre el uso de arcilla calcinada en concretos estructurales y no estructurales, reportando mejoras en la resistencia y posibles ventajas económicas bajo condiciones específicas de laboratorio. En el presente proyecto, dichos antecedentes se tomarán como puntos de referencia comparativa, de modo que se determinará si los efectos observados en otras regiones del país pueden reproducirse en el contexto climático y logístico de Yarinacocha, considerando las diferencias en la disponibilidad de materiales, costos locales y técnicas de producción artesanal., el estudio de Marangu et al. De Paz Huaman & Paredes Zelaya (2024) desarrollado en Ecuador sobre concretos ternarios con ceniza de cascarilla de arroz y arcilla calcinada mostró mejoras en la resistencia

y en la durabilidad frente a cloruros con mezclas que mantuvieron una buena trabajabilidad, estos estudios emplean metodología experimental, poblaciones de mezclas M20, diseño factorial y enfoque cuantitativo, lo que confirma que la inclusión de materiales alternativos puede adaptarse a los estándares latinoamericanos con recursos locales disponibles.

A nivel local en la región Ucayali el contexto geotécnico de zonas como Yarinacocha se caracteriza por suelos de alta plasticidad y escasez de agregados pétreos de buena calidad para elaborar concreto no estructural, lo que ha motivado algunas investigaciones sobre estabilización de suelos y uso de agregados reciclados, sin embargo no se han realizado estudios específicos sobre el reemplazo del agregado grueso por arcilla calcinada en concreto no estructural, lo cual representa una brecha de conocimiento que afecta directamente el desarrollo de soluciones constructivas adaptadas a las condiciones locales, por ello según Ruiz Ayala & Efus Coronel (2024) se hace necesario desarrollar investigaciones aplicadas que evalúen la viabilidad técnica de este reemplazo en el distrito de Yarinacocha para fomentar construcciones más sostenibles,.

El uso de materiales alternativos en mezclas de concreto ha sido objeto de diversas investigaciones a nivel nacional e internacional, especialmente en lo que respecta a la incorporación de residuos o materiales calcinados como reemplazo parcial de agregados tradicionales; uno de ellos es la arcilla moldeada calcinada, que ha demostrado comportamientos aceptables en ciertas condiciones técnicas, en resistencia; sin embargo, pese a esos antecedentes, su aplicación no ha sido evaluada de forma localizada en contextos amazónicos como el distrito de Yarinacocha, Ucayali, donde la disponibilidad de este recurso y las condiciones ambientales pueden generar resultados distintos. Esta falta de estudios específicos para el contexto regional limita el aprovechamiento técnico y económico de este material en obras de concreto no estructural, generando dudas respecto a su viabilidad en términos de resistencia a la compresión, trabajabilidad,

costos y disponibilidad local. Por ello, es necesario desarrollar un análisis experimental que permita comprobar si su uso representa una alternativa técnicamente válida y económicamente accesible para proyectos constructivos en esta zona del país.

La principal causa del problema radica en la falta de estudios técnicos localizados que evalúen el comportamiento del concreto no estructural cuando se sustituye parcialmente el agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en proporciones específicas; a pesar de que investigaciones nacionales e internacionales respaldan su uso, no se cuenta con datos específicos sobre su desempeño en el clima húmedo de Yarinacocha ni sobre su adaptación a las condiciones locales de producción. En segundo lugar, no existe un análisis económico local que determine si esta alternativa representa una opción viable frente al concreto convencional, lo cual impide tomar decisiones basadas en costos de producción por metro cúbico. Por otro lado, la disponibilidad logística y operativa del material en la zona aún no está documentada técnicamente, lo que genera incertidumbre en cuanto a su viabilidad de uso frecuente en obras civiles.

Como consecuencia de esta falta de información aplicada, se sigue utilizando exclusivamente agregados pétreos convencionales extraídos de canteras externas, generando mayores costos logísticos y dependencias externas. Además, se desaprovecha un recurso local potencial, lo que limita la innovación técnica y el desarrollo de soluciones constructivas adaptadas a las condiciones amazónicas. La no validación técnica del material en la zona provoca el desconocimiento de su resistencia mecánica real, así como del grado de *trabajabilidad de la mezcla fresca*. Esta falta de caracterización impide que ingenieros y técnicos de la región consideren esta opción en proyectos públicos o privados, desaprovechando oportunidades de optimización técnica, económica y ecológica.

Como alternativa principal, se propone realizar una investigación experimental con enfoque aplicado, que permita analizar la viabilidad técnica del concreto no estructural con reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en proporciones del 15 % y 25 %. Esta investigación incluirá la evaluación de la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, medida en laboratorio mediante el ensayo de compresión axial, y de la trabajabilidad de la mezcla fresca mediante el ensayo de asentamiento, cubriendo así la dimensión técnica. Además, se realizará un análisis de costos comparativo por metro cúbico de mezcla, considerando precios reales de materiales locales y convencionales, abordando la dimensión económica. Finalmente, se identificará la disponibilidad del material arcilloso calcinado en Yarinacocha.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cómo el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha, 2025?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influyen las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la resistencia mecánica del concreto no estructural?
- ¿Cómo influye la dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la trabajabilidad del concreto no estructural?
- ¿Cuáles son las condiciones de disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada para su aplicación como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la viabilidad técnica del concreto no estructural mediante el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en el distrito de Yarinacocha, 2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la resistencia mecánica del concreto no estructural.
- Analizar la influencia de la dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la trabajabilidad del concreto no estructural.
- Analizar la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada como material alternativo para su aplicación en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.

1.4. justificación e importancia

1.4.1. Justificación teórica

La presente investigación aportó al desarrollo del conocimiento técnico-científico relacionado con el uso de materiales alternativos en concreto no estructural, específicamente en el estudio del comportamiento de mezclas que incorporaron la sustitución parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. El trabajo se sustentó en teorías y antecedentes experimentales de carácter nacional e internacional; sin embargo, se diferenció por centrarse en un contexto amazónico específico, en el cual las propiedades del concreto pueden verse influenciadas por factores climáticos, logísticos y de procesamiento de materiales propios de la región.

El análisis detallado de variables como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad del concreto fresco y la disponibilidad local del material alternativo permitió generar bases técnicas confiables que pueden servir como referencia para futuras investigaciones orientadas al uso de materiales no convencionales. En ese sentido, los resultados obtenidos contribuyeron a establecer criterios experimentales para la evaluación de concretos no estructurales en entornos con características similares.

De este modo, el estudio contribuyó a enriquecer el marco teórico vinculado a la tecnología del concreto y al empleo de materiales de construcción alternativos, aportando evidencia experimental que respalda el desarrollo de prácticas constructivas más sostenibles y adaptadas a las condiciones locales.

1.4.2. Justificación practica

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, el cual permitió evaluar las propiedades físico-mecánicas del concreto modificado mediante el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. En ese sentido, los resultados obtenidos proporcionaron información aplicable a la práctica profesional de la ingeniería civil en el contexto amazónico, particularmente en el ámbito del concreto no estructural.

De esta manera, la investigación brindó datos confiables que pueden ser considerados por técnicos y constructores interesados en la implementación de soluciones constructivas potencialmente más económicas y sostenibles, cuya viabilidad fue analizada a través de la comparación del comportamiento mecánico de las mezclas evaluadas. Asimismo, los resultados obtenidos permitieron orientar la toma de decisiones técnicas en proyectos de viviendas, veredas e infraestructura

urbana no estructural, contribuyendo al aprovechamiento racional de los recursos regionales.

1.4.3. Justificación metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se desarrolló bajo un diseño experimental con enfoque cuantitativo, lo cual permitió establecer relaciones objetivas entre el porcentaje de reemplazo del agregado grueso y el comportamiento técnico del concreto no estructural. Para tal fin, se emplearon ensayos de laboratorio validados, como el ensayo de resistencia a la compresión y la evaluación de la trabajabilidad mediante el ensayo de revenimiento, garantizando la confiabilidad y consistencia de los datos obtenidos.

Asimismo, se realizó un análisis comparativo del comportamiento mecánico de las mezclas evaluadas y una exploración de la disponibilidad logística del material alternativo en el contexto local, lo que permitió ampliar el alcance metodológico del estudio al considerar variables técnicas y operativas de manera integrada. Este enfoque metodológico contribuyó a fortalecer el rigor experimental de la investigación y a consolidar competencias en el ámbito de la ingeniería civil aplicada al estudio de materiales de construcción no convencionales.

1.4.4. Justificación social y económico

El proyecto se orientó a generar soluciones constructivas sostenibles y adaptadas a las condiciones del distrito de Yarinacocha, considerando el empleo de materiales disponibles en el entorno local. El aprovechamiento de la arcilla moldeada calcinada como material alternativo permitió analizar su potencial para optimizar los costos de producción en obras pequeñas y medianas, condicionado a la verificación de su viabilidad técnica a partir de los ensayos experimentales realizados.

Asimismo, el estudio evidenció que el uso de este material alternativo puede favorecer la participación de mano de obra local en actividades asociadas a la extracción, calcinación y transporte del material, contribuyendo indirectamente al fortalecimiento del desarrollo económico regional. De este modo, la investigación promovió una cultura de innovación en la gestión de materiales de construcción, enfocada en el aprovechamiento racional de recursos locales y en el impulso de prácticas constructivas más sostenibles.

1.5. limitaciones y alcance

El estudio presentó como principal limitación el enfoque experimental aplicado exclusivamente a concreto no estructural, considerando un concreto convencional como mezcla de control (0 % de reemplazo) y dos proporciones de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada (15 % y 25 %). En ese sentido, los resultados obtenidos no fueron generalizables a otros porcentajes de sustitución ni a concretos de carácter estructural, dado que el alcance de la investigación se circunscribió a las condiciones y diseños de mezcla previamente definidos.

Asimismo, los ensayos fueron ejecutados en condiciones controladas de laboratorio, las cuales pudieron diferir de determinadas condiciones reales de ejecución en obra, tales como variaciones ambientales, métodos constructivos y procesos de compactación a escala real, lo que constituyó una limitación adicional para la extrapolación directa de los resultados al contexto constructivo general.

No obstante, el estudio permitió determinar experimentalmente la viabilidad técnica del concreto no estructural, mediante la comparación del concreto convencional (0 %) con mezclas que incorporaron 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. La evaluación se realizó principalmente a través del análisis de la resistencia a la compresión a los 28 días, complementado con la verificación de la trabajabilidad

del concreto fresco y el análisis comparativo del comportamiento mecánico de las mezclas estudiadas.

Adicionalmente, se analizó la disponibilidad operativa y logística del material alternativo en el distrito de Yarinacocha, permitiendo que los resultados obtenidos constituyan una base técnica de referencia para futuras investigaciones y puedan ser considerados por profesionales e instituciones interesadas en la aplicación de materiales alternativos en construcciones no estructurales bajo contextos y condiciones similares.

1.6. Hipótesis y/o sistema de hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

- El reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyen favorablemente en la resistencia mecánica del concreto no estructural, siendo más eficiente una dosificación intermedia.
- La dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la trabajabilidad del concreto no estructural, reduciéndose esta conforme aumenta el porcentaje de reemplazo.
- La arcilla moldeada calcinada presenta condiciones de disponibilidad operativa y logística favorables para su uso como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.

1.7. Sistemas de Variables, dimensiones e indicadores

1.7.1. Variable 1: Viabilidad técnica del concreto no estructural

- **Definición operacional**

En el presente estudio, la viabilidad técnica del concreto no estructural se evalúa a partir de la resistencia mecánica, la trabajabilidad del concreto y la disponibilidad del material alternativo, considerando mezclas elaboradas con 0 % (mezcla control), 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, fabricadas y ensayadas bajo condiciones controladas de laboratorio.

La resistencia a la compresión se cuantifica mediante ensayos realizados conforme a la norma ASTM C39, considerando edades de curado representativas para el análisis comparativo del desempeño mecánico del concreto no estructural, mientras que la trabajabilidad del concreto fresco se determina a través del ensayo de asentamiento según la norma ASTM C143.

Para efectos del análisis integral, se establece como umbral de viabilidad técnica que las mezclas con reemplazo parcial del agregado grueso alcancen valores de resistencia a la compresión iguales o superiores al 80 % de la resistencia promedio del concreto convencional (0 %), manteniendo condiciones adecuadas de trabajabilidad, costos de producción competitivos y disponibilidad suficiente del material alternativo para su aplicación práctica en elementos de concreto no estructural.

1.7.2. Variable 2: Reemplazo parcial de agregado grueso por arcilla

- **Definición operacional**

Se entiende por reemplazo parcial del agregado grueso la sustitución del 0 % (mezcla control), 15 % y 25 % en masa del agregado grueso natural, de tamaño máximo nominal de 12,5 mm, por arcilla

moldeada calcinada, utilizada como material alternativo en la elaboración del concreto no estructural.

La arcilla moldeada calcinada se incorpora en la mezcla en estado seco, en proporción al peso total del agregado grueso original, procurando una distribución granulométrica compatible con el rango típico del agregado grueso empleado, de modo que no se afecte la continuidad ni la homogeneidad de la mezcla.

Durante el proceso de dosificación, se mantiene constante la relación agua/cemento en 0,55, con la finalidad de asegurar la comparabilidad de los resultados, aislar el efecto del reemplazo parcial del agregado grueso y permitir la evaluación de su incidencia en las propiedades mecánicas del concreto no estructural.

Asimismo, el control de la dosificación y proporción de los materiales permite analizar la adecuación técnica del concreto resultante para elementos no estructurales, considerando criterios de comportamiento funcional y durabilidad esperada bajo condiciones normales de uso, sin recurrir a ensayos avanzados de durabilidad.

1.8. Características técnicas de la arcilla moldeada calcinada

La investigación considera la caracterización técnica referencial de la arcilla moldeada calcinada empleada como material de reemplazo parcial del agregado grueso, con la finalidad de evaluar su compatibilidad con el concreto no estructural y sustentar su uso dentro de la fase experimental del estudio.

Dicha caracterización se aborda a partir de criterios técnicos normalizados y observaciones experimentales, tomando como referencia normas ASTM aplicables a agregados gruesos, sin que ello implique la ejecución integral de todos los ensayos normalizados.

Entre las principales características consideradas se encuentran:

- **Rango granulométrico compatible con agregado grueso**, considerando un tamaño máximo nominal de 12,5 mm y un límite inferior cercano a 4,75 mm, conforme a los criterios establecidos en normas ASTM para agregados destinados a concreto.
- **Densidad aparente y gravedad específica**, consideradas de manera referencial según la norma ASTM C127, con el propósito de analizar la relación masa–volumen del material dentro del proceso de dosificación.
- **Capacidad de absorción de agua**, evaluada desde un enfoque técnico comparativo, tomando como referencia los lineamientos de la norma ASTM C127, sin modificar la relación agua/cemento definida para la investigación.
- **Resistencia al desgaste y durabilidad**, analizadas conceptualmente a partir de los criterios establecidos en la norma ASTM C131 (ensayo de abrasión Los Ángeles), a fin de valorar el comportamiento esperado del material frente a acciones mecánicas.
- **Contenido de humedad, porosidad, forma y textura superficial**, evaluados mediante observación directa y procedimientos gravimétricos básicos, considerando su influencia en la adherencia con la pasta de cemento y en la trabajabilidad del concreto fresco.

La consideración conjunta de estos parámetros permite sustentar la idoneidad técnica de la arcilla moldeada calcinada como agregado alternativo, así como establecer criterios de control y análisis durante la fase experimental del estudio, sin comprometer la coherencia metodológica de la investigación.

1.9. Definición operacional de variables, dimensiones e indicadores

Tabla 1

Operacionalización de variable 1

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Escala
Viabilidad técnica del concreto no estructural	Grado en que el concreto no estructural elaborado con reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada resulta técnicamente factible, considerando su desempeño mecánico, su trabajabilidad, y la disponibilidad del material, evaluado mediante ensayos de laboratorio, análisis de costos y evaluación de abastecimiento.	**Resistencia mecánica**	Resistencia a la compresión axial a los 7 días (kg/cm²)	Ensayo de compresión ASTM C39 / NTP 339.034	Razón
			Resistencia a la compresión axial a los 28 días (kg/cm²)	Ensayo de compresión ASTM C39 / NTP 339.034	Razón
			Variación porcentual de la resistencia a los 28 días respecto a la mezcla patrón (%)	Análisis comparativo de resultados	Razón
		Trabajabilidad del concreto	Asentamiento del concreto fresco (cm)	Cono de Abrams – ASTM C143 / NTP 339.035	Razón
			Variación del asentamiento respecto a la mezcla patrón (cm)	Registro comparativo de resultados	Razón
			Adecuación de la trabajabilidad para concreto no estructural	Lista de verificación técnica	Ordinal
		Disponibilidad del material	Disponibilidad local del material alternativo	Ficha de evaluación de abastecimiento	Ordinal
			Facilidad de obtención del material	Registro de campo / revisión documental	Ordinal
			Continuidad del suministro del material	Lista de verificación técnica	Ordinal

Nota: Operacionalización de la variable principal
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Operacionalización de variable 2

Variable	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Instrumento	Escala
Reemplazo parcial de agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en concreto no estructural	Sustitución parcial del agregado grueso natural por arcilla moldeada calcinada en la elaboración de concreto no estructural, definida por porcentajes de reemplazo y condiciones de dosificación, con la finalidad de evaluar su influencia en el comportamiento del concreto.	**Propiedades mecánicas**	Resistencia a la compresión axial a los 7 días (kg/cm²)	Ensayo de compresión ASTM C39 / NTP 339.034	Razón
			Resistencia a la compresión axial a los 28 días (kg/cm²)	Ensayo de compresión ASTM C39 / NTP 339.034	Razón
			Variación porcentual de la resistencia respecto a la mezcla patrón (%).	Análisis comparativo de resultados	Razón
		Dosificación y proporción	Porcentaje de reemplazo del agregado grueso (%)	Ficha técnica de dosificación	Razón
			Relación agua/cemento (a/c)	Diseño de mezcla	Razón
			Proporción de materiales por m³ de concreto.	Hoja de dosificación	Razón
		Durabilidad del concreto	Adecuación del concreto para elementos no estructurales	Evaluación técnica basada en criterios normativos	Ordinal
			Comportamiento esperado frente a condiciones normales de uso.	Análisis técnico–funcional	Ordinal
			Cumplimiento de requisitos técnicos mínimos para concreto no estructural	Lista de verificación normativa	Ordinal

Nota: Operacionalización de la variable secundaria
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Inzimam Ul Hag y Colaboradores (2025) realizaron un estudio exhaustivo sobre los hormigones sostenibles con sustitución de cemento por arcilla calcinada y caliza, su objetivo fue evaluar la durabilidad y rendimiento mecánico del concreto con clinker reducido; realizaron investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental comparativo; la población fueron mezclas de concreto tipo LC3 elaboradas en laboratorio, la muestra incluyó varias proporciones de arcilla calcinada y caliza, la técnica fue ensayo de durabilidad y resistencia mecánica con datos numéricos para cada mezcla; tipo de investigación aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental comparativo; los resultados mostraron mejoras significativas en resistencia a compresión y durabilidad con baja huella de CO_2; concluyeron que los concretos LC3 representan una alternativa técnicamente viable y sostenible al cemento Portland tradicional.

Según Marangu, Sharma y Colaboradores (2024) analizaron la durabilidad del concreto ternario que incorpora ceniza de cascarilla de arroz y arcilla calcinada, su objetivo fue determinar el impacto de estos reemplazos sobre la durabilidad; realizaron investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental; la población fueron mezclas M20 con diferentes proporciones de ceniza de cascarilla y arcilla calcinada, la muestra incluyó mezclas al 5 % de ceniza y 40 % de arcilla sobre agregado grueso, la técnica incluyó ensayos de resistencia, pruebas de absorción y análisis microestructural con SEM; tipo de investigación

aplicada, enfoque cuantitativo y diseño experimental; los resultados indicaron que al 5 % y 40 % las propiedades de resistencia y durabilidad fueron superiores al control; concluyeron que dicha proporción es viable en concreto sostenible.

Según Pino Huanca & Cáceres Pineda (2021) desarrollaron una investigación sobre la adición de arcilla calcinada al concreto estructural de alta resistencia (280 y 350 kg/cm²) con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y reducir costos en la región de Puno; llevaron a cabo una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental; la población fueron concretos estructurales de alta resistencia elaborados en laboratorio, la muestra incluyó dos niveles de resistencia con arcilla calcinada reemplazando parte del cemento, la técnica fue ensayo de resistencia a compresión, densidad y costos de producción; tipo de investigación aplicada, enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental; los resultados mostraron mejora en rendimiento físico y reducción de costos respecto a la mezcla convencional; concluyeron que la arcilla calcinada puede ser una alternativa técnica y económicamente viable para concreto estructural.

Según Garces Vargas, Díaz Cardenas, & Martirena Hernandez (2024) realizaron un estudio sobre la durabilidad del concreto con arcillas calcinadas y piedra caliza tipo LC3 su objetivo fue evaluar las propiedades frescas y endurecidas del concreto expuesto a ambientes agresivos; la investigación fue aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental, la población consistió en mezclas LC3 producidas en laboratorio en Salinas, Ecuador, la muestra incluyó varias proporciones de arcilla calcinada y caliza, la técnica incluyó ensayos de asentamiento, resistencia a compresión, porosidad efectiva y permeabilidad a cloruros con datos numéricos, el tipo de investigación fue aplicada con enfoque cuantitativo y

diseño experimental comparativo; los resultados demostraron que las mezclas LC3 presentan durabilidad superior en porosidad, permeabilidad y resistencia similar o superior a concreto convencional; concluyeron que las formulaciones LC3 con hasta 50 % de clinker reemplazado son técnicamente viables y más sostenibles localmente.

El Materials Institute of Building Materials Science & Leibniz Universität Hannover (2024) llevaron a cabo un estudio para investigar la adición de arcilla calcinada en concretos estructurales estándar su objetivo fue analizar los efectos sobre la trabajabilidad, resistencia mecánica, durabilidad y sostenibilidad; realizaron investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental, la población fueron cuatro diseños de mezcla de concreto listo, la muestra incluyó doce variaciones combinando distintos niveles de arcilla calcinada y dosificación de superplastificante, la técnica incluyó ensayos de flujo, sangrado, resistencia a compresión temprana y a 28 días, resistencia al congelamiento-descongelamiento, migración de cloruros y potencial global de calentamiento con datos cuantitativos; el tipo de investigación fue aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental comparativo; los resultados indicaron que hasta 30 % de arcilla calcinada mantiene o supera la resistencia a 28 días, mejora durabilidad frente al sulfato y cloruros y aumenta sostenibilidad reduciendo huella de carbono; concluyeron que la arcilla calcinada puede ser una alternativa técnica viable y sostenible para concreto estructural.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Chavarria Reyes et al (2021) realizaron un estudio sobre la incorporación de arcilla cocida como agregado fino en hormigón estructural, su objetivo fue determinar si la sustitución del agregado fino convencional por arcilla cocida mejora las propiedades mecánicas del concreto; llevaron a cabo una investigación aplicada con enfoque

cuantitativo y diseño experimental, la población fueron mezclas de concreto estructural con diferentes porcentajes de arcilla cocida, la muestra incluyó proporciones de 15 %, 20 % y 25 % sustituyendo agregado fino, la técnica fue ensayo de flexión, tensión y compresión a los 28 días; los resultados indicaron aumento de resistencia a la compresión (8,6 %) y tensión (3,2 %) en mezcla con hasta 25 %; concluyeron que la arcilla cocida puede utilizarse técnicamente como agregado fino siempre que no exceda el 25 %.

Pino Huanca & Cáceres Pineda (2021) estudian la adición de arcilla calcinada al concreto estructural de alta resistencia en Puno, su objetivo fue determinar la influencia de la arcilla calcinada en propiedades físicas del concreto de 280 y 350 kg/cm²; investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, población fueron mezclas estructurales elaboradas en laboratorio, la muestra incluyó concretos con reemplazo parcial comparados con mezcla patrón, la técnica fue ensayo de resistencia a compresión, densidad y análisis de costos; resultados mostraron que la arcilla calcinada mejora el desempeño físico y reduce costos respecto al concreto convencional; concluyeron que es una alternativa técnica y económicamente viable para concreto estructural.

Calderon Miranda & Durand Flores (2023) evaluaron la influencia de arcilla Pasha calcinada y cenizas de cartón reciclado en concreto ternario, su objetivo fue determinar si estas adiciones mejoran las propiedades físicas y mecánicas del concreto; estudio aplicado con enfoque cuantitativo y diseño experimental, población fueron mezclas ternarias de concreto, la muestra incluyó proporciones combinadas de arcilla calcinada y ceniza de cartón, la técnica fue ensayos de resistencia mecánica y absorción; los resultados mostraron mejoras en resistencia y propiedades físicas en varias combinaciones; concluyeron que ambas

adiciones pueden ser beneficiosas como material alternativo en concreto ternario.

Gomez Flores & Quispe Herrera (2024) investigaron la influencia de cenizas volantes, polvo de caliza y arcilla de caolinita calcinada en concreto estructural en Puno, su objetivo fue identificar cómo estas mezclas afectan la resistencia, absorción y durabilidad del concreto en edificaciones; realizaron investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, población fueron diversas mezclas estructurales en laboratorio, la muestra incluyó variaciones de proporciones de ceniza volantes, caliza en polvo y arcilla calcinada, la técnica incluyó ensayos de absorción, resistividad eléctrica y compresión; los resultados indicaron que la resistencia disminuye con mayores proporciones, la durabilidad se ve afectada negativamente por permeabilidad, aunque la absorción inicial mejora; concluyeron que la arcilla calcinada y aditivos deben dosificarse cuidadosamente debido a posibles efectos adversos en durabilidad.

Barrionuevo Romero (2023) estudió la sustitución parcial del cemento por arcilla calcinada en concreto en Sihuas, su objetivo fue analizar el efecto del reemplazo del cemento en 5 % y 15 % por arcilla calcinada sobre la resistencia a compresión del concreto experimental; investigación básica explicativa con enfoque cuantitativo y diseño factorial experimental, población fueron mezclas de concreto con sustitución variable, la muestra incluyó 27 probetas (0 %, 5 %, 15 %), la técnica fue ensayo de compresión a los 7 y 28 días; resultados mostraron que 5 % de reemplazo superó la resistencia de diseño (110,3 %), mientras que 15 % disminuyó a 85,8 %; concluyeron que la arcilla calcinada tiene potencial como sustituto del cemento para mejorar resistencia mecánica y reducir impacto ambiental.

2.1.3. Antecedentes locales

Ruiz Ayala & Efus Coronel (2024) realizaron un estudio sobre el uso de concreto reciclado como reemplazo parcial de agregado en concreto f'c = 175 kg/cm² en Callería, Ucayali, su objetivo fue determinar la influencia del agregado reciclado en la resistencia a compresión del concreto convencional, fue una investigación aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental, la población fueron mezclas elaboradas con agregados extraídos de canteras locales y concreto reciclado, la muestra incluyó proporciones del 15 % y 25 % de reemplazo de agregado global por reciclado, la técnica fueron ensayos de resistencia a compresión a 7, 14, 21 y 28 días, el tipo de investigación fue aplicada, enfoque cuantitativo, diseño experimental comparativo; los resultados mostraron que en algunas proporciones la resistencia alcanzó o superó ligeramente al control a 28 días, sin embargo la trabajabilidad disminuyó debido al módulo de fineza del agregado, concluyeron que el concreto reciclado puede ser técnica y localmente viable siempre que se controle la proporción de reemplazo.

Tarazona Acuña & Gonzalez Manrique de Lara (2021-2024) condujeron un estudio sobre la estabilización de suelos arcillosos de la subrasante en el tramo Nueva Requena – Campo Verde, Ucayali, usando cloruro de calcio, su objetivo fue evaluar su contribución a la mejora de la capacidad de soporte, fue investigación aplicada con enfoque explicativo y diseño preexperimental, la población fueron muestras de suelo en calicatas a lo largo del tramo vial, la muestra incluyó 16 muestras de suelo de 190 kg cada una, la técnica fue observación, pruebas de plasticidad, densidad y capacidad portante usando fichas técnicas y análisis estadístico SPSS, tipo de investigación aplicada con enfoque cuantitativo, diseño pre experimental; los resultados mostraron reducción de plasticidad

de 22,48 % a 10,47 %, aumento de densidad máxima y capacidad de soporte hasta 44,64 %, y reducción de expansión por inmersión, concluyeron que el cloruro de calcio contribuye significativamente a la estabilización técnica del suelo arcilloso en Ucayali.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Viabilidad técnica

- **Concepto**

La viabilidad técnica de un material dentro del concreto se evalúa mediante indicadores como resistencia mecánica, trabajabilidad y durabilidad en condiciones específicas de uso; en este proyecto se considerará la arcilla moldeada calcinada como posible reemplazo parcial del agregado grueso, en un entorno amazónico donde los recursos convencionales son escasos; según Aïtcin (2000), la viabilidad técnica implica comprobar que el nuevo material cumpla los requisitos funcionales sin afectar negativamente la calidad del producto final; esta validación no es solo teórica, sino experimental, utilizando normas técnicas de ensayo para obtener resultados concretos que sustenten su aplicación.

En el contexto de construcción sostenible, evaluar la viabilidad técnica también permite impulsar alternativas locales frente a materiales escasos o costosos; el concreto con materiales alternativos debe cumplir propiedades aceptables que garanticen su uso en elementos no estructurales como veredas o solados; según Mehta & Monteiro (2014), una opción técnicamente viable no solo alcanza la resistencia esperada, sino que lo hace con estabilidad en el tiempo, durabilidad y compatibilidad con los otros componentes de la mezcla; por ello, este estudio usará procedimientos estandarizados de laboratorio que aseguren la confiabilidad de sus resultados.

Además, la viabilidad técnica de una mezcla de concreto no se limita a obtener resistencia, sino a verificar que los materiales sean compatibles, trabajables y fácilmente procesables en condiciones de obra real; de acuerdo con Neville (2011), la trabajabilidad del concreto es un factor clave para su aplicación práctica, ya que define su facilidad de colocación, compactación y acabado; en este estudio, la evaluación incluirá el asentamiento tipo slump, tiempo de fraguado y comportamiento al mezclado, a fin de establecer si el concreto modificado conserva su funcionalidad operativa.

Finalmente, la viabilidad técnica de usar arcilla moldeada calcinada como agregado se evaluará también desde el enfoque económico y de accesibilidad; es decir, el material debe estar disponible, ser procesable y permitir un ahorro o equilibrio frente al concreto tradicional; según Kosmatka et al. (2016), una solución técnica solo es viable si es repetible, rentable y adaptable a diferentes contextos; por ello, este análisis abarcará también la disponibilidad de arcilla en Yarinacocha y los costos de su tratamiento térmico y uso en obra.

- **Agregado grueso**

El agregado grueso es uno de los principales componentes del concreto, representando hasta el 75 % de su volumen total; su función es brindar resistencia, estabilidad y rigidez a la mezcla, por lo cual su selección debe cumplir requisitos de tamaño, forma, textura y durabilidad; según Mindess et al. (2003), las propiedades del agregado influyen directamente en la resistencia final del concreto, por lo que su sustitución parcial requiere evaluación experimental previa para garantizar su compatibilidad con el cemento y los otros componentes.

El tipo de agregado grueso influye en la densidad, trabajabilidad y durabilidad del concreto; si es anguloso o poroso, puede modificar el

consumo de agua y cemento, afectando tanto la resistencia como el costo; según Shetty (2005), la elección del agregado debe considerar su módulo de elasticidad, absorción y resistencia a la fragmentación, especialmente en aplicaciones no estructurales donde la economía también es una variable crítica; en este proyecto se comparará el desempeño del agregado tradicional con el de arcilla calcinada tratada térmicamente.

En zonas como Yarinacocha, donde la explotación de canteras es limitada y el acceso a materiales convencionales puede ser costoso, el uso de materiales alternativos como reemplazo parcial de agregado grueso cobra mayor relevancia; según Mamlouk y Zaniewski (2017), el concreto con agregados sustituidos puede cumplir con las exigencias técnicas si se controla la granulometría, el contenido de vacíos y la calidad de la mezcla; por eso, se elaborarán diseños con proporciones de 15 % y 25 % para verificar su rendimiento mecánico y económico.

Por otro lado, la evaluación del agregado grueso debe incluir ensayos específicos como el de abrasión, densidad aparente y absorción, ya que estos determinan su capacidad para resistir esfuerzos, humedad y desgaste en el tiempo; según Gambhir (2013), el comportamiento del agregado dentro del concreto afecta la formación de microfisuras y la vida útil del elemento; por tanto, cualquier reemplazo, como el de arcilla moldeada calcinada, será sometido a estos ensayos para validar su uso en condiciones reales.

- **Arcilla moldeada calcinada**

La arcilla moldeada calcinada es un material arcilloso tratado térmicamente entre 600 °C y 900 °C para modificar su estructura química, eliminando agua de hidratación y activando su comportamiento puzolánico o estructural; según Sabir et al. (2001), este tratamiento transforma la caolinita en metacaolin, mejorando su resistencia, reactividad y capacidad

de integrarse como parte de mezclas de concreto; en este proyecto, la arcilla calcinada se utilizará como agregado grueso alternativo, no como sustituto de cemento.

La morfología de la arcilla calcinada influye en la distribución de cargas internas del concreto, por su textura porosa y forma angular puede aumentar la fricción interna, mejorando la resistencia pero también afectando la trabajabilidad; según jing, WU, & Dhanada K. (2021), su aplicación dependerá de un balance entre resistencia, consumo de agua y facilidad de colocación; por ello, el ensayo de asentamiento será una herramienta clave para verificar la viabilidad de este material en condiciones reales de obra.

En zonas amazónicas como Yarinacocha, el uso de arcilla moldeada calcinada tiene sentido tanto por su disponibilidad como por su potencial técnico; su calcinación puede realizarse a pequeña escala, utilizando hornos artesanales o industriales, lo cual facilita su integración en proyectos de bajo presupuesto; según Justice & Kurtis (2007), la clave está en controlar el proceso térmico para asegurar una calidad homogénea del material, lo que se evaluará mediante análisis de granulometría, densidad y resistencia.

Finalmente, además de sus propiedades técnicas, la arcilla moldeada calcinada puede contribuir a la sostenibilidad del concreto, al reducir el uso de recursos convencionales y minimizar el impacto ambiental; según M, J, F, & K. (2012), el uso de materiales calcinados locales promueve una economía circular en la construcción, disminuye las emisiones por transporte y reduce la presión sobre canteras tradicionales; este estudio busca verificar si estas ventajas pueden lograrse sin comprometer el desempeño técnico del concreto.

- **Caracterización físico-técnica de la arcilla moldeada calcinada**

La investigación considera una caracterización técnica de carácter referencial de la arcilla moldeada calcinada empleada como material de reemplazo parcial del agregado grueso, con la finalidad de evaluar su compatibilidad general con el concreto no estructural y sustentar su uso dentro de la fase experimental del estudio, sin que dicha caracterización constituya una variable de análisis ni implique la ejecución integral de ensayos normativos específicos.

Esta caracterización se aborda a partir de criterios técnicos comúnmente aceptados y observaciones experimentales básicas, tomando como referencia lineamientos generales establecidos en normas ASTM aplicables a agregados para concreto, sin que ello implique la obtención de resultados normativos formales.

Entre los aspectos considerados se encuentra la verificación de un rango granulométrico compatible con el agregado grueso utilizado en la investigación, considerando un tamaño máximo nominal de 12,5 mm y un límite inferior cercano a 4,75 mm, de acuerdo con criterios técnicos usuales para agregados destinados a concreto. Asimismo, se consideran de manera referencial valores típicos de densidad aparente y gravedad específica reportados en la literatura técnica para materiales cerámicos calcinados, con el propósito de analizar de forma orientativa su relación masa–volumen dentro del proceso de dosificación.

De igual forma, la absorción de agua, la porosidad, la forma y la textura superficial del material se analizan desde un enfoque técnico–descriptivo y comparativo, considerando su posible influencia en la trabajabilidad del concreto fresco y en la adherencia con la pasta de cemento, sin modificar la relación agua/cemento definido para el estudio.

En relación con la resistencia al desgaste y la durabilidad del material, se realiza únicamente un análisis conceptual basado en criterios técnicos generalmente aceptados para agregados empleados en concreto no estructural, sin la ejecución de ensayos específicos como el de abrasión Los Ángeles, limitándose a una valoración del comportamiento esperado del material en aplicaciones de baja exigencia estructural.

La consideración conjunta de estos criterios permite sustentar la idoneidad técnica preliminar de la arcilla moldeada calcinada como agregado alternativo, manteniendo la coherencia metodológica y el alcance experimental definido para la investigación.

- **Concreto no estructural / con hormigón**

El concreto no estructural se emplea en elementos que no soportan cargas relevantes, como veredas, sardineles y pisos, permitiendo mayor flexibilidad en el diseño de mezclas; según Kosmatka et al. (2016), estos concretos pueden fabricarse con materiales alternativos, siempre que cumplan requisitos mínimos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad, por lo que representan una alternativa eficiente para obras de bajo costo y rápida ejecución.

Este tipo de concreto es especialmente útil en regiones donde los recursos convencionales son limitados o costosos; en este sentido, Neville (2011) sostiene que para elementos no estructurales el concreto puede presentar menores exigencias en resistencia, pero no debe sacrificar cohesión, resistencia al desgaste ni durabilidad frente al ambiente; por ello, evaluar nuevos agregados en este contexto es una opción viable y relevante.

En el caso de Yarinacocha, el uso de concreto no estructural con materiales locales como arcilla moldeada calcinada puede representar una solución técnica y económica; Shetty (2005) explica que cuando se

emplean agregados no convencionales, se debe asegurar que no generen segregación ni aumenten excesivamente la demanda de agua, garantizando un comportamiento adecuado durante el fraguado y curado.

Además, el concreto no estructural permite ensayar nuevas tecnologías y sustituciones sin afectar la seguridad estructural de edificaciones; Mindess et al. (2003) destacan que su flexibilidad lo convierte en un excelente campo de prueba para evaluar mezclas con componentes reciclados o regionales, por lo cual este tipo de estudio puede aportar significativamente al desarrollo local y la sostenibilidad en la construcción.

- **Determinación de la resistencia esperada y resistencia patrón**

Considerando que el presente estudio se enfocará en el análisis de concretos no estructurales, se establecerá una resistencia característica de referencia que servirá como hipótesis de trabajo para la fase experimental. En concordancia con las especificaciones de concretos destinados a veredas, pisos, sardineles y elementos arquitectónicos no portantes, se propondrá una resistencia característica prevista de 10 MPa (equivalente a un concreto tipo C10) a los 28 días de curado, valor que se tomará únicamente como referencia inicial y que podrá ajustarse según los resultados preliminares o la disponibilidad de materiales en la zona.

Como resistencia patrón, se utilizará el concreto convencional elaborado con agregado grueso natural (0 % de reemplazo), cuya resistencia promedio a 28 días servirá como punto de comparación frente a las mezclas con reemplazo parcial de 15 % y 25 %. Las probetas se moldearán en forma cilíndrica (Ø100×200 mm) o cúbica (150×150×150 mm), de acuerdo con las condiciones del laboratorio, y los ensayos se realizarán conforme a la norma ASTM C39 o su equivalente EN 12390-3.

Asimismo, se prevé registrar los valores de resistencia a los 7 días, 28 días y opcionalmente 90 días, con el propósito de analizar la ganancia de resistencia en el tiempo. Se considerará que una mezcla cumple la resistencia objetivo si la media aritmética de tres probetas a 28 días alcanza o supera el valor de referencia propuesto. Todos los resultados se presentarán con su media y desviación estándar, lo que permitirá establecer comparaciones objetivas entre el concreto patrón y las mezclas modificadas con arcilla moldeada calcinada.

- **Diseño de la mezcla patrón para probetas de referencia**

Para el desarrollo experimental, se elaborará una mezcla patrón de concreto no estructural, que servirá como referencia comparativa frente a las mezclas con reemplazo parcial de agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. La mezcla patrón corresponderá a un concreto convencional de tipo C10, con una resistencia característica prevista de 10 MPa a los 28 días, formulada bajo condiciones estándar de laboratorio.

El diseño de la mezcla se realizará empleando el método ACI 211.1, ajustado a los parámetros locales de disponibilidad de materiales y condiciones climáticas de la región de Yarinacocha. Para ello, se emplearán los siguientes componentes: cemento Portland tipo I, arena gruesa local, piedra chancada de ½” como agregado grueso, y agua potable conforme a la norma NTP 339.088. Se mantendrá una relación agua/cemento proyectado entre 0.55 y 0.60, considerando la trabajabilidad deseada para elementos no estructurales.

Previamente al diseño definitivo, se considerarán de manera referencial las características físicas generales de los agregados empleados, tales como el rango granulométrico y la masa volumétrica aparente, a partir de información técnica disponible, observación experimental y valores típicos reportados en la literatura, con la finalidad

de orientar el proceso de dosificación sin que ello implique la ejecución de ensayos normativos específicos sobre la arcilla moldeada calcinada.

En caso de que las condiciones del laboratorio lo requieran, se elaborará un lote de prueba inicial (mezcla piloto) con el propósito de verificar la consistencia mediante el ensayo de asentamiento (ASTM C143) y ajustar el contenido de agua si fuera necesario. Este procedimiento permitirá garantizar la homogeneidad y reproducibilidad de las probetas patrón y asegurar la validez de las comparaciones experimentales posteriores.

- **Resistencia mecánica**

La resistencia mecánica del concreto es una de sus propiedades más importantes, ya que determina su capacidad de soportar esfuerzos de compresión sin fallar; según Mehta & Monteiro (2014), esta propiedad depende de factores como la relación agua/cemento, tipo de agregado, curado y compactación, por lo tanto, cualquier cambio en la mezcla debe ser evaluado mediante ensayos específicos.

El reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada puede alterar la resistencia del concreto, debido a su diferente densidad y textura; Neville (2011) señala que el uso de materiales con mayor porosidad puede afectar negativamente la resistencia, aunque en mezclas no estructurales se permiten rangos más flexibles, siempre y cuando se cumpla con la función requerida.

La resistencia se evalúa comúnmente a través de ensayos de compresión a los 7 y 28 días, valores que permiten determinar si el concreto es apto para su uso; Gambhir (2013) explica que estos ensayos deben realizarse con muestras estandarizadas y bajo condiciones controladas para asegurar la comparabilidad entre mezclas con distintos tipos de agregado.

Por último, se debe considerar que la resistencia no depende solo de la calidad del agregado, sino también de la interacción entre todos los componentes del concreto; Kosmatka et al. (2016) indican que, al introducir nuevos materiales como la arcilla calcinada, es indispensable ajustar las proporciones de agua, cemento y aditivos para mantener la resistencia dentro de parámetros aceptables.

- **Trabajabilidad del concreto**

La trabajabilidad del concreto es la propiedad que indica cuán fácil es mezclarlo, transportarlo, colocarlo y compactarlo sin que se segregue ni pierda cohesión; según Shetty (2005), este factor es determinante para lograr un buen acabado superficial y una mezcla homogénea, especialmente en obras manuales como las que predominan en zonas como Yarinacocha.

Uno de los principales ensayos que se utiliza para medir la trabajabilidad es el de asentamiento tipo “slump”, el cual permite observar el comportamiento del concreto fresco; Mindess et al. (2003) mencionan que mezclas con materiales porosos como la arcilla calcinada pueden absorber más agua, afectando negativamente el asentamiento si no se corrige con la dosificación adecuada.

Además, la forma, textura y granulometría del agregado influyen en la trabajabilidad; Neville (2011) indica que agregados angulosos o con superficies rugosas requieren mayor cantidad de agua y cemento para mantener la fluidez, por lo que al introducir la arcilla calcinada en la mezcla se debe controlar cuidadosamente la relación agua/cemento.

Por último, una mezcla con baja trabajabilidad puede provocar vacíos, segregación y falta de compactación, comprometiendo la durabilidad del elemento; Mehta & Monteiro (2014), afirman que la trabajabilidad debe adaptarse a las condiciones de obra, considerando

temperatura, tiempo de colocación y método de aplicación, factores clave en contextos locales como el de Yarinacocha.

- **Costo de producción**

El costo de producción del concreto se ve influenciado por la disponibilidad de materiales, su transporte, el proceso de preparación y los recursos humanos involucrados; según Kosmatka et al. (2016), el concreto convencional incluye costos fijos asociados al uso de agregados extraídos de canteras, cuyos precios pueden elevarse en regiones como Ucayali debido a su transporte desde zonas alejadas. Al introducir la arcilla moldeada calcinada como reemplazo parcial del agregado grueso, se espera reducir los costos relacionados al acarreo, ya que este recurso se puede obtener y procesar localmente, disminuyendo la dependencia de fuentes externas y favoreciendo una producción más económica.

La calcinación de la arcilla genera un costo adicional por el uso de energía y el tiempo de procesamiento, pero si se realiza a escala artesanal o semi-industrial con hornos eficientes, puede mantenerse competitivo; Neville (2011) afirma que el análisis económico debe considerar no solo el costo directo del material, sino también el ahorro por accesibilidad, menor desgaste de equipos y posibilidad de reducción en el uso de aditivos gracias a su buena integración en la mezcla. Por ello, este aspecto económico debe evaluarse con una visión local y de sostenibilidad.

Asimismo, la incorporación de materiales alternativos como la arcilla calcinada puede reducir el consumo de cemento o permitir mezclas más ligeras, lo que incide en ahorro en el transporte y en el volumen total necesario; Mehta & Monteiro (2014), estas ventajas deben ser cuantificadas mediante ensayos controlados que evalúen no solo la resistencia, sino también los efectos económicos indirectos en la construcción. Esto será especialmente útil en el distrito de Yarinacocha,

donde los costos logísticos impactan directamente en el presupuesto de las obras.

Finalmente, el análisis del costo de producción será comparativo, utilizando una mezcla patrón y mezclas modificadas con 15 % y 25 % de reemplazo de agregado; Gambhir (2013), señala que este tipo de estudios son útiles para definir costos unitarios por metro cúbico de concreto, permitiendo a los ingenieros y constructores tomar decisiones más eficientes en contextos donde el presupuesto es limitado. Así, el estudio aportará una visión clara sobre el ahorro o incremento que supone la inclusión de arcilla calcinada en el concreto no estructural.

- **Disponibilidad del material**

La disponibilidad del material es un factor clave en la viabilidad técnica de una alternativa constructiva, ya que de ella depende la continuidad, economía y escalabilidad del proyecto; según Aïtcin (2000), los materiales locales que cumplen requisitos técnicos pueden reducir costos logísticos, dinamizar la economía regional y disminuir la huella de carbono de las obras. En este sentido, la arcilla moldeada calcinada presenta un alto potencial por su abundancia natural en zonas como Yarinacocha.

La extracción de arcilla no requiere procesos altamente mecanizados y su tratamiento térmico puede realizarse con equipos simples, lo cual facilita su producción continua; Shetty (2005) sostiene que los materiales alternativos deben evaluarse también por su viabilidad de obtención y procesamiento en volúmenes adecuados, garantizando que el suministro no se vea interrumpido en plena ejecución de obra. En Yarinacocha, este tipo de arcilla está disponible en suelos superficiales con bajo uso agrícola, lo que facilita su recolección.

Además, al tratarse de un recurso natural subutilizado, su extracción no compite con actividades productivas como agricultura o ganadería, y puede desarrollarse con participación de comunidades locales; Mehta & Monteiro (2014) afirman que la disponibilidad real debe medirse no solo por la presencia física del material, sino también por su accesibilidad legal, social y ambiental. Esto permite que su uso no represente un conflicto ni cause deterioro de zonas protegidas o pobladas.

Por último, la disponibilidad del material influye directamente en la toma de decisiones constructivas; Neville (2011) explica que incluso un excelente material puede volverse inviable si es escaso o difícil de transportar, por lo que contar con una fuente cercana y continua de arcilla calcinada representa una ventaja técnica frente al uso exclusivo de agregados convencionales. Este aspecto se considera como un criterio técnico complementario de análisis, con la finalidad de contextualizar los resultados experimentales y evaluar la factibilidad práctica del uso de la arcilla moldeada calcinada en el ámbito local de Yarinacocha.

2.3. Definiciones de términos básicos

- **Concreto**

Neville (2011) define al concreto como un material compuesto esencialmente por cemento, agua, agregados finos y gruesos, que mediante un proceso de fraguado y endurecimiento desarrolla resistencia mecánica y durabilidad.

- **Concreto no estructural**

Kosmatka et al. (2016) señalan que el concreto no estructural es aquel que se utiliza en elementos de construcción que no soportan cargas significativas, como veredas, sardineles o pisos, y que no requieren resistencia estructural alta.

- **Agregado grueso**

Mehta & Monteiro (2014) definen al agregado grueso como la fracción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm, que proporciona rigidez, resistencia y estabilidad volumétrica al concreto.

- **Arcilla moldeada calcinada**

B Sabir, Wild, & Bai (2001) explican que la arcilla calcinada es un material arcilloso sometido a altas temperaturas para eliminar componentes volátiles y mejorar su reactividad química o desempeño físico dentro del concreto.

- **Viabilidad técnica**

Según Aïtcin (2000), la viabilidad técnica se refiere a la capacidad de un material o sistema para cumplir con los requerimientos de funcionalidad, resistencia, compatibilidad y durabilidad bajo condiciones reales de uso.

- **Resistencia a la compresión**

Gambhir (2013) afirma que la resistencia a la compresión es la propiedad más importante del concreto, determinada mediante ensayos de carga axial, que indica la capacidad del material para soportar esfuerzos sin fallar.

- **Trabajabilidad**

Shetty (2005) define la trabajabilidad como la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, transportado, colocado y compactado sin segregación ni pérdida de homogeneidad.

- **Calcinación**

M, J, F, & K. (2012) definen la calcinación como el proceso térmico mediante el cual se eliminan compuestos volátiles o agua estructural en materiales arcillosos, modificando su estructura y activando su comportamiento como adición o agregado.

- **Durabilidad**

Neville (2011) explica que la durabilidad del concreto es su capacidad para resistir condiciones ambientales agresivas durante su vida útil sin deterioro significativo en sus propiedades físicas o mecánicas.

- **Costo de producción**

Kosmatka et al. (2016) definen el costo de producción en concreto como la suma de los costos de materiales, mano de obra, energía, transporte y otros insumos necesarios para la fabricación de un metro cúbico de mezcla.

- **Material alternativo**

Mehta & Monteiro (2014) definen un material alternativo como cualquier insumo diferente a los tradicionales que puede ser incorporado al concreto, siempre que cumpla requisitos técnicos y contribuya a reducir costos o impactos ambientales.

- **Sustitución parcial de agregado**

Mindess et al. (2003) señalan que la sustitución parcial de agregado consiste en reemplazar una fracción del volumen de agregado tradicional por otro material de similares propiedades físicas o químicas, evaluando sus efectos en la mezcla.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, en la medida en que se orienta a la solución de un problema práctico relacionado con el uso de materiales alternativos en la producción de concreto no estructural. En específico, se analiza la viabilidad técnica y económica, desde un enfoque experimental y comparativo, del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en el distrito de Yarinacocha, región Ucayali.

El estudio se sustenta en la aplicación de ensayos de laboratorio, principalmente de resistencia a la compresión y trabajabilidad del concreto y la revisión descriptiva de la disponibilidad operativa del material alternativo en el ámbito local, con la finalidad de generar resultados aplicables a la realidad constructiva regional.; según Hernández- Sampieri, Fernadez-Collado, & Baptista-Lucio (2014), la investigación aplicada se caracteriza por su propósito práctico, ya que transforma el conocimiento teórico en propuestas útiles y contextualizadas para resolver necesidades reales.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la presente investigación es explicativo, con un alcance experimental y comparativo, ya que se orienta a analizar y explicar el efecto del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada sobre el comportamiento del concreto no estructural. En particular, el estudio evalúa cómo las proporciones de reemplazo del 15 % y 25 %, en comparación con la mezcla control (0 %), influyen en variables

técnicas como la resistencia a la compresión y la trabajabilidad, permitiendo interpretar de manera fundamentada el comportamiento del concreto modificado bajo condiciones controladas de laboratorio.

La disponibilidad del material alternativo en el ámbito local se considera como un criterio complementario de análisis, con la finalidad de contextualizar los resultados y valorar su aplicabilidad en la realidad constructiva del distrito de Yarinacocha.; según (Hernández- Sampieri, Fernadez-Collado, & Baptista-Lucio, 2014), el nivel explicativo profundiza en las causas de los fenómenos, porque no solo describe o relaciona variables, sino que analiza el porqué y el cómo ocurren dichos efectos.

3.1.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, debido a que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de ensayos experimentales de laboratorio y de un análisis comparativo de costos. Se evalúan variables técnicas del concreto no estructural, tales como la resistencia a la compresión y la trabajabilidad, con la finalidad de obtener resultados objetivos, medibles y comparables.

Este enfoque permite analizar el comportamiento del concreto elaborado con distintos niveles de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada (0 %, 15 % y 25 %), bajo condiciones controladas de laboratorio, asegurando la consistencia y confiabilidad de los resultados obtenidos.; según Hernández- Sampieri, Fernadez-Collado, & Baptista-Lucio (2014), el enfoque cuantitativo se caracteriza por el uso de la recolección de datos cuantificables y el análisis estadístico para comprobar hipótesis y explicar fenómenos con base en evidencia empírica.

3.2. Diseño de la investigación – esquema de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental, debido a que no se manipuló de manera intencional el entorno ni se alteraron las

condiciones naturales de los materiales, sino que se observaron y analizaron los resultados obtenidos a partir de ensayos de laboratorio realizados sobre mezclas de concreto previamente definidas. Asimismo, el estudio tuvo un enfoque experimental de laboratorio, dado que se elaboraron probetas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, con el propósito de evaluar su comportamiento mecánico.

El diseño fue de corte transversal, ya que las variables fueron medidas en un único período de tiempo, específicamente a los 28 días de curado, conforme a lo establecido por la resistencia especificada de diseño (f'c = 175 kg/cm²), sin considerar mediciones repetidas en distintos momentos. Esta decisión respondió a los criterios técnicos establecidos en las normas ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034, las cuales indican que la edad de 28 días es representativa para evaluar el desempeño mecánico del concreto.

En función del objetivo de la investigación, se evaluaron tres diseños de mezcla: un concreto patrón sin reemplazo de agregado grueso (0 %), un concreto con 15 % de reemplazo y un concreto con 25 % de reemplazo. Cada diseño fue sometido a ensayos de resistencia a la compresión axial, permitiendo comparar el efecto del porcentaje de reemplazo sobre la resistencia mecánica del concreto no estructural y determinar su viabilidad técnica.

Tabla 3

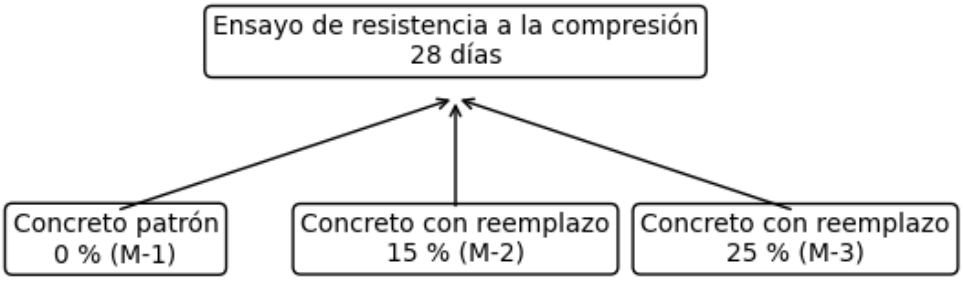
Diseño experimental según porcentaje de reemplazo del agregado grueso

Diseño de mezcla	Porcentaje de reemplazo de agregado grueso	Tipo de concreto	Edad de ensayo (días)	Ensayo realizado	Norma aplicada
M-1	0 %	Concreto patrón	28	Resistencia a la compresión	ASTM C39 / AASHTO T22 / NTP 339.034
M-2	15 %	Concreto modificado	28	Resistencia a la compresión	ASTM C39 / AASHTO T22 / NTP 339.034
M-3	25 %	Concreto modificado	28	Resistencia a la compresión	ASTM C39 / AASHTO T22 / NTP 339.034

Fuente: Elaboración propia.
Nota: Los ensayos se realizaron sobre probetas cilíndricas de concreto curadas durante 28 días, conforme a los procedimientos establecidos en las normas técnicas vigentes.

Figura 1

Esquema del diseño experimental del estudio, mostrando los tres niveles de reemplazo del agregado grueso (0 %, 15 % y 25 %) y su evaluación mediante el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días.



Fuente: Elaboración propia.
Nota: El esquema representa los diseños de mezcla evaluados y el procedimiento de medición aplicado de manera uniforme a todas las probetas.

Donde:

Grupo 1 (0 %): Corresponde al grupo control, elaborado con concreto convencional, sin reemplazo del agregado grueso.

Grupo 2 (15 %) y Grupo 3 (25 %): Corresponden a los grupos experimentales, en los cuales se aplica el tratamiento consistente en el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, manteniéndose constantes las demás variables del diseño de mezcla.

Tabla 4

Dosificación por tratamiento (kg/m³)

Mezcla	% reemplazo de agregado grueso	Cemento (kg/m³)	Arena (kg/m³)	Agregado grueso (kg/m³)	Arcilla calcinada (kg/m³)	Agua (kg/m³)	Relación a/c
M-1	0%	320	780	980	0	185	0.58
M-2	15%	320	780	833	147	185	0.58
M-3	25%	320	780	735	245	185	0.58

Fuente: Elaboración propia con base en estructura de diseño f'c=175 kg/cm² y tratamientos 0–15–25%.

La dosificación se estableció manteniendo constantes los componentes principales (cemento, arena, agua y relación a/c), y variando únicamente el componente correspondiente al agregado grueso mediante su sustitución parcial

por arcilla moldeada calcinada. En consecuencia, la mezcla M-1 (0%) se utilizó como control; mientras que M-2 y M-3 incorporaron 15% y 25% de reemplazo, respectivamente. Este control de variables permitió atribuir los cambios observados en trabajabilidad y resistencia principalmente al efecto del porcentaje de sustitución del agregado grueso, reduciendo la influencia de factores externos en la comparación experimental.

3.3. Población

La población de estudio estuvo constituida por veintisiete (27) probetas cilíndricas de concreto, elaboradas y ensayadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L., ubicado en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, laboratorio acreditado y certificado para la realización de ensayos de concreto conforme a normas técnicas vigentes.

Cada probeta representó una unidad de análisis, debido a que permitió evaluar de forma individual la resistencia a la compresión axial del concreto no estructural, bajo condiciones controladas de ensayo. Las probetas fueron elaboradas conforme a los procedimientos establecidos por las normas ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034, garantizando la uniformidad del proceso experimental.

El total de probetas fue organizado en tres resultados experimentales independientes, correspondientes a tres etapas de evaluación, considerando tres diseños de mezcla: concreto patrón (0 % de reemplazo), concreto con 15 % de reemplazo y concreto con 25 % de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, manteniendo constantes las condiciones de dosificación, curado y ensayo.

3.4. Muestra

La muestra fue de tipo censal, dado que se trabajó con la totalidad de las probetas elaboradas y ensayadas durante el estudio experimental, no siendo

necesario aplicar técnicas de muestreo probabilístico o no probabilístico, lo cual permitió obtener resultados representativos para cada tratamiento evaluado.

Tabla 5

Distribución de la población y muestra experimental

Diseño de mezcla	% de reemplazo	Probetas por resultado	Número de resultados	Total de probetas
M-1	0 %	3	3	9
M-2	15 %	3	3	9
M-3	25 %	3	3	9
Total general	—	—	—	**27**

Fuente: Elaboración propia, a partir de los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L.
Nota: Todas las probetas fueron ensayadas a la edad de 28 días, utilizando una prensa de compresión axial debidamente calibrada, conforme a las normas ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034.

3.5. Materiales y equipos utilizados

En esta sección se describen los materiales constituyentes del concreto y los equipos de laboratorio empleados durante el desarrollo experimental de la investigación, los cuales fueron utilizados en la elaboración de las probetas, su curado y posterior evaluación de la resistencia a la compresión axial. Todos los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L., bajo condiciones controladas y conforme a normas técnicas vigentes.

3.5.1. Materiales constituyentes del concreto

Los materiales empleados en la elaboración de las mezclas de concreto correspondieron a los componentes tradicionalmente utilizados en concreto no estructural, incorporando adicionalmente la arcilla moldeada calcinada como material alternativo de reemplazo parcial del agregado grueso. A continuación, se detallan los materiales utilizados:

- **Cemento Portland**

Se utilizó cemento Portland Tipo I, debido a su uso generalizado en obras de concreto no estructural y su adecuada compatibilidad con los materiales agregados empleados en la investigación. Este tipo de cemento

permitió garantizar un desarrollo normal de resistencia y uniformidad en las mezclas elaboradas.

- **Agregado fino**

El agregado fino utilizado correspondió a arena natural, limpia y libre de materia orgánica, proveniente de fuente local, empleada conforme a los requisitos granulométricos establecidos para la elaboración de concreto. Este material fue seleccionado por su adecuada trabajabilidad y comportamiento mecánico en la mezcla.

- **Agregado grueso**

El agregado grueso consistió en piedra chancada, utilizada como material convencional en el concreto patrón. En las mezclas experimentales, este agregado fue reemplazado parcialmente por arcilla moldeada calcinada en los porcentajes definidos (15 % y 25 %), manteniéndose constantes las demás condiciones del diseño de mezcla.

- **Arcilla moldeada calcinada**

La arcilla moldeada calcinada fue empleada como material alternativo para el reemplazo parcial del agregado grueso. Este material fue previamente sometido a un proceso de calcinación controlada y acondicionamiento, a fin de garantizar su estabilidad y compatibilidad dentro de la matriz del concreto. Su incorporación permitió evaluar el efecto del reemplazo sobre la resistencia a la compresión del concreto no estructural.

- **Agua de mezclado**

El agua utilizada en la elaboración de las mezclas y en el curado de las probetas fue agua potable, conforme a los criterios establecidos para su uso en la fabricación de concreto, asegurando que no contuviera

sustancias perjudiciales que afecten el proceso de hidratación del cemento.

Tabla 6

Materiales empleados en la elaboración del concreto

Material	Tipo / Descripción	Función en la mezcla	Observación
Cemento	Cemento Portland Tipo I	Material aglomerante	Uso general en concreto no estructural
Agregado fino	Arena natural	Relleno y trabajabilidad	Limpio y libre de impurezas
Agregado grueso	Piedra chancada	Soporte estructural	Parcialmente reemplazado
Arcilla calcinada	Arcilla moldeada calcinada	Agregado alternativo	Reemplazo del 15 % y 25 %
Agua	Agua potable	Hidratación y curado	Uso conforme a criterios técnicos

Fuente: Elaboración propia.
Nota: Los materiales fueron empleados conforme a los procedimientos establecidos en el laboratorio GEOTÉCNICA E.I.R.L.

3.5.2. Equipos de laboratorio

Para la ejecución de los ensayos se utilizaron equipos de laboratorio adecuados y debidamente calibrados, garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos. Los equipos empleados permitieron el control preciso de las variables durante la elaboración, curado y ensayo de las probetas de concreto.

- **Prensa de compresión**

Se empleó una prensa hidráulica de compresión marca ELE International, con una capacidad nominal de 120 000 kgf, equipada con indicador digital ADR Touch, con una resolución de 1 kgf, utilizada para la determinación de la resistencia a la compresión axial de las probetas. Este equipo contó con certificado de calibración vigente, conforme a la norma UNE-EN ISO 7500-1.

- **Moldes cilíndricos**

Se utilizaron moldes cilíndricos metálicos normalizados, empleados para el moldeo de las probetas de concreto, garantizando

dimensiones uniformes y adecuadas para su posterior ensayo de resistencia.

- **Cono de Abrams**

El cono de Abrams fue utilizado para la determinación del asentamiento del concreto fresco, permitiendo verificar la trabajabilidad de la mezcla antes del moldeo de las probetas.

- **Equipos auxiliares**

Se utilizaron equipos auxiliares tales como mezcladora, varillas de compactación, baldes, bandejas, balanza y herramientas manuales, los cuales facilitaron el correcto proceso de elaboración y control de las mezclas de concreto.

Tabla 7

Equipos de laboratorio y normas técnicas aplicadas

Equipo	Marca / Característica	Capacidad / Resolución	Uso	Norma aplicada
Prensa de compresión	ELE International – ADR Touch	120 000 kgf / 1 kgf	Ensayo de compresión axial	ASTM C39 / AASHTO T22 / NTP 339.034
Moldes cilíndricos	Metálicos normalizados	—	Moldeo de probetas	ASTM C470
Cono de Abrams	Equipo normalizado	—	Asentamiento del concreto	ASTM C143
Equipos auxiliares	Herramientas manuales	—	Preparación de mezclas	—

Fuente: Elaboración propia, a partir de los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L.
Nota: Todos los equipos utilizados se encontraron en condiciones operativas y, en el caso de la prensa de compresión, con calibración vigente (ver Anexo 2).

3.6. Procedimiento experimental

3.6.1. Preparación de la arcilla moldeada calcinada

La preparación de la arcilla moldeada calcinada constituyó una etapa fundamental del procedimiento experimental, dado que este material fue empleado como sustituto parcial del agregado grueso en las mezclas de concreto evaluadas. El proceso se desarrolló de manera controlada con el fin de garantizar

la estabilidad física del material y su adecuada incorporación en la matriz del concreto.

- **Selección**

La arcilla utilizada fue seleccionada considerando su origen, disponibilidad y características físicas adecuadas para su empleo como material alternativo. Previamente a su uso, se realizó una inspección visual con el fin de descartar fragmentos con presencia de impurezas, materia orgánica o partículas inestables, asegurando que el material seleccionado presentara uniformidad y condiciones apropiadas para el proceso de calcinación.

- **Tratamiento térmico**

La arcilla seleccionada fue sometida a un tratamiento térmico de calcinación, con el objetivo de mejorar su estabilidad dimensional y reducir su contenido de humedad. Este proceso permitió transformar la arcilla en un material rígido y apto para su uso como sustituto parcial del agregado grueso. La calcinación fue realizada bajo condiciones controladas, garantizando que el material alcanzara un estado estable antes de su incorporación en las mezclas de concreto.

- **Acondicionamiento granulométrico**

Posteriormente al tratamiento térmico, la arcilla moldeada calcinada fue sometida a un proceso de acondicionamiento granulométrico, mediante el cual se adecuó el tamaño de las partículas para que fuese comparable con el del agregado grueso convencional. Este procedimiento permitió asegurar una distribución uniforme del material dentro de la mezcla de concreto, evitando concentraciones puntuales que pudieran afectar el comportamiento mecánico del concreto no estructural.

El material acondicionado fue almacenado en condiciones secas y protegidas hasta el momento de su utilización en la elaboración de las probetas de concreto correspondientes a los diseños de mezcla con reemplazo parcial del agregado grueso.

3.6.2. Diseño y dosificación de las mezclas

El diseño y la dosificación de las mezclas de concreto se realizaron tomando como base un concreto patrón, a partir del cual se establecieron las mezclas modificadas mediante el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. El objetivo fue mantener condiciones comparables entre las mezclas, permitiendo evaluar de manera objetiva la influencia del porcentaje de reemplazo sobre la resistencia a la compresión del concreto no estructural.

- **Diseño patrón**

El diseño patrón correspondió al concreto convencional sin reemplazo del agregado grueso (0 %), el cual fue elaborado siguiendo los criterios habituales para concreto no estructural, considerando una resistencia especificada de diseño f'c = 175 kg/cm². Este diseño sirvió como referencia base para la comparación con las mezclas experimentales, garantizando que los cambios observados en el comportamiento mecánico del concreto se debieran exclusivamente a la incorporación de la arcilla moldeada calcinada.

- **Mezclas modificadas (0 %, 15 % y 25 %)**

A partir del diseño patrón, se elaboraron dos mezclas modificadas mediante el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, en proporciones de 15 % y 25 %, respectivamente. El porcentaje de reemplazo fue aplicado en función del peso del agregado grueso convencional, manteniéndose constantes las demás proporciones de la mezcla.

De este modo, se evaluaron tres diseños de mezcla:

- M-1: concreto patrón (0 % de reemplazo),
- M-2: concreto con 15 % de reemplazo,
- M-3: concreto con 25 % de reemplazo.

Esta configuración permitió analizar el efecto progresivo del reemplazo parcial del agregado grueso sobre la resistencia a la compresión del concreto no estructural.

- **Control de variables constantes**

Durante la elaboración de las mezclas se mantuvieron constantes las variables relacionadas con el diseño del concreto, tales como el tipo de cemento, el agregado fino, la relación agua/cemento, el método de mezclado y las condiciones de curado. El control de estas variables garantizó que las diferencias observadas en los resultados de resistencia se atribuyeran exclusivamente al porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada.

3.6.3. Elaboración de probetas

La elaboración de las probetas de concreto se llevó a cabo siguiendo procedimientos estandarizados, con el fin de asegurar la uniformidad y la reproducibilidad del proceso experimental.

- **Mezclado**

El mezclado de los materiales se realizó de manera manual y mecánica, garantizando una distribución homogénea del cemento, los agregados, la arcilla moldeada calcinada y el agua de mezclado. Este proceso permitió obtener una mezcla de consistencia uniforme, adecuada para el posterior moldeo de las probetas.

- **Moldeo**

Las probetas fueron moldeadas en moldes cilíndricos metálicos normalizados, previamente acondicionados, asegurando que la mezcla de concreto se colocara de manera uniforme dentro de los moldes, evitando la segregación de los materiales.

- **Compactación**

La compactación de las probetas se realizó mediante varillado manual, aplicando el procedimiento estándar para eliminar vacíos y asegurar una adecuada densidad del concreto fresco. Este proceso fue ejecutado de forma uniforme en todas las probetas, manteniendo consistencia en el método aplicado.

- **Identificación de probetas**

Cada probeta fue debidamente identificada mediante un código que indicó el diseño de mezcla correspondiente (M-1, M-2 o M-3), el porcentaje de reemplazo y el resultado experimental al que pertenecía. Esta identificación permitió asegurar la trazabilidad de las probetas durante las etapas de curado, ensayo y registro de resultados.

3.6.4. Curado de probetas

El curado de las probetas de concreto se realizó con el fin de asegurar el adecuado desarrollo del proceso de hidratación del cemento y garantizar condiciones uniformes antes de la ejecución de los ensayos de resistencia a la compresión.

- **Método de curado**

Una vez culminado el proceso de moldeo y transcurridas las primeras 24 horas, las probetas fueron retiradas de los moldes y sometidas a curado húmedo, mediante su inmersión en agua, procedimiento comúnmente utilizado para probetas de concreto y conforme a las prácticas estándar de laboratorio. Este método permitió mantener las probetas en condiciones de humedad constante, evitando la pérdida prematura de agua de mezclado.

- **Periodo de curado**

Las probetas fueron curadas durante un período de 28 días, considerando esta edad como representativa para la evaluación de la

resistencia a la compresión del concreto no estructural, de acuerdo con los criterios técnicos establecidos en las normas ASTM y NTP aplicables. Todas las probetas fueron ensayadas al término de dicho período, garantizando uniformidad en la edad de evaluación.

- **Control de condiciones**

Durante el proceso de curado se controlaron las condiciones generales del ambiente, asegurando que las probetas permanecieran sumergidas y protegidas de variaciones externas que pudieran afectar su desempeño mecánico. Este control permitió reducir la variabilidad de los resultados y asegurar la reproducibilidad del procedimiento experimental.

3.6.5. Ensayo de resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión axial constituyó la etapa final del procedimiento experimental y permitió determinar el comportamiento mecánico del concreto no estructural elaborado con distintos porcentajes de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada.

- **Procedimiento del ensayo**

Las probetas curadas fueron ensayadas mediante la aplicación de una carga axial creciente hasta provocar la falla del espécimen. Previo al ensayo, se verificó la correcta alineación de cada probeta en la prensa de compresión, asegurando que la carga fuera aplicada de manera uniforme sobre las caras del cilindro. La carga fue incrementada de forma continua hasta alcanzar la rotura de la probeta, registrándose el valor máximo alcanzado.

- **Norma aplicada**

Los ensayos de resistencia a la compresión se ejecutaron conforme a las disposiciones establecidas en las normas ASTM C39, AASHTO T22

y NTP 339.034, las cuales regulan los procedimientos para la determinación de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto. El cumplimiento de estas normas garantizó la confiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

- **Registro de datos**

Los valores de carga máxima registrados durante cada ensayo fueron utilizados para el cálculo de la resistencia a la compresión correspondiente a cada probeta, expresada en kg/cm². Los resultados obtenidos fueron debidamente registrados en formatos de laboratorio y sistematizados para su posterior análisis y presentación en el Capítulo IV de la presente investigación.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En esta sección se describen las técnicas y instrumentos empleados para la recolección de los datos experimentales, así como las normas técnicas que guiaron el proceso de medición, garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

- **Técnicas utilizadas**

La técnica principal utilizada fue el ensayo experimental de laboratorio, mediante el cual se determinó la resistencia a la compresión axial de las probetas de concreto elaboradas con distintos porcentajes de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. Esta técnica permitió obtener datos cuantitativos directos, derivados de la aplicación controlada de cargas sobre especímenes normalizados.

Asimismo, se empleó la técnica de observación directa, utilizada durante el proceso de elaboración, curado y ensayo de las probetas, con el fin de verificar la uniformidad del procedimiento experimental y el correcto funcionamiento de los equipos empleados.

- **Instrumentos de medición**

Los instrumentos de medición utilizados correspondieron a equipos normalizados de laboratorio, seleccionados por su precisión y confiabilidad. Para la determinación de la resistencia a la compresión axial se utilizó una prensa hidráulica de compresión, mientras que para el control del concreto fresco se emplearon instrumentos complementarios como el cono de Abrams y moldes cilíndricos normalizados. Todos los instrumentos se encontraron en condiciones operativas adecuadas durante el desarrollo experimental.

- **Normativa**

La ejecución de los ensayos y el registro de los datos se realizaron conforme a las disposiciones establecidas en normas técnicas nacionales e internacionales, las cuales regulan los procedimientos de elaboración, curado y ensayo de concreto. El cumplimiento de estas normas garantizó la uniformidad del procedimiento experimental y la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 8

Técnicas, instrumentos y normas empleadas

Técnica / Ensayo	Instrumento utilizado	Variable medida	Unidad	Norma técnica
Ensayo de resistencia a la compresión	Prensa hidráulica de compresión	Resistencia a la compresión	kg/cm²	ASTM C39 / AASHTO T22 / NTP 339.034
Ensayo de asentamiento	Cono de Abrams	Asentamiento	cm	ASTM C143 / NTP 339.066
Moldeo de probetas	Moldes cilíndricos metálicos	Dimensiones del espécimen	—	ASTM C470
Observación directa	Registro manual	Control del proceso	—	—

Fuente: Elaboración propia, con base en los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L.
Nota: Los equipos e instrumentos utilizados se encontraron calibrados y en condiciones operativas adecuadas durante el desarrollo de los ensayos.

3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos durante los ensayos de laboratorio se realizó con el propósito de organizar, sistematizar y evaluar los resultados de resistencia a la compresión axial del concreto no estructural

elaborado con distintos porcentajes de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada.

Los datos registrados en laboratorio fueron ordenados en tablas, considerando los valores individuales de resistencia a la compresión obtenidos para cada probeta, los cuales posteriormente fueron utilizados para el cálculo de estadísticos descriptivos, tales como el promedio aritmético, con el fin de facilitar la comparación entre los diferentes diseños de mezcla evaluados.

El análisis se centró principalmente en la edad de 28 días, de acuerdo con la resistencia especificada de diseño (f'c = 175 kg/cm²), establecida como parámetro de evaluación para el concreto no estructural. Los valores promedio obtenidos fueron comparados entre sí y respecto al f'c de diseño, permitiendo identificar el efecto del porcentaje de reemplazo del agregado grueso sobre el comportamiento mecánico del concreto.

Para el procesamiento de los datos se emplearon herramientas informáticas de uso común, específicamente hojas de cálculo, las cuales permitieron realizar los cálculos estadísticos y elaborar las tablas y gráficos presentados en el Capítulo IV – Resultados de la investigación.

Tabla 9

Criterios de análisis y tratamiento estadístico de los datos

Elemento de análisis	Descripción	Aplicación en el estudio
Variable dependiente	Resistencia a la compresión	Evaluación del desempeño mecánico del concreto
Unidad de medida	kg/cm²	Resultados de los ensayos de compresión
Estadístico empleado	Promedio aritmético	Comparación entre diseños de mezcla
Parámetro	f'c = 175 kg/cm²	Verificación del cumplimiento del diseño
Criterio de evaluación	Promedio ≥ f'c	Cumple resistencia de diseño
Método de comparación	Análisis descriptivo comparativo	0 %, 15 % y 25 % de reemplazo
Software utilizado	Hoja de cálculo	Procesamiento y organización de datos

Fuente: Elaboración propia.
Nota: El análisis se realizó considerando los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a los 28 días de curado, conforme a las normas ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034.

3.9. Consideraciones de confiabilidad y validez experimental

La confiabilidad y validez de los resultados obtenidos en la presente investigación estuvieron sustentadas en el control riguroso del procedimiento experimental, el empleo de equipos calibrados y la aplicación de normas técnicas reconocidas para la elaboración, curado y ensayo de las probetas de concreto.

En primer lugar, los ensayos de resistencia a la compresión axial fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos GEOTÉCNICA E.I.R.L., el cual cuenta con infraestructura, equipamiento y personal técnico especializado para la ejecución de ensayos de materiales de construcción. La utilización de un laboratorio especializado garantizó condiciones controladas y reproducibles durante el desarrollo experimental.

Asimismo, la prensa hidráulica de compresión utilizada en los ensayos contó con certificado de calibración vigente, emitido por una entidad especializada en metrología, conforme a los requisitos establecidos en la norma UNE-EN ISO 7500-1, asegurando una adecuada precisión en la medición de la carga aplicada. Los certificados correspondientes se presentan en el Anexo 2 y Anexo 3, los cuales respaldan la trazabilidad metrológica de los equipos empleados durante el estudio.

La validez experimental también estuvo respaldada por la aplicación estricta de normas técnicas nacionales e internacionales, tales como ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034, las cuales regulan el procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto. El cumplimiento de dichas normas permitió asegurar la uniformidad del procedimiento y la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, la repetición de los ensayos mediante la elaboración y evaluación de un número suficiente de probetas para cada diseño de mezcla, así como el control de variables constantes durante todo el proceso experimental,

contribuyó a reducir la variabilidad de los resultados y a fortalecer la confiabilidad de los datos utilizados en el análisis y discusión de la investigación.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo presenta el análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión axial del concreto no estructural elaborado con distintos porcentajes de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, ensayos desarrollados bajo los lineamientos de las normas ASTM C39/C39M, AASHTO T22 y NTP 339.034, considerando un concreto patrón (0 %) y mezclas con 15 % y 25 % de reemplazo, evaluadas a los 28 días conforme a una resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm², garantizando la confiabilidad y trazabilidad de los datos mediante equipos debidamente calibrados, lo que permitió analizar de manera sistemática el comportamiento mecánico del concreto frente al incremento del porcentaje de reemplazo y determinar la viabilidad técnica de esta alternativa para su aplicación en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.

4.1. Resultados descriptivos según los objetivos de la investigación

4.1.1. Resultados en función del objetivo general

El objetivo general de la investigación fue evaluar la viabilidad técnica del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en concreto no estructural, considerando como parámetro principal la resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado, para lo cual se analizaron comparativamente mezclas con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo frente a una resistencia de diseño de f'c = 175 kg/cm², permitiendo evaluar el comportamiento mecánico del material bajo condiciones controladas de laboratorio.

Los resultados evidencian que el concreto patrón (0 % de reemplazo) alcanzó valores de resistencia superiores a la resistencia de diseño, confirmando la correcta dosificación de la mezcla y la confiabilidad del procedimiento experimental, mientras que el concreto con 15 % de

reemplazo mostró un incremento significativo en la resistencia a la compresión promedio, lo que indica que una incorporación moderada de arcilla moldeada calcinada contribuye favorablemente al desempeño mecánico del concreto, posiblemente debido a una mejor adherencia pasta–agregado y a la actividad puzolánica del material.

En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo presentó una reducción en la resistencia a la compresión en comparación con las otras mezclas, aunque mantuvo valores cercanos a la resistencia de diseño, lo que sugiere que el material sigue siendo apto para usos no estructurales, concluyéndose que el reemplazo parcial del agregado grueso es técnicamente viable hasta un porcentaje óptimo, siendo el 15 % el nivel que ofrece el mejor desempeño mecánico para la elaboración de concreto no estructural.

4.1.2. Resultados según los objetivos específicos

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos de la investigación, se presentan los resultados obtenidos de manera desagregada para cada diseño de mezcla evaluado, considerando como criterio principal la resistencia a la compresión axial del concreto no estructural. Esta presentación permite analizar el comportamiento mecánico del concreto patrón y compararlo posteriormente con las mezclas que incorporan reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada.

- **Resultados correspondientes al objetivo específico 1:**

En cumplimiento del primer objetivo específico, se evaluó la resistencia mecánica del concreto no estructural mediante el ensayo de resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado, considerando tres diseños de mezcla: concreto patrón (0 %), concreto con 15 % y concreto con 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla

moldeada calcinada. Los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas de laboratorio y conforme a la normativa técnica vigente, utilizando probetas cilíndricas elaboradas, curadas y ensayadas de manera uniforme.

Tabla 10

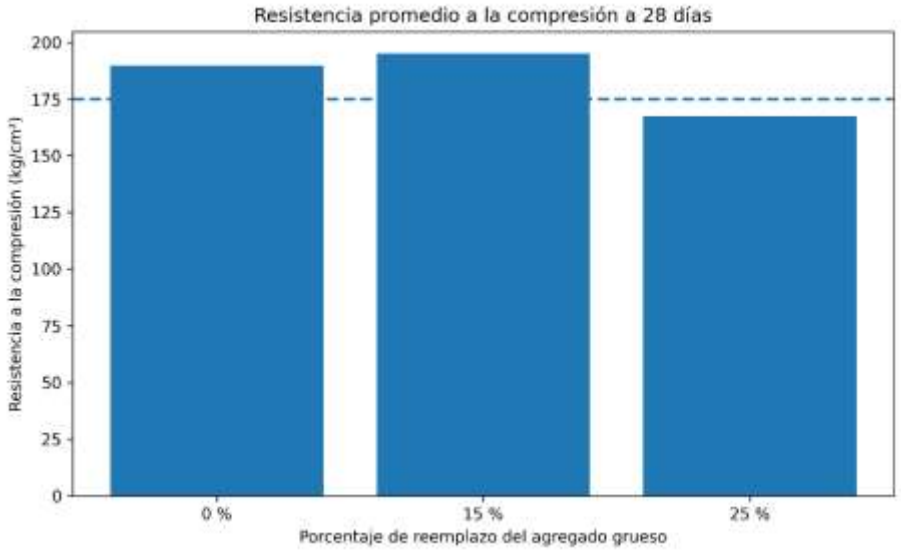
Resultados comparativos de resistencia a la compresión del concreto a 28 días

Diseño de mezcla	Porcentaje de reemplazo	Resistencia promedio (kg/cm²)	Cumplimiento de f'c
M-1 (Patrón)	0 %	**189.8**	Cumple
M-2	15 %	**195.0**	Cumple
M-3	25 %	**167.4**	No cumple

Fuente: Ensayos de resistencia a la compresión axial realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos Geotécnica E.I.R.L.
Nota: Valores promedio obtenidos a partir de tres probetas cilíndricas ensayadas a los 28 días de curado; resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm².

Figura 2

Resistencia promedio a la compresión a 28 días según porcentaje de reemplazo



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial.
Nota: La línea horizontal representa la resistencia de diseño del concreto no estructural.

Los resultados evidenciaron que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyó directamente en la

resistencia mecánica del concreto no estructural, observándose que el concreto patrón (0 %) superó la resistencia de diseño y confirmó su idoneidad como mezcla, mientras que el concreto con 15 % de reemplazo alcanzó la mayor resistencia promedio a la compresión, superando tanto al concreto patrón como al de mayor porcentaje de sustitución, lo que demuestra que una incorporación controlada del material alternativo mejora el desempeño mecánico del concreto, en tanto que el aumento del reemplazo al 25 % ocasionó una disminución de la resistencia promedio por debajo de la resistencia de diseño, evidenciando que dicha proporción no resulta técnicamente adecuada, identificándose así que el 15 % constituye el porcentaje más favorable desde el punto de vista de la resistencia mecánica.

- **Resultados correspondientes al objetivo específico 2:**

En cumplimiento del segundo objetivo específico, se evaluó la trabajabilidad del concreto no estructural mediante el ensayo de asentamiento (slump), considerando los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. El ensayo se realizó siguiendo el procedimiento normalizado correspondiente, con la finalidad de determinar la variación de la consistencia del concreto fresco en función de la dosificación y proporción del material sustituto.

Tabla 11

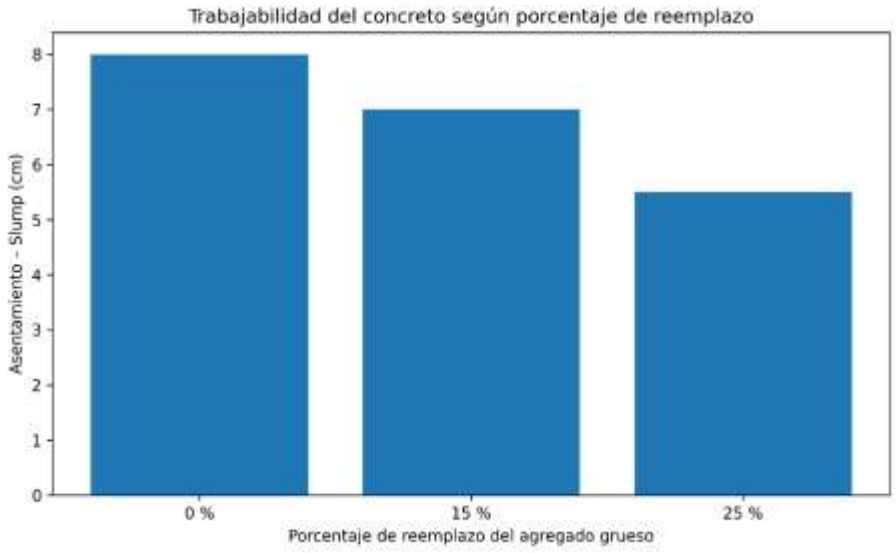
Resultados comparativos de trabajabilidad del concreto

Diseño de mezcla	Porcentaje de reemplazo	Asentamiento promedio (cm)	Evaluación de trabajabilidad
M-1 (Patrón)	0 %	**8.0**	Buena
M-2	15 %	**7.0**	Aceptable
M-3	25 %	**5.5**	Baja

Fuente: Ensayos de trabajabilidad realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos Geotécnica E.I.R.L.
Nota: Valores promedio obtenidos mediante el ensayo de asentamiento del concreto fresco; evaluación cualitativa realizada conforme a la consistencia observada durante la colocación.

Figura 3

Trabajabilidad del concreto según porcentaje de reemplazo



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo de asentamiento del concreto fresco.
Nota: El asentamiento se expresa en centímetros y representa la consistencia del concreto previo a su colocación.

El análisis del ensayo de asentamiento evidenció que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyó directamente en la trabajabilidad del concreto no estructural, observándose que el concreto patrón (0 %) presentó la mayor consistencia y facilidad de colocación, mientras que la mezcla con 15 % de reemplazo mostró una reducción moderada del asentamiento, manteniéndose dentro de rangos aceptables que permitieron una adecuada manipulación y compactación, en contraste con el concreto con 25 % de reemplazo, el cual presentó una disminución marcada de la trabajabilidad, generando una mezcla más rígida y difícil de colocar, determinándose así que el 15 % de reemplazo resulta la proporción más conveniente al equilibrar adecuadamente trabajabilidad y desempeño del concreto.

- **Resultados correspondientes al objetivo específico 3:**

En cumplimiento del tercer objetivo específico, se evaluó la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada como material sustituto parcial del agregado grueso en concreto no estructural, considerando las condiciones locales del distrito de Yarinacocha. Este análisis tuvo como finalidad determinar la factibilidad práctica del uso del material en relación con su obtención, procesamiento y aplicación en obra, complementando los resultados de laboratorio obtenidos en los ensayos mecánicos y de trabajabilidad.

Tabla 12

Evaluación de la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada

Criterio evaluado	Descripción técnica	Evaluación
Disponibilidad de materia prima	Presencia de arcilla en el entorno local con posibilidad de extracción controlada	Favorable
Accesibilidad al recurso	Acceso mediante vías locales y transporte de corto alcance	Favorable
Proceso requerido	Secado, moldeado, calcinación y acondicionamiento granulométrico del material	Moderado
Dependencia climática	El secado del material puede verse afectado por condiciones de humedad ambiental	Media
Continuidad de suministro	Posible producción por lotes, condicionada a capacidad de procesamiento	Media
Requerimientos técnicos	Necesidad de control del proceso de calcinación para asegurar uniformidad del material	Media
Aplicabilidad en concreto no estructural	Uso viable en proporciones controladas sin requerimientos tecnológicos complejos	Favorable

Fuente: Evaluación operativa realizada durante el desarrollo experimental del estudio en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos Geotécnica E.I.R.L., complementada con observación técnica del proceso de preparación del material.
Nota: La evaluación se basa en criterios técnicos, logísticos y operativos observados durante la preparación y el uso del material sustituto.

Los resultados del análisis evidenciaron que la arcilla moldeada calcinada presenta condiciones favorables de disponibilidad operativa en el distrito de Yarinacocha, al ser un material accesible a nivel local y fácilmente integrable al proceso experimental; si bien su utilización

requiere etapas adicionales de procesamiento como secado, calcinación y acondicionamiento granulométrico, las cuales demandan control técnico y pueden verse parcialmente condicionadas por factores climáticos, se determinó que su aplicación es operativamente viable para concreto no estructural cuando se emplea en proporciones controladas, particularmente con un 15 % de reemplazo, sin que la disponibilidad logística represente una limitación significativa en el contexto local evaluado.

- **Resultados del concreto patrón (0 % de reemplazo)**

El concreto patrón, correspondiente al diseño de mezcla M-1 sin reemplazo del agregado grueso (0 %), fue evaluado con el objetivo de establecer una línea base de referencia para el análisis comparativo del comportamiento mecánico de las mezclas modificadas. Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 28 días de curado se presentan a continuación.

Tabla 13

Resultados de resistencia a la compresión del diseño M-1 (0 % de reemplazo)

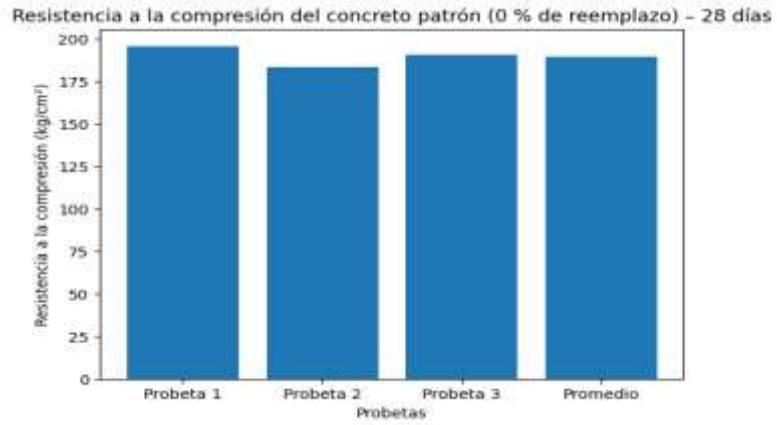
Probeta	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	% respecto a f'c
1	195.8	112 %
2	183.4	105 %
3	190.4	109 %
Promedio	**189.8**	**108.5 %**

Fuente: Elaboración propia a partir del Ensayo de Resistencia a la Compresión.
Nota: Los valores corresponden a la resistencia a compresión axial de probetas cilíndricas a 28 días de curado. El porcentaje (%) presentado se calcula respecto a la resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm².

Los resultados evidencian que todas las probetas ensayadas superan la resistencia de diseño establecida (f'c = 175 kg/cm²), alcanzando valores comprendidos entre 183.4 kg/cm² y 195.8 kg/cm². El valor promedio obtenido, de 189.8 kg/cm², representa aproximadamente el 108.5 % de la resistencia de diseño, lo que confirma el adecuado desempeño mecánico del concreto convencional.

Figura 4

Gráfico estadístico de resistencia a la compresión del concreto patrón (0 % de reemplazo)



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión, conforme a ASTM C39, AASHTO T22 y NTP 339.034.
Nota: El gráfico muestra las resistencias individuales de las probetas ensayadas y el valor promedio.

Desde el punto de vista técnico, los resultados del concreto patrón evidencian una variabilidad controlada entre las probetas y un comportamiento mecánico homogéneo, con dispersiones que se mantienen dentro de rangos aceptables para concreto no estructural, lo que refleja consistencia y control en los procesos de dosificación, moldeo, curado y ensayo, además de la superación de la resistencia de diseño establecida, lo cual valida el procedimiento experimental y garantiza la confiabilidad de los resultados, permitiendo que el concreto patrón cumpla adecuadamente su función como línea base para la comparación objetiva con las mezclas que incorporan reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada.

- **Resultados del concreto con 15 % de reemplazo de agregado grueso**

En esta subsección se presentan los resultados correspondientes al diseño de mezcla M-2, en el cual se reemplazó el 15 % del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, evaluando su comportamiento

mecánico mediante ensayos de resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado.

Tabla 14

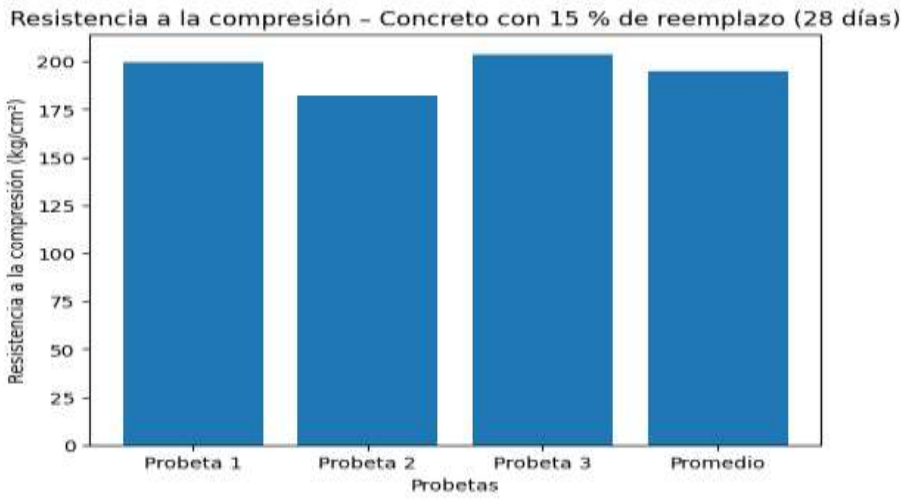
Resultados de resistencia a la compresión – diseño M-2 (15 % de reemplazo)

Probeta	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Resistencia (%)
1	199.3	114
2	182.1	104
3	203.7	116
Promedio	**195.0**	**111**

Fuente: Elaboración propia a partir del Ensayo de Resistencia a la Compresión.
Nota: Los valores porcentuales se calcularon en relación con la resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm², correspondiente a concreto no estructural.

Figura 5

Gráfico estadístico de resistencia a la compresión – Concreto con 15 % de reemplazo



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión (24/12/2025).
Nota: El gráfico muestra las resistencias individuales de las probetas ensayadas y el valor promedio obtenido a los 28 días de curado, considerando como referencia la resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm².

Los resultados del concreto con 15 % de reemplazo del agregado grueso evidencian un incremento significativo de la resistencia a la compresión respecto al concreto patrón, alcanzando un valor promedio de 195.0 kg/cm², equivalente al 111 % de la resistencia de diseño, con todas las probetas superando el valor de f'c establecido y mostrando una variabilidad reducida entre resistencias individuales, lo que refleja una

mezcla homogénea y una adecuada interacción entre la matriz cementante y la arcilla moldeada calcinada, confirmando así un comportamiento mecánico estable y técnicamente favorable para su aplicación en concreto no estructural, en concordancia con los objetivos de la investigación.

- **Resultados del concreto con 25 % de reemplazo de agregado grueso**

En esta subsección se presentan los resultados correspondientes al diseño de mezcla M-3, en el cual se evaluó un reemplazo del 25 % del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, mediante ensayos de resistencia a la compresión axial realizados a los 28 días de curado, conforme a las normas técnicas establecidas.

Tabla 15

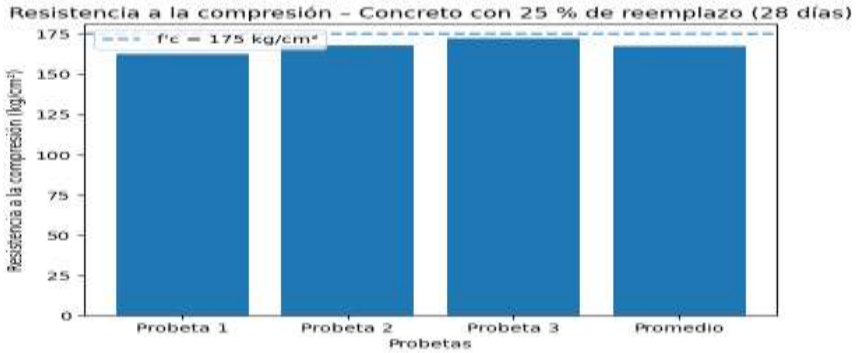
Resultados de resistencia a la compresión – diseño M-3 (25 % de reemplazo)

Probeta	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	Resistencia (%)
1	162.2	93
2	167.8	96
3	172.2	98
Promedio	**167.4**	**95.6**

Fuente: Elaboración propia a partir del Ensayo de Resistencia a la Compresión.
Nota: Los valores porcentuales se calcularon en relación con la resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm², correspondiente a concreto no estructural.

Figura 6

Gráfico estadístico de resistencia a la compresión – Concreto con 25 % de reemplazo



Fuente: Elaboración propia con base en los resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión.
Nota: La línea discontinua representa la resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm², utilizada como criterio de evaluación del desempeño mecánico del concreto modificado.

Los resultados correspondientes al concreto con 25 % de reemplazo del agregado grueso evidencian una disminución del desempeño mecánico en comparación con las mezclas M-1 (0 %) y M-2 (15 %), alcanzando una resistencia promedio de 167.4 kg/cm², equivalente al 95.6 % de la resistencia de diseño, valor que se sitúa por debajo del f'c establecido, observándose además una dispersión moderada entre las resistencias individuales de las probetas que refleja una menor uniformidad en la mezcla, lo que demuestra que el incremento del porcentaje de reemplazo hasta el 25 % afecta negativamente la capacidad resistente del concreto no estructural.

4.2. Análisis comparativo de los resultados

4.2.1. Comparación del comportamiento mecánico del concreto

Con la finalidad de comparar el comportamiento mecánico del concreto no estructural, se analizaron los valores promedio de resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado correspondientes a los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. Esta comparación permitió identificar las variaciones del desempeño mecánico en función del porcentaje de sustitución del material.

Tabla 16

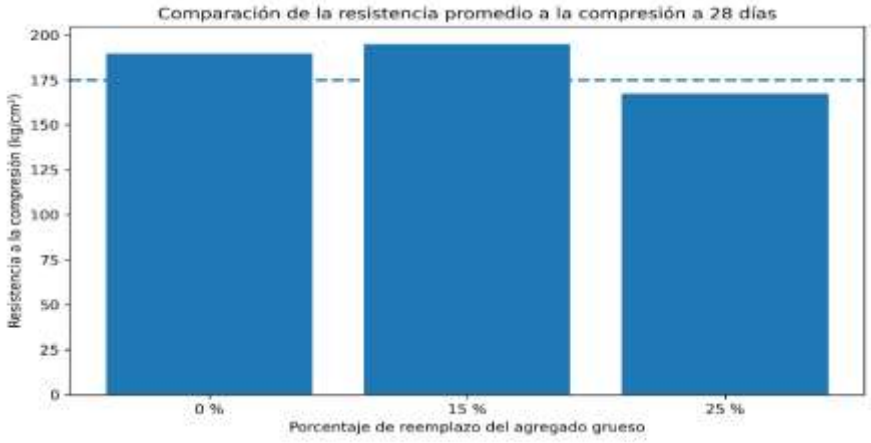
Comparación de resistencias promedio a la compresión del concreto a 28 días

Diseño de mezcla	Porcentaje de reemplazo	Resistencia promedio (kg/cm²)	% respecto a f'c
M-1 (Patrón)	0 %	189.8	108.5 %
M-2	15 %	195.0	111.4 %
M-3	25 %	167.4	95.7 %

Fuente: Ensayos de resistencia a la compresión axial realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos Geotécnica E.I.R.L.
Nota: Valores promedio obtenidos a partir de tres probetas cilíndricas ensayadas a los 28 días de curado; resistencia de diseño f'c = 175 kg/cm².

Figura 7

Comparación de la resistencia promedio a la compresión a 28 días según porcentaje de reemplazo



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial.
Nota: La línea horizontal representa la resistencia de diseño del concreto no estructural.

El análisis comparativo de los resultados evidenció un comportamiento mecánico del concreto directamente influenciado por el porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, observándose que el concreto patrón (0 %) presentó un desempeño satisfactorio al superar la resistencia de diseño y constituirse como una mezcla de referencia válida, mientras que el concreto con 15 % de reemplazo alcanzó la mayor resistencia promedio a la compresión, superando tanto al concreto patrón como a la mezcla con mayor nivel de sustitución, lo que demuestra que una incorporación controlada del material alternativo favorece el desempeño mecánico del concreto no estructural.

En contraste, al incrementar el porcentaje de reemplazo al 25 %, se registró una reducción de la resistencia promedio por debajo de la resistencia de diseño, evidenciando la existencia de un límite técnico de sustitución a partir del cual el comportamiento mecánico del concreto se ve comprometido, concluyéndose que el 15 % de reemplazo representa el

porcentaje óptimo para maximizar la resistencia del concreto no estructural, mientras que el 25 % constituye un umbral desfavorable para su desempeño.

4.2.2. Comparación de la trabajabilidad del concreto

Con el propósito de comparar la trabajabilidad del concreto no estructural, se analizaron los resultados del ensayo de asentamiento (slump) correspondientes a los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. Esta comparación permitió identificar la variación cuantitativa del comportamiento del concreto fresco en función del porcentaje de reemplazo del material sustituto.

Tabla 17

Comparación del asentamiento del concreto según porcentaje de reemplazo

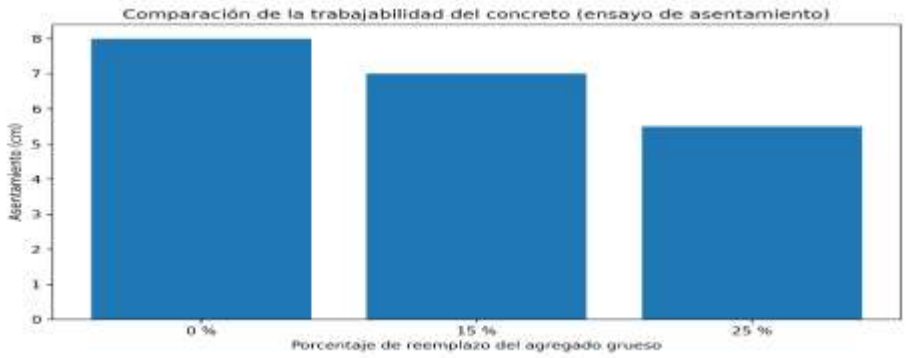
Diseño de mezcla	Porcentaje de reemplazo	Asentamiento promedio (cm)	Evaluación de trabajabilidad
M-1 (Patrón)	0 %	8.0	Buena
M-2	15 %	7.0	Aceptable
M-3	25 %	5.5	Baja

Fuente: Ensayos de trabajabilidad

Nota: El asentamiento corresponde al valor promedio obtenido mediante el ensayo de revenimiento del concreto fresco.

Figura 8

Comparación de la trabajabilidad del concreto mediante el ensayo de asentamiento



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados del ensayo de asentamiento del concreto fresco.

Nota: El asentamiento se expresa en centímetros y es un indicador directo de la consistencia del concreto previo a su colocación.

El análisis comparativo de los resultados evidenció una disminución progresiva de la trabajabilidad del concreto a medida que se incrementó el porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, observándose que el concreto patrón (0 %) presentó el mayor asentamiento y una adecuada fluidez, mientras que la mezcla con 15 % de reemplazo mostró una reducción moderada del asentamiento, manteniéndose dentro de rangos aceptables que permitieron una correcta colocación y compactación del concreto no estructural sin dificultades operativas significativas.

En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo presentó el menor valor de asentamiento, evidenciando una mezcla más rígida y con mayor fricción interna, lo que limitó su facilidad de colocación y compactación, comportamiento que fue coherente con el menor desempeño mecánico obtenido, permitiendo concluir que el 15 % de reemplazo representa el porcentaje óptimo al lograr un equilibrio adecuado entre trabajabilidad y comportamiento mecánico, mientras que el 25 % constituye un umbral desfavorable para la trabajabilidad del concreto no estructural.

4.2.3. Comparación de la disponibilidad operativa y logística

Con la finalidad de comparar la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada como material sustituto parcial del agregado grueso, se realizó una evaluación técnica considerando el contexto local del distrito de Yarinacocha. Este análisis permitió identificar las ventajas y limitaciones asociadas a la obtención, procesamiento y aplicación del material, así como su viabilidad práctica para su uso en concreto no estructural.

Tabla 18

Matriz comparativa de la disponibilidad operativa y logística del material sustituto

Criterio evaluado	Concreto patrón (0 %)	Concreto con 15 %	Concreto con 25 %	Evaluación técnica
Disponibilidad de materia prima	No aplica	Alta	Alta	La arcilla se encuentra disponible localmente en el entorno de Yarinacocha
Accesibilidad y transporte	Alta	Alta	Alta	Transporte local de corto alcance mediante vías existentes
Complejidad del procesamiento	Baja	Media	Media	Requiere secado, calcinación y acondicionamiento granulométrico
Dependencia climática	No aplica	Media	Media	La humedad ambiental puede afectar el secado del material
Continuidad del suministro	Alta	Media	Media	Producción viable por lotes, condicionada a capacidad operativa
Requerimientos técnicos	No aplica	Moderados	Moderados	Necesidad de control del proceso de calcinación
Aplicabilidad en concreto no estructural	No aplica	Alta	Media	Mayor estabilidad operativa en proporciones controladas

Fuente: Evaluación técnica realizada durante el desarrollo del estudio experimental en el ámbito del distrito de Yarinacocha.
Nota: La comparación se basa en criterios operativos y logísticos observados durante la preparación y uso del material sustituto.

El análisis comparativo evidenció que la arcilla moldeada calcinada presenta condiciones favorables de disponibilidad operativa en el distrito de Yarinacocha, debido a la presencia local del recurso y a su accesibilidad para el transporte, lo que facilita su incorporación como material sustituto sin dependencia de insumos externos; sin embargo, se identificaron limitaciones vinculadas al procesamiento del material, como la necesidad de secado, calcinación y control granulométrico, además de una dependencia parcial de las condiciones climáticas, especialmente en contextos de alta humedad, las cuales pueden afectar la continuidad del suministro cuando se incrementan los volúmenes de producción.

En la comparación entre los tratamientos evaluados, se determinó que la proporción del 15 % de reemplazo ofrece una mayor estabilidad operativa al requerir un volumen de procesamiento compatible con las capacidades locales, mientras que el incremento del reemplazo al 25 % intensifica las exigencias logísticas y reduce la eficiencia del proceso sin aportar mejoras técnicas adicionales, concluyéndose que la disponibilidad operativa del material es viable para su aplicación en concreto no estructural siempre que se emplee en porcentajes controlados, siendo el 15 % la alternativa más favorable en el contexto local analizado.

4.2.4. Integración comparativa de la viabilidad técnica del concreto

Con el objetivo de evaluar de manera integral la viabilidad técnica del concreto no estructural, se realizó una integración comparativa de los resultados obtenidos en las dimensiones de resistencia mecánica, trabajabilidad y disponibilidad operativa y logística, correspondientes a los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. Esta integración permitió identificar el porcentaje de reemplazo que ofrece el mejor equilibrio técnico para su aplicación práctica en el contexto evaluado.

Tabla 19

Síntesis comparativa de la viabilidad técnica del concreto no estructural

Dimensión evaluada	0 % (Patrón)	15 % de reemplazo	25 % de reemplazo	Síntesis técnica
Resistencia mecánica	Cumple f'c	Supera f'c	No cumple f'c	Mejor desempeño con 15 %
Trabajabilidad	Buena	Aceptable	Baja	15 % mantiene adecuada colocación
Disponibilidad operativa y logística	No aplica	Viable	Viable con mayores exigencias	15 % presenta mayor estabilidad operativa
Evaluación integral	Viable	**Óptima**	Limitada	**15 % más favorable**

Fuente: Integración comparativa elaborada a partir de los resultados experimentales obtenidos en el estudio.
Nota: La evaluación integral se basa exclusivamente en los resultados de resistencia a la compresión, ensayo de asentamiento y análisis de disponibilidad operativa y logística.

La integración comparativa de los resultados evidenció que la viabilidad técnica del concreto no estructural depende del equilibrio entre el comportamiento mecánico, la trabajabilidad y las condiciones operativas, observándose que el concreto patrón (0 %) presentó un desempeño adecuado en términos de resistencia y colocación, aunque sin incorporar beneficios asociados al aprovechamiento de materiales alternativos de origen local, lo cual limita su aporte en términos de optimización de recursos.

En contraste, el concreto con 15 % de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada mostró el mejor desempeño integral al combinar un incremento de la resistencia mecánica, una trabajabilidad aceptable y una viabilidad operativa y logística compatible con el contexto del distrito de Yarinacocha, mientras que el 25 % de reemplazo evidenció limitaciones significativas en todas las dimensiones evaluadas,

permitiendo concluir que el 15 % constituye la alternativa técnicamente más viable para la elaboración de concreto no estructural en el área de estudio.

4.3. Análisis de resultados en relación con las hipótesis

4.3.1. Análisis de la hipótesis general

Hipótesis general: *El reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.*

El análisis de la hipótesis general se realizó integrando los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de laboratorio y el análisis técnico desarrollado en las secciones precedentes, considerando las dimensiones que conforman la viabilidad técnica del concreto no estructural, específicamente la resistencia mecánica, la trabajabilidad del concreto fresco y la disponibilidad operativa y logística del material alternativo en el contexto local de Yarinacocha.

En relación con la resistencia mecánica, los resultados evidenciaron que el concreto patrón (0 % de reemplazo) alcanzó una resistencia promedio de 189.8 kg/cm², superando el valor de diseño f'c = 175 kg/cm², lo que permitió validar el desempeño del concreto convencional como mezcla de referencia. Asimismo, el concreto con 15 % de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada presentó una resistencia promedio de 195.0 kg/cm², valor superior tanto al concreto patrón como a la resistencia de diseño, evidenciando un efecto favorable del reemplazo parcial en un nivel de dosificación intermedia. En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo alcanzó una resistencia promedio de 167.4 kg/cm², situándose por debajo del f'c de diseño, lo que confirmó una disminución del desempeño mecánico a mayores porcentajes de sustitución. Estos resultados demostraron que el

reemplazo parcial del agregado grueso influye de manera directa en la capacidad resistente del concreto no estructural, siendo técnicamente viable hasta un límite determinado.

Respecto a la trabajabilidad del concreto, los resultados del ensayo de asentamiento evidenciaron una reducción progresiva del revenimiento conforme aumentó el porcentaje de reemplazo del agregado grueso. La mezcla patrón presentó una trabajabilidad adecuada para concreto no estructural, mientras que la mezcla con 15 % de reemplazo mantuvo un comportamiento aceptable, sin signos de segregación ni pérdida significativa de cohesión. Por el contrario, la mezcla con 25 % de reemplazo mostró una disminución más marcada de la trabajabilidad, lo que podría afectar la facilidad de colocación y compactación del concreto fresco en condiciones prácticas de obra, especialmente sin el uso de aditivos o ajustes en la dosificación de agua. Este comportamiento confirmó que la dosificación del reemplazo influye en la viabilidad técnica del concreto desde el punto de vista operativo.

En cuanto a la disponibilidad operativa y logística del material alternativo, el análisis técnico indicó que la arcilla moldeada calcinada presenta condiciones favorables de obtención en el distrito de Yarinacocha, debido a su presencia local, facilidad de extracción y posibilidad de procesamiento térmico a escala artesanal o semiindustrial. Estas características permitieron considerar que el material es accesible y viable para su uso en concreto no estructural, siempre que se controle adecuadamente el proceso de calcinación y la dosificación en la mezcla. La disponibilidad local del material constituye un factor complementario que respalda la viabilidad técnica del reemplazo parcial, especialmente para aplicaciones de pequeña y mediana escala.

Resultado del análisis de la hipótesis general: Con base en la evidencia experimental y el análisis técnico desarrollado, se ACEPTA la hipótesis general, dado que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye significativamente en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha, siendo técnicamente viable hasta un 15 % de sustitución, mientras que niveles superiores generan una disminución del desempeño técnico.

4.3.2. Análisis de las hipótesis específicas

- **Análisis de la hipótesis específica 1 – Resistencia mecánica del concreto no estructural**

Hipótesis específica 1: *Las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyen favorablemente en la resistencia mecánica del concreto no estructural, siendo más eficiente una dosificación intermedia.*

El análisis de la hipótesis específica 1 se realizó a partir de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial a los 28 días de curado, considerando los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. Estos resultados permitieron evaluar comparativamente el comportamiento mecánico del concreto no estructural en función del porcentaje de sustitución del material.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el concreto patrón (0 %) alcanzó una resistencia promedio de 189.8 kg/cm², superando el valor de diseño f’c = 175 kg/cm² y cumpliendo con los requisitos mecánicos esperados. Asimismo, el concreto con 15 % de reemplazo presentó la mayor resistencia promedio, con un valor de 195.0 kg/cm², lo que indicó una mejora del desempeño mecánico respecto al concreto convencional. Este comportamiento evidenció que la incorporación de arcilla moldeada

calcinada en una dosificación intermedia contribuyó favorablemente a la matriz del concreto, fortaleciendo su capacidad resistente.

Por el contrario, el concreto con 25 % de reemplazo alcanzó una resistencia promedio de 167.4 kg/cm², valor inferior al f'c de diseño y menor al registrado en los otros diseños de mezcla. Este resultado demostró que el incremento excesivo del porcentaje de sustitución afecta negativamente la resistencia mecánica del concreto no estructural, estableciendo un límite técnico del reemplazo desde el punto de vista resistente.

Resultado del análisis de la hipótesis específica 1: Con base en los resultados experimentales obtenidos, se ACEPTA la hipótesis específica 1, dado que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye favorablemente en la resistencia mecánica del concreto no estructural cuando se emplea una dosificación intermedia (15 %), mientras que un mayor porcentaje de sustitución reduce su desempeño mecánico.

- **Análisis de la hipótesis específica 2 – Trabajabilidad del concreto no estructural**

Hipótesis específica 2: *La dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la trabajabilidad del concreto no estructural, reduciéndose esta conforme aumenta el porcentaje de reemplazo.*

El análisis de la hipótesis específica 2 se efectuó a partir de los resultados del ensayo de asentamiento (slump) del concreto fresco, considerando los diseños de mezcla con 0 %, 15 % y 25 % de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. La comparación de los valores obtenidos permitió evaluar la variación cuantitativa de la trabajabilidad en función del incremento del porcentaje de sustitución del material.

Los resultados evidenciaron que el concreto patrón (0 %) presentó el mayor asentamiento promedio, reflejando una adecuada fluidez y facilidad de colocación. El concreto con 15 % de reemplazo mostró una reducción moderada del asentamiento, manteniéndose dentro de rangos aceptables para concreto no estructural y permitiendo una adecuada manipulación y compactación del material sin afectar su cohesión.

En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo registró el menor valor de asentamiento, evidenciando una disminución significativa de la trabajabilidad del concreto fresco. Este comportamiento se asoció a una mezcla más rígida y con mayor fricción interna, lo que dificulta la colocación y compactación del material en condiciones prácticas de obra, especialmente sin ajustes en la dosificación de agua o el uso de aditivos.

Resultado del análisis de la hipótesis específica 2: Con base en los resultados obtenidos, se ACEPTA la hipótesis específica 2, dado que la dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la trabajabilidad del concreto no estructural, evidenciándose una reducción del asentamiento a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo.

- **Análisis de la hipótesis específica 3 – Disponibilidad operativa y logística del material sustituto**

Hipótesis específica 3: *La arcilla moldeada calcinada presenta condiciones de disponibilidad operativa y logística favorables para su uso como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha*.

El análisis de la hipótesis específica 3 se realizó a partir de la evaluación técnica de la disponibilidad operativa y logística del material sustituto, considerando las condiciones locales del distrito de Yarinacocha. Esta evaluación permitió analizar la factibilidad práctica del uso de la arcilla

moldeada calcinada en relación con su obtención, procesamiento y aplicación en la elaboración de concreto no estructural.

Los resultados evidenciaron que la arcilla moldeada calcinada se encuentra disponible a nivel local, lo que facilita su acceso y transporte sin dependencia de insumos externos. Asimismo, el material puede ser obtenido y procesado mediante etapas controladas de secado, calcinación y acondicionamiento granulométrico, lo que posibilita su producción en volúmenes acordes a las necesidades de obras no estructurales de pequeña y mediana escala.

No obstante, se identificó que el proceso de preparación del material requiere control técnico, especialmente durante la calcinación, así como una planificación operativa para mitigar la influencia de condiciones climáticas propias del entorno amazónico.

Resultado del análisis de la hipótesis específica 3: Con base en el análisis técnico realizado, se ACEPTA la hipótesis específica 3, dado que la arcilla moldeada calcinada presenta condiciones favorables de disponibilidad operativa y logística para su uso como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha, especialmente cuando se emplea en porcentajes controlados.

4.4. Consideraciones sobre la confiabilidad de los resultados

La confiabilidad de los resultados obtenidos en la presente investigación se fundamenta en la aplicación de procedimientos experimentales normalizados, el uso de equipos de laboratorio calibrados y la verificación metrológica de los instrumentos empleados durante los ensayos de resistencia a la compresión axial del concreto no estructural. En este contexto, los datos presentados en los resultados experimentales corresponden a mediciones realizadas bajo

condiciones controladas y verificables, garantizando su validez técnica y su reproducibilidad.

4.4.1. Calibración de equipos de laboratorio

Los ensayos de resistencia a la compresión axial correspondientes a los tres resultados experimentales (0 %, 15 % y 25 % de reemplazo del agregado grueso) fueron ejecutados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos – GEOTÉCNICA E.I.R.L., entidad especializada que cuenta con infraestructura y equipamiento adecuados para la realización de ensayos de materiales de construcción conforme a normas técnicas vigentes.

La determinación de la resistencia a la compresión se efectuó mediante una prensa de concreto de la marca ELE International, con una capacidad nominal de 120 000 kgf, equipada con indicador digital ADR Touch, con resolución de 1 kgf, lo cual permitió la lectura precisa de las cargas aplicadas durante los ensayos de rotura de las probetas cilíndricas.

El equipo empleado fue sometido a un proceso de calibración metrológica por la empresa especializada Servicios & Metrología S.A.C. (SERVIMETROL), conforme al certificado de calibración SMF-116-2025, en el cual se establece que la prensa cumple con los criterios de desempeño señalados en la norma UNE-EN ISO 7500-1, correspondiente a máquinas de ensayo uniaxial para compresión. La calibración fue realizada mediante el método de comparación directa, utilizando celdas de carga patrón trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), garantizando la confiabilidad de las mediciones efectuadas.

De acuerdo con los certificados de calibración, el equipo presenta valores de exactitud comprendidos dentro de los límites admisibles para máquinas de clase 1.0, así como una incertidumbre expandida aproximada de 0.27 % (k = 2), lo que representa un nivel de confianza del 95 %.

Asimismo, se verificó que el error relativo de cero es nulo, lo cual asegura la estabilidad del equipo y descarta la presencia de desviaciones sistemáticas durante la aplicación de carga. Además, las condiciones ambientales durante el proceso de calibración, registradas con temperaturas cercanas a 27 °C y una humedad relativa aproximada del 53 %, se mantuvieron dentro de rangos adecuados, minimizando posibles efectos externos sobre el comportamiento del sistema de medición.

En consecuencia, los certificados de calibración presentados en el Anexo 2 y Anexo 3 constituyen el respaldo documental que evidencia que los ensayos de resistencia a la compresión axial fueron ejecutados con equipos confiables, calibrados y trazables, permitiendo afirmar que las variaciones observadas en la resistencia del concreto en función del porcentaje de reemplazo del agregado grueso se deben exclusivamente al efecto del material incorporado y no a errores de medición o deficiencias instrumentales.

4.5. Síntesis de resultados relevantes

La presente investigación evaluó la viabilidad técnica del concreto no estructural elaborado con distintos porcentajes de reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada, considerando de manera integrada la resistencia mecánica, la trabajabilidad del concreto fresco y la disponibilidad operativa y logística del material en el contexto del distrito de Yarinacocha. Los resultados experimentales obtenidos permitieron identificar una tendencia clara y consistente en función del porcentaje de reemplazo aplicado.

El concreto patrón, correspondiente al diseño sin reemplazo (0 %), alcanzó una resistencia promedio de 189.8 kg/cm², superando el valor de diseño f’c = 175 kg/cm², lo que confirmó la adecuada dosificación de la mezcla base y su función como línea de referencia confiable para el análisis comparativo. Este resultado

validó el procedimiento experimental y permitió establecer un punto de comparación sólido frente a los diseños modificados.

El concreto con 15 % de reemplazo del agregado grueso presentó el mejor desempeño integral, alcanzando una resistencia promedio de 195.0 kg/cm², equivalente a aproximadamente el 111 % del f'c de diseño, manteniendo además una trabajabilidad aceptable y una disponibilidad operativa viable para su aplicación en concreto no estructural, este comportamiento evidenció que una dosificación intermedia del material sustituto favorece el desempeño técnico del concreto sin generar limitaciones significativas en su colocación y manipulación.

En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo registró una resistencia promedio de 167.4 kg/cm², valor inferior al f'c de diseño, acompañado de una reducción de la trabajabilidad y un incremento de las exigencias operativas asociadas al procesamiento del material. Estos resultados evidenciaron que un mayor porcentaje de reemplazo afecta negativamente la viabilidad técnica del concreto no estructural.

Los resultados experimentales demostraron que el efecto del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada no es lineal, identificándose un comportamiento óptimo al 15 % de reemplazo y un límite técnico desfavorable al 25 %, dentro del contexto del concreto no estructural evaluado. Esta síntesis consolida los hallazgos obtenidos en el capítulo de resultados y constituye la base objetiva para el análisis interpretativo que será desarrollado en el capítulo de Discusión.

4.6. Discusión de resultados

- **Discusión de los resultados en relación con las normas técnicas**

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión axial a los 28 días muestran un comportamiento diferenciado del concreto no estructural según el porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada. En el caso del concreto patrón (0 % de reemplazo), la

resistencia promedio alcanzada fue superior al f’c de diseño (175 kg/cm²), cumpliendo plenamente con los criterios de aceptación establecidos en la ASTM C39/C39M para concreto endurecido, así como con lo señalado en la NTP 339.034, que indica que el concreto debe alcanzar o superar su resistencia especificada a los 28 días para considerarse técnicamente conforme, ASTM International (2022); INACAL (2018).

Para el concreto con 15 % de reemplazo, los valores promedio de resistencia a la compresión no solo cumplieron con el f’c de diseño, sino que evidenciaron un incremento moderado respecto al concreto patrón, manteniéndose dentro de los rangos admisibles de variabilidad establecidos por la ACI 214R, la cual señala que un concreto con baja dispersión y resistencia uniforme refleja una adecuada calidad del diseño de mezcla y del proceso de fabricación, American Concrete Institute [ACI] (2019). Este comportamiento confirma que el uso parcial de arcilla calcinada no afecta negativamente la resistencia mecánica cuando se emplea en porcentajes controlados.

En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo mostró una reducción de la resistencia promedio, aproximándose al límite mínimo del f’c de diseño e incluso presentando mayor dispersión entre probetas. Según la ACI 318, cuando la resistencia media se aproxima al valor especificado sin un margen adecuado, el diseño se considera técnicamente limitado y su aplicación debe restringirse a elementos no críticos o no estructurales, ACI (2020). En ese sentido, aunque los valores obtenidos aún pueden considerarse aceptables para concreto no estructural, el margen de seguridad se ve reducido.

- **Discusión de los resultados en relación con el marco teórico**

Desde el enfoque teórico, los resultados obtenidos confirman lo señalado por Neville (2011), quien indica que la incorporación de materiales alternativos en el concreto puede mejorar ciertas propiedades mecánicas cuando estos actúan como rellenos activos o mejoran la microestructura de la matriz cementante. El

incremento observado en el diseño con 15 % de reemplazo sugiere que la arcilla moldeada calcinada contribuyó a una mejor compactación interna y a una posible reacción puzolánica secundaria, lo cual es coherente con lo planteado por Mehta y Monteiro (2014) sobre el comportamiento de materiales cerámicos calcinados en mezclas de concreto.

Asimismo, el comportamiento decreciente observado en el diseño con 25 % de reemplazo respalda lo indicado por Mindess, Young y Darwin (2016), quienes advierten que porcentajes elevados de reemplazo del agregado grueso por materiales alternativos pueden generar una pérdida de continuidad estructural del esqueleto granular, afectando la transmisión de esfuerzos internos y reduciendo la resistencia final del concreto. Esto explica la mayor dispersión de resultados y la cercanía al f’c de diseño evidenciada en las probetas del M-3.

- **Comparación con estudios previos similares**

Los resultados del presente estudio son consistentes con investigaciones realizadas en concretos con incorporación de materiales cerámicos calcinados. Estudios como el de Sánchez y Ramírez (2020) reportaron incrementos de resistencia entre 5 % y 12 % cuando el reemplazo no supera el 15 %, mientras que porcentajes mayores tienden a generar reducciones progresivas en la resistencia a la compresión. De manera similar, Torres et al. (2019) concluyeron que el rango óptimo de sustitución para concretos no estructurales se encuentra entre 10 % y 20 %, dependiendo de la granulometría y del proceso de calcinación.

Las diferencias observadas entre el presente estudio y otras investigaciones pueden explicarse por factores como la naturaleza específica de la arcilla utilizada, las condiciones locales de curado y el método de moldeo, elementos que influyen directamente en la calidad del concreto, tal como señala Neville (2011). En el contexto específico del distrito de Yarinacocha, los resultados obtenidos aportan evidencia empírica local que complementa y refuerza los hallazgos previos.

- **Aporte técnico del estudio**

A diferencia de estudios experimentales generales, esta investigación aporta datos específicos bajo condiciones controladas de laboratorio certificado, utilizando equipos calibrados conforme a la UNE-EN ISO 7500-1, lo cual garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos. La identificación de un porcentaje óptimo del 15 % de reemplazo constituye un aporte técnico relevante para aplicaciones de concreto no estructural en contextos similares, contribuyendo a la búsqueda de alternativas sostenibles en la industria de la construcción sin comprometer el desempeño mecánico del material.

CONCLUSIONES

- Se concluyó que el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyó directamente en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha, dado que modificó su comportamiento mecánico, su trabajabilidad y su factibilidad práctica de uso. Los resultados evidenciaron que esta influencia no fue lineal, identificándose un porcentaje de reemplazo técnicamente óptimo, así como un límite a partir del cual el desempeño del concreto se ve afectado negativamente.
- Se determinó que el concreto con 15 % de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada presentó el mejor desempeño resistente, alcanzando una resistencia promedio superior al concreto patrón y al valor de diseño f'c = 175 kg/cm². En contraste, el concreto con 25 % de reemplazo no alcanzó la resistencia especificada, lo que permitió establecer que una dosificación intermedia resulta más eficiente desde el punto de vista mecánico para concreto no estructural.
- Se concluyó que el incremento del porcentaje de reemplazo del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada generó una disminución progresiva del asentamiento del concreto fresco. Mientras que el concreto con 15 % de reemplazo mantuvo una trabajabilidad aceptable para su colocación y compactación, el concreto con 25 % de reemplazo evidenció una reducción significativa de la fluidez, lo que limitó su manejo práctico sin ajustes adicionales en la dosificación o el uso de aditivos.
- Se concluyó que la arcilla moldeada calcinada presentó condiciones favorables de disponibilidad local en el distrito de Yarinacocha, permitiendo su obtención y procesamiento bajo un esquema operativo viable para aplicaciones de concreto no estructural. No obstante, se estableció que su uso resulta técnicamente conveniente cuando se emplea en porcentajes controlados, siendo el 15 % de reemplazo el nivel que equilibra adecuadamente desempeño técnico y factibilidad operativa.

RECOMENDACIONES

- En función de la influencia del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla calcinada en la viabilidad técnica del concreto no estructural, moldeada se recomendó emplear este material alternativo únicamente dentro de rangos técnicamente evaluados, evitando incrementos arbitrarios del porcentaje de sustitución que puedan comprometer el desempeño del concreto en aplicaciones prácticas.
- Considerando el desempeño mecánico alcanzado por el concreto con 15 % de reemplazo, se recomendó adoptar esta dosificación como porcentaje óptimo para la elaboración de concreto no estructural en contextos similares al distrito de Yarinacocha, especialmente en elementos como veredas, sobrecimientos, sardineles u otros componentes no sometidos a cargas estructurales significativas.
- En relación con la disminución de la trabajabilidad observada a mayores porcentajes de reemplazo, se recomendó controlar cuidadosamente la dosificación del material sustituto, así como evaluar el uso de aditivos plastificantes o ajustes en la relación agua/cemento en futuros estudios, con el fin de mejorar la fluidez del concreto fresco sin afectar su resistencia mecánica.
- Dado que la arcilla moldeada calcinada presentó condiciones favorables de disponibilidad operativa y logística en el distrito de Yarinacocha, se recomendó promover su uso progresivo en aplicaciones no estructurales, acompañando su implementación de protocolos técnicos de procesamiento y control de calidad, que aseguren uniformidad en el material y resultados reproducibles en obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aïtcin, P. C. (2000). Cements of yesterday and today: Concrete of tomorrow. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00365-3.

Álvarez Carpentier, T. (1996). La represión del delito tributario como modalidad de delito económico. Perú.

B Sabir, B., Wild, S., & Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. Cement and Concrete Composites, https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00092-5.

Barra Pineda, D. (2009). El Curador Procesal en el Proceso Civil: Organo de Auxilio Judicial o Sujeto Pasivo del Proceso en los Juzgados Civiles del Módulo Corporativo Civil y Laboral del Cusco Durante los Años 2005, 2006, 2008 y 2009. Perú.

Barrionuevo Romero. (2023). La sustitucion parcial del cemento por arcilla calcinada en concreto en Sihuas. Sihuas.

Borda Vivanco, J. M. (2022). La idoneidad al tratamiento de los delitos tributarios dentro del marco normativo peruano. Perú: https://hdl.handle.net/20.500.12692/101392.

Calderon Miranda, R. E., & Durand Flores, A. J. (2023). Influencia de arcilla Pasha calcinada y cenizas de cartón reciclado en propiedades físicas y mecánicas de concreto ternario, Puno, 2023. Huancayo: https://hdl.handle.net/20.500.12394/15428.

Caro Coria, D. (2015). Lavado de Activos provenientes del Delito Tributario. Perú.

Chavarria Reyes et al. (2021). Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural. Dialnet, 2.

De la Torres Céspedes, L. (2016). La persona jurídica como sujeto pasivo en los delitos contra el honor en el Perú, periodo 2015. Perú.

De Paz Huaman, J., & Paredes Zelaya, P. (2024). Influencia de la ceniza de cáscara de arroz sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Chimbote : https://doi.org/10.32911/as.2024.v17.n1.1067.

Feregrino, M. (2004). Los delitos fiscales. México: https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1524.

Forero Hernández, C. (2020). El bien jurídico protegido en el delito de defraudación o evasión tributaria. Una visión desde las legislaciones colombiana y española. Colombia: Revista Académica.

Fuster Guillen, D. E. (2019). Investigación cualitativa: Método fenomenológico hermenéutico. Perú: http://revistas.usil.edu.pe/index.php/pyr/article/view/267.

Gambhir, C. M. (2013). Concrete Technology. Scribd, 788.

Garces Vargas, J. F., Díaz Cardenas, Y., & Martirena Hernandez, J. F. (2024). Evaluation of the Durability of Concrete with the Use of Calcined Clays and Limestone in Salinas, Ecuador. Ecuador: https://doi.org/10.3390/min14050460.

Gomez Flores, P. D., & Quispe Herrera, I. Y. (2024). Influencia de cenizas volantes, polvo de caliza y arcilla de caolinita en las propiedades del concreto estructural, en edificaciones, Puno 2023. Puno: https://hdl.handle.net/20.500.12692/138168.

Hernández- Sampieri, R., Fernadez-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Selección de la muestra. Mexico: https://maestrias.clavijero.edu.mx/cursos/MPPGEE/MPPGEET7IE2/modulo1/documentos/m1-Doc13-SistemaSorteoTombola.pdf.

India o Alemania como los de Ul Haq et al. . (2025).

Inzimam Ul Hag y Colaboradores. (2025). Adopción de cemento y hormigón de arcilla calcinada con piedra caliza en el mercado estadounidense. https://www.aceee.org/research-report/i2401#:~:text=El%20cemento%20de%20arcilla%20calcinada%20con%20piedra%20caliza%20es%20rentable,caliza%20en%20los%20Estados%20Unidos.

jing, y., WU, H.-L., & Dhanada K., M. (2021). Resistencia a la compresión e impacto ambiental de cemento adicionado sostenible con altas dosis de Caliza y Arcilla Calcinada (LC2). ScienceDirect, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123616.

Justice, J., & Kurtis, K. (2007). Influence of Metakaolin Surface Area on Properties of Cement-Based Materials. Journal of Materials in Civil Engineering , https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:9(762).

Kosmatka et al. (2016). Statistical Performance Assessment of an NDE-Based SHM-DP Methodology for the Remaining Fatigue Life Prediction of Monitored Structural Components and Systems. IEEE XPLORE, 1.

Lau, & Milos. (2019). Métodos de Investigación Cuantitativa. Perú: http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/168332.

M, A., J, R., F, M., & K, S. (2012). Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. Cement and Concrete Research, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006.

Mamlouk y Zaniewski . (2017). Ensayos a los Materiales de Construcción . Sidalc, 1.

Marangu, Sharma y Colaboradores. (2024). Influencia de la ceniza de cáscara de arroz en las propiedades mecánicas y características microestructurales del concreto f´c 210 kg/cm², Ica-2024. Ica: https://repositorio.upsjb.edu.pe/item/c13a3d58-18e6-4bd5-85ed-aaa6c9901893.

Materials Institute of Building Materials Science, & Leibniz Universität Hannover. (2024). Experimental Investigations on the Application of Natural Plant. https://d-nb.info/134590505X/34.

Mehta, & Monteiro, P. (2014). High-volume natural volcanic pozzolan and limestone powder as partial replacements for portland cement in self-compacting and sustainable concrete. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.003.

Mejía Mejía, E. (2014). El proyecto de investigación científica. Perú: Revista UNMSM - Investigación Educativa.

Meza. (2021). Diseño una Herramienta metodologica para la evaluacion integral de seleccion de alternativas de valorizacion energetica de residuos solidos municipales. https://unisucre.edu.co/wp-content/uploads/2025/03/Valorizacion-Energetica-Residuos-Solidos.pdf.

Miltre, J. (2021). Evasión o Defraudación Fiscal y la Elusión Fiscal en Panamá. Panamá: Revista Ratio Legis.

Mindess et al. (2003). Hormigón 2.ª edición. American Concrete institute, 644.

Neville, S. (2011). Stakeholder Salience Revisited: Refining, Redefining, and Refueling an Underdeveloped Conceptual Tool. Springer Nature, 1.

Nieto Pusari, M. (2023). La evasión tributaria y su incidencia en el delito tributario del comercio electrónico de Lima en el año 2020. Perú: https://hdl.handle.net/20.500.13067/2307.

Pino Huanca, D., & Cáceres Pineda, F. (2021). Adición de arcilla calcinada al concreto estructural para mejorar propiedades físicas del concreto F'C =2 80 y 350 kg/cm2, en la provincia de Puno - 2021. Puno: https://hdl.handle.net/20.500.12394/12261.

Puchoc Flores, M. (2021). Controversia en relación con el sujeto pasivo del impuesto predial: propietario y poseedor. Perú: http://hdl.handle.net/20.500.12404/21029.

Puchoc Flores, M. (2021). Controversia en relación con el sujeto pasivo del impuesto predial: propietario y poseedor. Perú: http://hdl.handle.net/20.500.12404/21029.

Puchoc Flores, M. (2021). Controversia en relación con el sujeto pasivo del impuesto predial: propietario y poseedor. Perú.

Ramírez Muñoz, M. (2025). Análisis de la influencia de la adición de biosólidos calcinados en la resistencia a la compresión de un mortero. India o Alemania : file:///D:/Downloads/Ram%C3%ADrezMu%C3%B1ozMart%C3%ADnFelipe2025%20(3).pdf.

Romero Luis, V. J. (2019). El delito tributario y su relación con el delito de lavado de activos, contribuyentes de tercera categoría del impuesto a la renta de la

Provincia de Pasco – 2018. Perú: http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2117.

Ruiz Ayala, M., & Efus Coronel, V. (2024). Análisis de la influencia del uso de concreto reciclado en reemplazo del agregado global para el concreto de F'C=175 kg/cm2, en Callería - Ucayali. Pucallpa: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/RUNU_e118eb38215e31cafd1a1d3f2f02f910.

Sabir et al. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. Sciencedirect, 441-454.

San Martín Castro, C. (1997). La Persecución del Delito Tributario. Perú.

Sánchez y Ríos . (2022). Especificación estándar para agregados de hormigón. https://store.astm.org/c0033_c0033m-18.html.

Sanmartín, L. A. (2020). Percepciones de los sujetos activos y pasivos agremiados respecto al anticipo del impuesto a la renta en la Provincia de El Oro- Ecuador. Ecuador: Revista Espacios.

Shetty. (2005). Finite element study of energy absorption characteristics of a hybrid structure-composite wrapped on a square metal tube. researchgate, Wichita State University, 30-39.

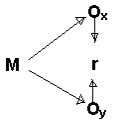
Tarazona Acuña, A. M., & Gonzalez Manrique de Lara, ,. D. (2021-2024). Efectividad del Uso del Cloruro de Calcio en la Estabilización de los Suelos Arcillosos de la Subrasante en el Tramo Nueva Requena - Campo Verde, Ucayali, 2021. Campo Verde: https://hdl.handle.net/20.500.14621/7279.

Villegas Perales, M. (2020). Vulnerabilidad del sujeto pasivo como agravante del homicidio calificado una propuesta para regular. Perú: http://hdl.handle.net/20.500.12423/2500.

Yacolca Estares, D. (2012). El bien jurídico en los delitos tributarios y los nuevos delitos tributarios de información falsa, facturas falsas y almacenamiento no declarado. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
			VARIABLES	DIMENSIONES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿Cómo el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha, 2025? **PROBLEMAS ESPECÍFICOS** ¿Cómo influyen las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la resistencia mecánica del concreto no estructural? ¿Cómo influye la dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la trabajabilidad del concreto no estructural? ¿Cuáles son las condiciones de disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada para su aplicación como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha?	**OBJETIVO GENERAL** Evaluar la viabilidad técnica del concreto no estructural mediante el reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en el distrito de Yarinacocha, 2025. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** -Evaluar el efecto de las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la resistencia mecánica del concreto no estructural. -Analizar la influencia de la dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en la trabajabilidad del concreto no estructural. -Analizar la disponibilidad operativa y logística de la arcilla moldeada calcinada como material alternativo para su aplicación en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.	**HIPOTESIS GENERAL** El reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la viabilidad técnica del concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha. **HIPOTESIS ESPECÍFICOS** -Las propiedades mecánicas del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influyen favorablemente en la resistencia mecánica del concreto no estructural, siendo más eficiente una dosificación intermedia. -La dosificación y proporción del reemplazo parcial del agregado grueso por arcilla moldeada calcinada influye en la trabajabilidad del concreto no estructural, reduciéndose esta conforme aumenta el porcentaje de reemplazo. -La arcilla moldeada calcinada presenta condiciones de disponibilidad operativa y logística favorables para su uso como material de reemplazo parcial del agregado grueso en concreto no estructural en el distrito de Yarinacocha.	**Variable 1: Técnica del concreto no estructural** **Dimensiones:** Resistencia mecánica Trabajabilidad del concreto Disponibilidad del material **Variable 2:** Reemplazo parcial de agregado grueso por arcilla **Dimensiones:** Propiedades mecánicas Dosificación y proporción Durabilidad del concreto **<u>Interviniente</u>** Distrito de Yarinacocha, Ucayali, 2025	- Resistencia a la compresión a los 7 días - Resistencia a la compresión a los 28 días - Cumplimiento de la resistencia mínima según norma - Valor de asentamiento (slump) - Variación de trabajabilidad respecto a la mezcla patrón - Cumplimiento del rango establecido - Costo total de producción por m³ - Diferencia de costo respecto a mezcla convencional - Relación costo-beneficio técnica-económica - Cantidad disponible en m³ o toneladas - Tiempo de adquisición o producción del material - Accesibilidad o transporte del material	Máquina universal de compresión Cono de Abrams Moldes cilíndricos metálicos Mezcladora eléctrica Cuadro de costos unitarios	**Población (N):** 27 probetas **Muestra (n):** 27 probetas **Tipo de Investigación:** Aplicada **Nivel de investigación**: Explicativo - comparativo **Diseño de Investigación:** Experimental  **Técnicas:** Observación directa estructurada Ensayos de laboratorio Análisis documental . Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la UNU

ANEXO 2. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220136

Suelo Asfalto y Concreto

Certificados de Calibración de los Equipos de Laboratorio "Geotécnica" Acreditados por INACAL

GEOTÉCNICA LABORATORIO

SERVIMETROL

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 116 - 2025

Expediente	25-0114
1. Solicitante	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTECNICA E.I.R.L.
2. Dirección	Av. Union N° 2553 Yarinacocha - Coronel Portillo - UCAYALI
3. Equipo	PRENSA DE CONCRETO
Capacidad	120000 kgf
Marca	ELE INTERNATIONAL
Modelo	36-0690/06
Número de Serie	119019
Identificación	NO INDICA
Procedencia	U.S.A.
Indicación	DIGITAL
Marca	ELE INTERNATIONAL
Modelo	ADR TOUCH
Número de Serie	1887-1-00086
Resolución	1 kgf
4. Fecha de Calibración	2025-10-06
5. Fecha de Emisión	2025-10-06

Los resultados del certificado son válidos sólo para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo, realizado el mantenimiento, conservación y el tiempo de uso del instrumento.

SERVICIOS & METROLOGIA S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

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

Sello

SERVICIOS & METROLOGIA S.A.C. LABORATORIO

Jefe de Laboratorio

Firmado digitalmente por ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ
Fecha: 2025.10.07 12:21:03 -05'00'

SERVIMETROL

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 116 - 2025

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "*Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza*" - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.
Av. Union N° 2553 Yarinacocha - Coronel Portillo - UCAYALI

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	27,5 °C	27,0 °C
Humedad Relativa	53 % HR	53 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2024-1 87747	Celda de carga calibrado a 150 tn con incertidumbre del orden de 0,6 %	LEDI-PUCP INF-LE-071-25A

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de ± 2,0 °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.

SERVIMETROL

SERVICIOS & METROLOGÍA S.A.C
LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
SMF - 116 - 2025

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	10000	9937	9921	9943	9934
20	20000	19860	19880	19872	19870
30	30000	29807	29830	29819	29819
40	40000	39754	39780	39766	39766
50	50000	49715	49748	49711	49725
60	60000	59715	59676	59674	59688
70	70000	69715	69669	69677	69683
80	80000	79713	79641	79679	79677
90	90000	89710	89822	89680	89670
100	100000	99705	99802	99679	99662
Retorno a Cero		0	0	0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000	0.67	0.22	---	0.01	0.27
20000	0.65	0.10	---	0.01	0.27
30000	0.61	0.08	---	0.00	0.27
40000	0.59	0.07	---	0.00	0.27
50000	0.55	0.07	---	0.00	0.27
60000	0.52	0.07	---	0.00	0.27
70000	0.45	0.06	---	0.00	0.27
80000	0.40	0.09	---	0.00	0.27
90000	0.37	0.10	---	0.00	0.27
100000	0.34	0.10	---	0.00	0.27

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0.00 %

12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.
La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

ANEXO 3. INFORMES DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Primer informe (03/12/2025)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393229130

"AÑO DE LA RECUPERACION Y CONSOLIDACION DE LA ECONOMIA PERUANA"

Pucallpa, 03 de Diciembre del 2025

ATENCION : Bach. Ing. Civil - Daniel Francis Sandy Castro
Tesista.

ASUNTO : **Resultados de ensayos de resistencia a la compresión axial.**

OBRA : **"Análisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"**

Es grato dirigirme a Ud. Con el fin de informarle con relación a los ensayos realizados en laboratorio:

De acuerdo a los testigos de concreto remitidos al laboratorio, se realizaron **09** ensayos de resistencia a la compresión axial, obteniendo resultados favorables en concordancia con el diseño de mezcla de concreto y los % aprobados por la ACI de acuerdo a la edad del curado, los mismos que fueron verificados por el interesado..

Se adjuntan los certificados correspondientes, para los fines que Ud, crea conveniente.

Es todo cuanto informo a Ud, para su conocimiento y demás fines.

Atentamente.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
GERENTE DE LABORATORIO

Dir. Av. Unión N° 2553 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA E.I.R.L.
PROBAETAS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220136



INDECOPI: Certificado N° 00081702

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moliseada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro

DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.
TECNICO : V. Ruiz
FECHA : 03-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA	AREA	DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura		(Kg)	(cm)	(Kg/cm²)	Kg/cm²	%	
01	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	26824	176.7	175	151.8	87	92
02	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	25743	176.7	175	168.3	96	
03	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	26540	176.7	175	161.5	92	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	88 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	481.6	275.3
DESVIACION STANDARD	8.3	4.7
MINIMO	151.8	86.7
PROMEDIO	160.6	91.7

GRAFICO DE COEFICIENTE A LA RESISTENCIA

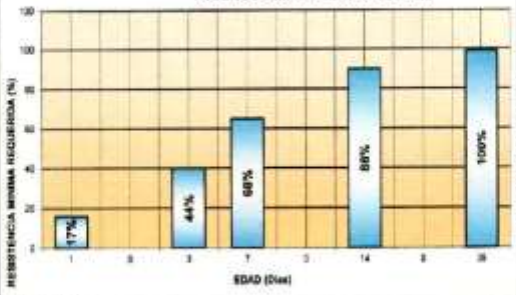
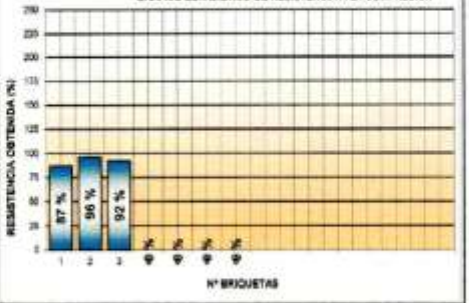


GRAFICO ESTADISTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK 200-AGR TOUCH
MODELO 36-0600/08
SERIE 119019
CAPACIDAD 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL- MARCA WEIGHT; X8 - ELE INTERNATIONAL
SERIE 1887-1-00086
CALIBRADO Segun Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025. Certificado SMF-116-2025. Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2663 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Movil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20383320130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.
SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 03-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	30005	176.7	175	169.8	97	94
02	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	28652	176.7	175	162.1	93	
03	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	29003	176.7	175	164.1	94	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	496.1	283.5
DESVIACION STANDARD	4.0	2.3
MINIMO	162.1	92.6
PROMEDIO	165.4	94.5

GRAFICO DE COEFICIENTE A LA RESISTENCIA

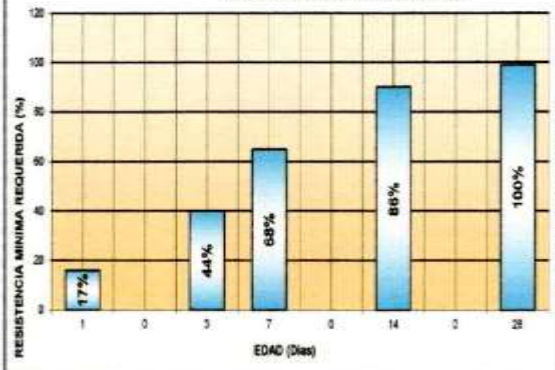
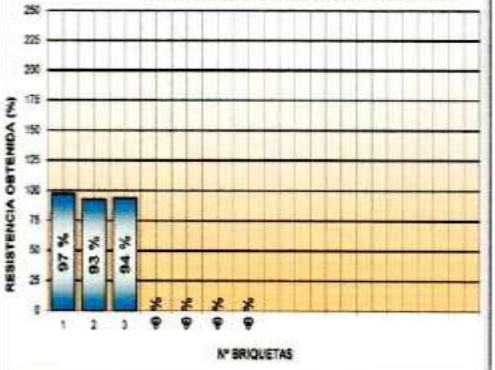


GRAFICO ESTADISTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH
MODELO : 36-0690/06
SERIE : 115019
CAPACIDAD : 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: 38 - ELE INTERNATIONAL
SERIE : 1887-1-00086
CALIBRADO : Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 26/10/2025. Certificado SMF-115-2025. Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2553 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20390328130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.
SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 03-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

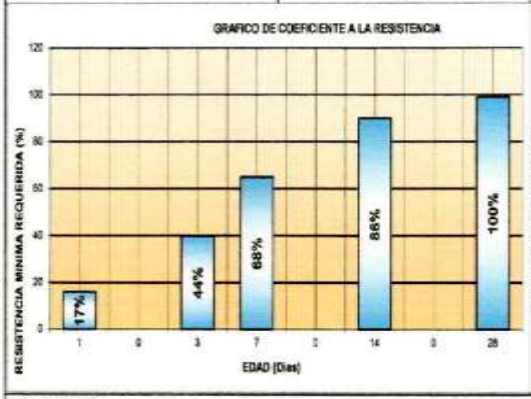
(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	28741	176.7	175	162.6	93	94
02	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	28386	176.7	175	160.5	92	
03	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	7	26-11-25	03-12-25	15.0	29740	176.7	175	168.3	96	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	491.5	280.8
DESVIACION STANDARD	4.0	2.3
MINIMO	160.5	91.7
PROMEDIO	163.8	93.6





OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-200-ADR TOUCH

MODELO : 36-0990406
SERIE : 119019
CAPACIDAD : 120000KG

CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X3 - ELE INTERNATIONAL

SERIE : 1867-1-00086
CALIBRADO : Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-116-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2563 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702

Móvil: 961623001
: 977447231

Segundo informe (10/12/2025)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA srl.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20391220720

"AÑO DE LA RECUPERACION Y CONSOLIDACION DE LA ECONOMIA PERUANA"

Pucallpa, 10 de Diciembre del 2025

ATENCION : Bach. Ing. Civil - Daniel Francis Sandy Castro
Tesista.

ASUNTO : **Resultados de ensayos de resistencia a la compresión axial.**

OBRA : **"Análisis de la Viabilidad Técnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"**

Es grato dirigirme a Ud. Con el fin de informarle con relación a los ensayos realizados en laboratorio:

De acuerdo a los testigos de concretos remitidos al laboratorio, se realizaron **09** ensayos de resistencia a la compresión axial, obteniendo resultados favorables en concordancia con el diseño de mezcla de concreto y los % aprobados por la ACI de acuerdo a la edad del curado, los mismos que fueron verificados por el interesado..

Se adjuntan los certificados correspondientes, para los fines que Ud, crea conveniente.

Es todo cuanto informo a Ud, para su conocimiento y demás fines.

Atentamente.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
GERENTE DE LABORATORIO

Dir. Av. Unión N° 2553 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL
PAVIMENTOS · CONCRETO ASFALTO · CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G
SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 10-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA	AREA	DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura		(Kg)	(cm)	(Kg/cm²)	Kg/cm²	%	
01	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	28745	176.7	175	162.7	93	95
02	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	30000	176.7	175	169.8	97	
03	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	28996	176.7	175	164.1	94	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	65 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	496.5	283.7
DESVIACION STANDARD	3.8	2.1
MINIMO	162.7	93.0
PROMEDIO	165.5	94.6

GRAFICO DE COEFICIENTE A LA RESISTENCIA

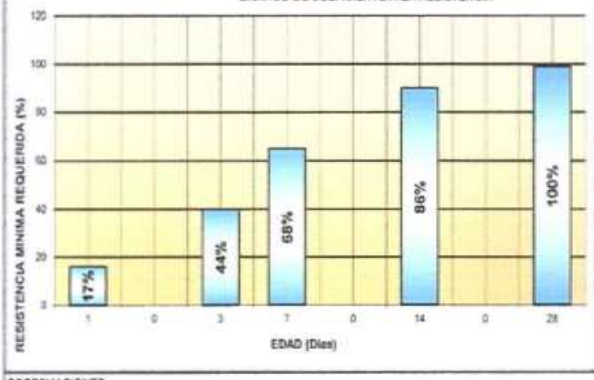
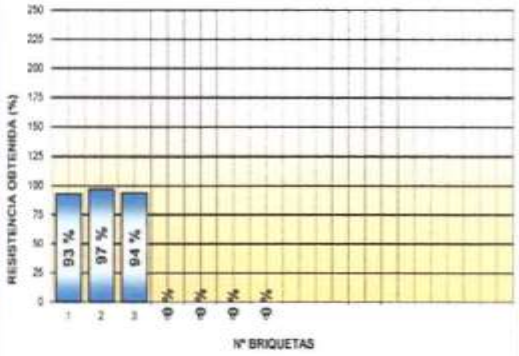


GRAFICO ESTADISTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH
MODELO 36-2650/06
SERIE 119019
CAPACIDAD 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X8 - ELE INTERNATIONAL
SERIE 1887-1-00086
CALIBRADO Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-116-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2563 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA E.I.R.L.
PAVIMENTOS · CONCRETO ASFALTO · CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISIÓN DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220136

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Visibilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB: Marcos Chacaltana G.
SOLICITA: Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO: V. Ruiz
DISEÑO f'c: : 175 Kg/cm²
FECHA: 10-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	30058	176.7	175	170.1	97	96
02	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	29345	176.7	175	166.1	95	
03	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	29741	176.7	175	168.3	96	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074	
EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	504.5	288.3
DESVIACION STANDARD	2.0	1.2
MINIMO	166.1	94.9
PROMEDIO	168.2	96.1

GRAFICO DE COEFICIENTE A LA RESISTENCIA

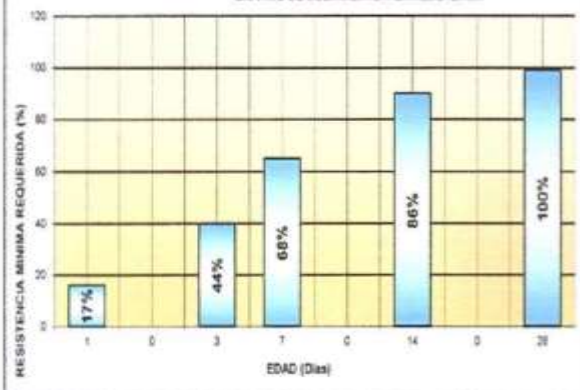
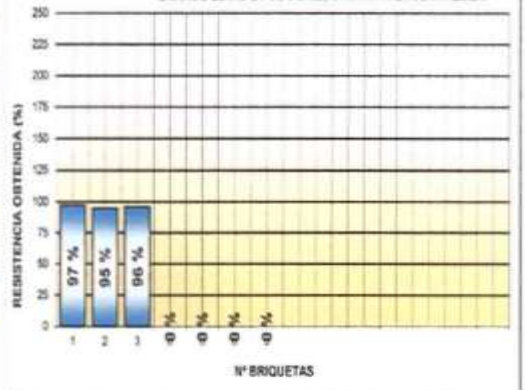


GRAFICO ESTADISTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION



OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO ACCU-TEK 250 ADR TOUCH
MODELO 36-0690/06
SERIE 119019
CAPACIDAD 120000KG

CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X8 - ELE INTERNATIONAL
SERIE 1887-1-00086
CALIBRADO Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-116-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2653 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA E.I.R.L.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCIÓN Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G
SOLICITA : Bach. Daniel Franco Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 10-12-25

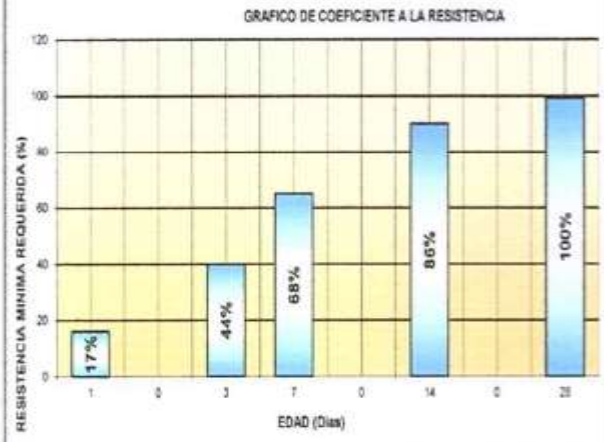
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	28663	176.7	175	162.2	93	96
02	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	29650	176.7	175	167.8	96	
03	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	14	26-11-25	10-12-25	15.0	30425	176.7	175	172.2	98	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074	
EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	502.2	286.9
DESVIACION STANDARD	5.0	2.9
MINIMO	162.2	92.7
PROMEDIO	167.4	95.6





OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH
MODELO 36-0690/06
SERIE 119019
CAPACIDAD 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X9 - ELE INTERNATIONAL
SERIE 1887-1-00086
CALIBRADO Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-115-2025 Servicios & Metrologia S.A.C

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Tercer informe (24/12/2025)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393228130

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

Pucallpa, 24 de diciembre del 2025

ATENCION : Bach. Ing. Civil - Daniel Francis Sandy Castro
Tesista.

ASUNTO : **Resultados de ensayos de resistencia a la compresión axial.**

OBRA : **"Análisis de la Viabilidad Técnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"**

Es grato dirigirme a Ud. Con el fin de informarle con relación a los ensayos realizados en laboratorio:

De acuerdo a los testigos de concretos remitidos al laboratorio, se realizaron **09** ensayos de resistencia a la compresión axial, obteniendo resultados favorables en concordancia con el diseño de mezcla de concreto y los % aprobados por la ACI de acuerdo a la edad del curado, los mismos que fueron verificados por el interesado..

Se adjuntan los certificados correspondientes, para los fines que Ud, crea conveniente.

Es todo cuanto informo a Ud, para su conocimiento y demás fines.

Atentamente.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS – GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
GERENTE DE LABORATORIO

Dir. Av. Unión N° 2553 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220138

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.
SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 24-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	34596	176.7	175	195.8	112	108
02	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	32401	176.7	175	183.4	105	
03	M-1 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 0% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	33640	176.7	175	190.4	109	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	569.5	325.4
DESVIACION STANDARD	6.2	3.5
MINIMO	183.4	104.8
PROMEDIO	189.8	108.5





OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH
MODELO : 36-0690/06
SERIE : 119019
CAPACIDAD : 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X8 - ELE INTERNATIONAL
SERIE : 1887-1-00086
CALIBRADO : Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-115-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2553 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA E.I.R.L.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.
SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro
TECNICO : V. Ruiz
DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²
FECHA : 24-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

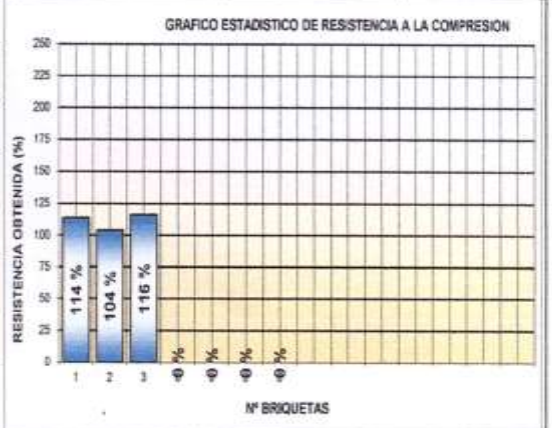
N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA (Kg)	AREA (cm)	DISEÑO (Kg/cm²)	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura					Kg/cm²	%	
01	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	35214	176.7	175	199.3	114	111
02	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	32175	176.7	175	182.1	104	
03	M-2 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 15% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	36000	176.7	175	203.7	116	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074

EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	586.1	334.3
DESVIACION STANDARD	11.4	6.5
MINIMO	182.1	104.0
PROMEDIO	195.0	111.4





OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH
MODELO : 36-0690/06
SERIE : 119019
CAPACIDAD : 120000KG
CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: X8 - ELE INTERNATIONAL
SERIE : 1887-1-00086
CALIBRADO : Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-116-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2563 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTÉCNICA EIRL.
PAVIMENTOS - CONCRETO ASFALTO - CIMENTACIONES
CONSTRUCCION Y SUPERVISION DE OBRAS CIVILES
ALQUILER Y VENTA DE EQUIPOS
RUC N° 20393220130

INDECOPI: Certificado N° 00081702



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : "Analisis de la Viabilidad Tecnica del Reemplazo Parcial de Agregado Grueso por Arcilla Moldeada Calcinada en Concreto no Estructural, en el Distrito de Yarinacocha, Ucayali - 2025"

SOLICITA : Bach. Daniel Francis Sandy Castro

DISEÑO f'c : 175 Kg/cm²

JEFE DE LAB : Marcos Chacaltana G.

TECNICO : V. Ruiz

FECHA : 24-12-25

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
(ASTM C 39 - 39M - 2005e2, AASHTO T 22-2005 y NTP 339.034)

(f'c-175 Kg/cm²)

N°	ESTRUCTURA	SLUMP	EDAD	FECHA		Ø DE PROBETA	RESISTENCIA PRENSA	AREA	DISEÑO	RESISTENCIA OBTENIDA		RESULTADO PROMEDIO (%)
		Pulg	Dias	Moldeo	Rotura		(Kg)	(cm)	(Kg/cm²)	Kg/cm²	%	
01	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	28663	176.7	175	162.2	93	96
02	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	29650	176.7	175	167.8	96	
03	M-3 DISEÑO DE MEZCLA CON REEMPLAZO AL 25% DE AGREGADO GRUESO	4"	28	26-11-25	24-12-25	15.0	30425	176.7	175	172.2	98	

Cuadro Elaborado por la Norma ASTM C1074	
EDAD	COEF. A LA RESISTENCIA
1	17 %
3	44 %
7	68 %
14	86 %
28	100 %

DESCRIPCION	RESISTENCIA (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
N° DE DATOS	3	3
SUMATORIA	502.2	286.9
DESVIACION STANDARD	5.0	2.9
MINIMO	162.2	92.7
PROMEDIO	167.4	95.6





OBSERVACIONES:

Muestra: Probetas Cilindricas de Concreto (Elaborado por el Solicitante)

Equipo: PRENSA DIGITAL DE ROTURA DE CONCRETO-ACCU-TEK-250-ADR TOUCH

MODELO 36-0690/06

SERIE 119019

CAPACIDAD 120000KG

CABEZAL DE LECTURA AUTOMATICO - DIGITAL -MARCA WEIGHT: XII - ELE INTERNATIONAL

SERIE 1887-1-00086

CALIBRADO Según Norma ASTM E4 "Practica para la Verificacion de la Carga de las Maquinas de Ensayo" el 06/10/2025, Certificado SMF-115-2025 Servicios & Metrologia S.A.C.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana García
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

Dir. Av. Unión N° 2663 – Yarinacocha
geotécnica_pucallpa@hotmail.com
www.geotecnicapucallpa.com
INDECOPI: Certificado N° 00081702
Móvil: 961623001
: 977447231

ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO



Verificación de los ensayos de resistencia a la compresion en laboratorio



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





Verificacion de los ensayos de resistencia a la compresion en laboratorio



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA





Verificacion de los ensayos de resistencia a la compresion en laboratorio



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
GEOTECNICA E.I.R.L.
Marcos Chacaltana Garcia
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

ANEXO 5. INSTRUMENTOS

Título de la tesis: Análisis de la viabilidad técnica del reemplazo parcial de agregado grueso por arcilla moldeada calcinada en concreto no estructural, en el distrito de Yarinacocha, Ucayali – 2025

Instrumento N.º 1: Ficha de Registro de Ensayo de Resistencia a la Compresión

Ítem	Descripción
Código de muestra	_____
Fecha de elaboración	____ / ____ / 2025
Tipo de mezcla	☐ 0 % (control) ☐ 15 % ☐ 25 %
Cantidad de cemento	_____ kg
Cantidad de agregado grueso natural	_____ kg
Cantidad de agregado grueso reemplazado por arcilla moldeada calcinada	_____ kg
Cantidad de agua	_____ L
Relación agua/cemento (A/C)	0,55 (constante)
Edad de curado	☐ 7 días ☐ 14 días ☐ 28 días
Diámetro de la probeta	_____ cm
Altura de la probeta	_____ cm
Carga de rotura	_____ kgf
Área de la sección	_____ cm²
Resistencia a la compresión	_____ kg/cm²
Observaciones	_____

Instrumento N.º 2: Ficha de Registro de Ensayo de Trabajabilidad

Ítem	Descripción
Código de muestra	_____
Fecha del ensayo	____ / ____ / 2025
Tipo de mezcla	☐ 0 % (control) ☐ 15 % ☐ 25 %
Temperatura ambiental	_____ °C
Consistencia esperada según diseño de mezcla	_____
Altura original del cono	30,0 cm (estándar)
Altura después del revenimiento	_____ cm
Asentamiento (slump)	_____ cm
Clasificación de consistencia (según NTP 339.066 / ASTM C143)	☐ Alta ☐ Media ☐ Baja
Observaciones	_____