UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay-Apurímac.

Asesor:

Mg. Cornejo Rosales, Horacio Fernando Antonio Hassan

Autor:

Velasquez Alvarez, Annie Karlita

Para optar el título profesional de: Ingeniero Civil

Abancay - Apurímac - Perú

2026

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Acta N°: 017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los nueve (29) días del mes de mayo del 2026, siendo las 09:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0339-2026-EPIC-FI-UTEA-SA de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo
Dictaminante	:	Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre
Replicante	:	Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Angel

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada: ***Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del reciclaje sucesivo del concreto f'c=210 kg/cm² en la ciudad de Abancay-Apurímac***

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **VELASQUEZ ALVAREZ, Annie Karlita**

Para optar el Tituló Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO(S) ☒ o DESAPROBADO(S) ☐:

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller	Nota	Detalle (**)
Br. VELASQUEZ ALVAREZ, Annie Karlita	13	APROBADO

Siendo las 10:20 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. ROLDÁN JUÁREZ, Américo (.....)

Dictaminante: Mag. LEGUIA VALVERDE, Willy Silvestre (.....)

Replicante: Mag. MALDONADO MENDÍVIL, Angel (.....)

Nota: Desaprobado: 0-10; Aprobado: 11-20

(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

21% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

17% Fuentes de Internet
5% Publicaciones
16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y Nombres	:	Velasquez Alvarez Annie Karlita
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	71573629
URL ORCID (opcional)	:	https://orcid.org/0000-0003-1726-6342
Datos del asesor		
Apellidos y Nombres	:	Cornejo Rosales Horacio Fernando Antonio Hassan
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	07762587
URL ORCID (opcional)	:	https://orcid.org/0000-0002-5537-5323
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Diciembre 2023 – Mayo 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	21% con deposito
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi familia quienes me apoyaron siempre, a las personas que han estado conmigo ayudándome y aconsejándome en todo momento.

Agradecimientos

A mi familia, a mis padres, a mi hermana, quienes me guiaron en este camino, a las personas que han estado conmigo en todo momento apoyándome, quienes me ayudaron a ser la persona que soy, a mi asesor, por guiarme en este camino.

Resumen

Esta investigación analiza la variación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto F'c=210kg/cm^2 tras su reciclaje sucesivo, probando su abrasión, granulometría y resistencia a la compresión, utilizando formatos para la recolección de datos de los ensayos de laboratorio, se evaluó los cambios de cada ciclo de reciclaje y los resultados mostraron que las propiedades fueron deteriorándose en cada ciclo, lo que los hace poco recomendables para nuevas aplicaciones conforme aumenten los ciclos. La abrasión indica un mayor desgaste del material en cada ciclo, en la granulometría observamos que las mallas 3/4" y 3/8" están fuera de los límites, esto reflejo de la fragmentación continua de los agregados. En la resistencia a la compresión observamos una disminución luego de cada ciclo ya que estas soportan menos niveles de esfuerzo.

Podemos concluir que el reciclaje sucesivo del concreto F'c=210kg/cm^2 afecta negativamente la calidad de este, lo cual limita su uso estructuralmente y aunque el reciclaje contribuye a la sostenibilidad en la construcción, se debe tener un control riguroso del material y considerar la cantidad de ciclos de reciclaje, antes que pierda sus propiedades importantes para garantizar la durabilidad y seguridad de las estructuras.

***Palabras clave*:** reciclaje sucesivo, ciclo de reciclaje, concreto reciclado

Abstract

This research analyses the variation of the physical and mechanical properties of concrete F'c=210kg/cm2 after its successive recycling, testing its abrasion, granulometry and compressive strength, using formats for the collection of data from the laboratory tests, the changes of each recycling cycle were evaluated and the results showed that the properties were deteriorating in each cycle, which makes them not recommendable for new applications as the cycles increase. The abrasion indicates a greater wear of the material in each cycle, in the granulometry we observed a greater amount of fine particles after each recycling, this reflects the continuous fragmentation of the aggregates. In the compressive strength, we observed a decrease after each cycle as the aggregates withstand lower levels of stress.

We can conclude that successive recycling of concrete F'c=210kg/cm^2 negatively affects the quality of the concrete, which limits its use structurally and although recycling contributes to sustainability in construction, the material must be rigorously controlled and the number of recycling cycles must be considered before it loses its important properties to guarantee the durability and safety of the structures.

Keywords**:** successive recycling, recycling cycle, recycled concrete

Índice general

Acta de Sustentación ii

Reporte de Similitud iii

Metadatos iv

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice general ix

Índice de tablas xi

Índice de figuras xiv

Índice de anexos xvii

I. Introducción 18

II. Planteamiento del problema 20

2.1. Descripción y formulación del problema 21

2.2. Objetivos 22

2.3. Justificación e importancia 22

2.4. Hipótesis 23

2.5. Variables 23

III. Marco Teórico 24

3.1. Antecedentes 24

3.2. Bases teóricas 31

3.3. Definición de términos 37

IV. Metodología 39

4.1. Tipo y nivel de investigación 39

4.2. Ámbito temporal y espacial 40

4.3. Población y muestra 40

4.4. Instrumentos 41

4.5. Procedimientos 42

4.6. Análisis de datos 42

4.7. Consideraciones éticas 43

V. Resultados y discusión 45

5.1. Resultados 45

5.2. Resultados descriptivos de Propiedades mecánicas (Resistencia a la compresión) tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac. 45

5.3. Discusión 67

VI. Conclusiones 69

VII. Recomendaciones 71

VIII. Referencias 72

IX. Anexos 78

Índice de tablas

Tabla 1 *Briquetas de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión.* 41

Tabla 2 Peso específico (gr/cm³) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 45

Tabla 3 Peso específico (gr/cm³) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 46

Tabla 4 Porcentaje de humedad (%) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 48

Tabla 5 Porcentaje de humedad (%) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 49

Tabla 6 Peso unitario suelto (kg) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 50

Tabla 7 Peso unitario compactado (kg) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 51

Tabla 8 Peso unitario suelto (kg) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 52

Tabla 9 Peso unitario compactado (kg) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 53

Tabla 10 Ensayo Los Ángeles (%) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 54

Tabla 11 Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 56

Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 57

Tabla 13 Prueba de Tukey (5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 58
Tabla 14 Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay . 59
Tabla 15 Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 61
Tabla 16 Prueba de Tukey (5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 62
Tabla 17 Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay . 63
Tabla 18 Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 65
Tabla 19 *Granulometría del 1º ciclo de reciclaje.* 96
Tabla 20 Granulometría del 2º ciclo de reciclaje. 97
Tabla 21 *Granulometría del 3º ciclo de reciclaje.* 98
Tabla 22 *Resumen de la granulometría de los tres ciclos de reciclaje.* 99
Tabla 23 *Granulometría del agregado fino.* 101
Tabla 24 *Contenido de humedad de los tres ciclos del agregado reciclado.* 103
Tabla 25 *Contenido de humedad del agregado fino.* 104
Tabla 26 *Peso específico del agregado reciclado de los tres ciclos de reciclaje.* 106
Tabla 27 *Peso específico del agregado fino.* 108
Tabla 28 *Peso unitario suelto del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje.* 111
Tabla 29 *Peso unitario compactado del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje.* 112

Tabla 30 *Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.*.....114

Tabla 31 *Abrasión en la máquina de los Ángeles de los tres ciclos de reciclaje.*.....116

Tabla 32 *Prueba de resistencia a la compresión del 1º ciclo de reciclaje a los 7 días.*...118

Tabla 33 Prueba de resistencia a la compresión del 1º ciclo de reciclaje a los 14 días..118

Tabla 34 Prueba de resistencia a la compresión del 1º ciclo de reciclaje a los 28 días..118

Tabla 35*Prueba de resistencia a la compresión del 2º ciclo de reciclaje a los 7 días.*....120

Tabla 36 Prueba de resistencia a la compresión del 2º ciclo de reciclaje a los 14 días..120

Tabla 37 Prueba de resistencia a la compresión del 2º ciclo de reciclaje a los 28 días..120

Tabla 38 *Prueba de resistencia a la compresión del 3º ciclo de reciclaje a los 7 días.*...122

Tabla 39 Prueba de resistencia a la compresión del 3º ciclo de reciclaje a los 14 días..122

Tabla 40 Prueba de resistencia a la compresión del 3º ciclo de reciclaje a los 28 días..122

Tabla 41 *Promedio de la resistencia a la compresión en cada ciclo de reciclaje.*.....123

Índice de figuras

Figura 1 Tamaño de la muestra para granulometría.....35
Figura 2 Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 57
Figura 3 Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 61
Figura 4 Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay 64
Figura 5 Mapa de ubicación del botadero de escombros y donde se realiza la tesis. 81
Figura 6 Demolición del concreto proveniente de pistas para el 1º ciclo de reciclaje. 82
Figura 7 Triturado y tamizado del agregado reciclado para el 1º ciclo de reciclaje.....83
Figura 8 Ensayo del agregado fino y reciclado para el 1º ciclo de reciclaje.....84
Figura 9 Elaboración de briquetas y bloques de concreto del 1º ciclo de reciclaje. 85
Figura 10 Curado del 1º ciclo de reciclaje. 86
Figura 11 Demolición de los bloques de concreto para el 2º reciclaje. 87
Figura 12 Ensayos para el 2º ciclo de reciclaje. 88
Figura 13 Elaboración de briquetas y bloques de concreto del 2º ciclo de reciclaje. 89
Figura 14 Curado del 2º ciclo de reciclaje. 90
Figura 15 Demolición de los bloques de concreto para el 3º ciclo de reciclaje. 91
Figura 16 Ensayos para el 3º ciclo de reciclaje. 92
Figura 17 Elaboración de briquetas para el 3º ciclo de reciclaje.....93
Figura 18 Curado de briquetas del 3º ciclo de reciclaje.....94
Figura 19 Ensayo de granulometría del agregado reciclado de los tres ciclos de reciclaje 95

Figura 20 Curva granulométrica del agregado reciclado en el 1º ciclo de reciclaje. 96
Figura 21 Curva granulométrica del agregado reciclado en el 2º ciclo de reciclaje. 97
Figura 22 Curva granulométrica del agregado reciclado en el 3º ciclo de reciclaje. 98
Figura 23 Curva granulométrica del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje. ...99
Figura 24 Granulometría del agregado fino. 100
Figura 25 Curva granulométrica del agregado fino. 101
Figura 26 Contenido de humedad del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje. 102
Figura 27 Grafica del contenido de humedad de los tres ciclos de reciclaje. 103
Figura 28 Contenido de humedad del agregado fino. 104
Figura 29 Peso específico del agregado reciclado en cada ciclo de reciclaje. 105
Figura 30 Grafica del peso específico de los tres ciclos de reciclaje. 106
Figura 31 Peso específico del agregado fino. 107
Figura 32 Peso unitario suelto del agregado reciclado de los tres ciclos de reciclaje. 109
Figura 33 Peso unitario compactado del agregado reciclado de los tres ciclos de reciclaje. 110
Figura 34 Molde para peso unitario suelto y compactado 110
Figura 35 Grafica del peso unitario suelto de los tres ciclos de reciclaje. 111
Figura 36 Grafica del peso unitario compactado de los tres ciclos de reciclaje. 112
Figura 37 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino. 113
Figura 38 Molde para peso unitario suelto y compactado 114
Figura 39 Abrasión de los tres ciclos de reciclaje. 115
Figura 40 Grafica de la abrasión del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje. 116
Figura 41 Resistencia a la compresión del 1º ciclo de reciclaje. 117
Figura 42 Resistencia a la compresión del 2º ciclo de reciclaje. 119
Figura 43 Resistencia a la compresión del 3º ciclo de reciclaje. 121
Figura 44 Grafica resistencia a la compresión en los tres ciclos de reciclaje para 7 días. 123

Figura 45 Grafica resistencia a la compresión en los tres ciclos de reciclaje para 14 días. 124
Figura 46 Grafica resistencia a la compresión en los tres ciclos de reciclaje para 28 días. 124

Índice de anexos

Anexo 1 Operacionalización de Variables. 78

Anexo 2 Matriz de Consistencia. 79

Anexo 3 Variable Independiente 80

Anexo 4 Variable Dependiente 95

Anexo 5 Formatos De Recolección De Datos 125

I. Introducción

El concreto constituye el material predominante en la industria de la construcción debido a su versatilidad, disponibilidad de insumos y adecuado comportamiento estructural. No obstante, el crecimiento sostenido de la infraestructura urbana ha generado, de manera paralela, un incremento significativo de residuos provenientes de demoliciones, rehabilitaciones y mantenimiento de obras civiles. Esta situación plantea un desafío ambiental relevante, especialmente en ciudades intermedias como Abancay, donde la gestión de residuos de construcción y demolición aún presenta limitaciones técnicas y normativas.

En este contexto, el reciclaje del concreto surge como una alternativa orientada a la sostenibilidad, al permitir la reutilización de agregados obtenidos de estructuras que han culminado su vida útil. Diversas investigaciones han demostrado que el uso de concreto reciclado puede contribuir a la reducción del consumo de recursos naturales y a la disminución de volúmenes destinados a botaderos. Sin embargo, cuando el material es sometido a procesos sucesivos de reciclaje, es decir, cuando el concreto reciclado vuelve a ser triturado y reutilizado en nuevos ciclos productivos, surgen interrogantes sobre la evolución de sus propiedades físicas y mecánicas.

El concreto con resistencia característica f’c = 210 kg/cm² es ampliamente utilizado en pavimentos, veredas y elementos estructurales de baja y mediana exigencia en la región de Apurímac. Por ello, resulta fundamental analizar cómo el reciclaje sucesivo afecta parámetros clave como la resistencia a la compresión, la granulometría y la resistencia al desgaste por abrasión, ya que estos influyen directamente en la durabilidad, seguridad y desempeño del material en servicio. La degradación progresiva del agregado reciclado, asociada a la presencia de mortero adherido y al aumento de porosidad, puede modificar de manera significativa el comportamiento del concreto en cada nuevo ciclo de reutilización.

La presente investigación se desarrolla en la ciudad de Abancay durante el año 2024 y tiene como propósito analizar las propiedades físicas y mecánicas del reciclaje sucesivo del concreto f'c = 210 kg/cm², mediante ensayos de laboratorio realizados en tres ciclos consecutivos de reciclaje. El estudio considera la obtención de agregados reciclados a partir de escombros de pavimentos, su caracterización física y la elaboración de nuevas mezclas de concreto, permitiendo analizar la variación de sus propiedades conforme se incrementa el número de ciclos.

Los resultados obtenidos aportan evidencia técnica relevante para la toma de decisiones en proyectos de construcción sostenible, al establecer límites y criterios para el uso del concreto reciclado sucesivamente. Asimismo, el estudio busca contribuir al conocimiento local y regional, proporcionando información confiable que permita optimizar el aprovechamiento de residuos de concreto sin comprometer la calidad ni la seguridad de las obras civiles.

II. Planteamiento del problema

En primer lugar, la creciente generación de residuos de construcción y demolición constituye un reto ambiental y técnico significativo en los sistemas urbanos contemporáneos, especialmente en regiones como Abancay donde la expansión de obras civiles no va acompañada de una gestión eficiente de escombros. Estos residuos, principalmente compuestos de hormigón, representan una fuente potencial de materiales reutilizables si se aplica un proceso de reciclaje adecuado. De acuerdo con estudios recientes, el proceso de transformación de residuos de concreto en agregados reciclados ofrece una alternativa sostenible para disminuir la extracción de áridos naturales y reducir la presión sobre los vertederos, siempre y cuando se entienda cómo este reciclaje influye en las propiedades del material resultante (Sustainable Construction Exploration, 2024).

Por otro lado, la literatura científica ha demostrado que la inclusión de agregados reciclados produce cambios importantes en las características físicas y mecánicas del concreto. Por ejemplo, la absorción de agua y la porosidad de los agregados reciclados son generalmente mayores que las de los agregados naturales, lo cual puede traducirse en reducciones de densidad y variaciones en la resistencia mecánica cuando se mezcla en el concreto (Gómez, Agulló & Vázquez, 2009).

Sin embargo, muchos de estos estudios se centran en un solo ciclo de reciclaje, mientras que la práctica de reutilizar materiales de concreto repetidamente —es decir, el reciclaje sucesivo— introduce una dimensión adicional de complejidad debido a la acumulación de efectos de degradación física en cada generación de agregado reciclado.

Asimismo, investigaciones centradas en la evaluación de múltiples ciclos de reciclaje han observado que la resistencia y la integridad del agregado tienden a disminuir progresivamente con cada repetición de triturado y reincorporación en mezclas de concreto. Estos estudios emplean ensayos como el Aggregate Crushing Value (ACV) y el Aggregate Impact Value (AIV) para cuantificar la degradación de la resistencia en

agregados reciclados desde la primera hasta la tercera generación, evidenciando una reducción significativa en su capacidad mecánica comparada con los agregados naturales (Roknuzzaman et al., 2021).

Sin embargo, a pesar de estas evidencias, persiste una brecha de conocimiento práctico en el contexto regional peruano, y de manera más específica en Abancay, Apurímac, donde las condiciones geológicas de los áridos naturales y los patrones locales de construcción pueden influir de forma particular en el comportamiento del concreto reciclado sucesivamente. Esta falta de información específica dificulta la formulación de criterios técnicos y normativos para la aplicación confiable de concretos con agregados reciclados reutilizados varias veces, especialmente cuando se trata de concretos de resistencia característica f'c=210 kg/cm², que son comúnmente usados en obras civiles de demanda moderada.

En consecuencia, se vuelve indispensable generar evidencia experimental local que permita comprender cómo el reciclaje sucesivo afecta tanto las propiedades físicas (como densidad y absorción de agua) como las propiedades mecánicas (como la resistencia a la compresión) del concreto utilizado en Abancay. Esta comprensión no solo contribuirá a fortalecer las bases técnicas para reutilizar residuos de construcción de manera sostenible, sino también a promover estrategias de economía circular que reduzcan la huella ambiental de la industria de la construcción en el sur del Perú.

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1. Problema general

¿De qué manera las propiedades físicas y mecánicas del concreto varían tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac?

2.1.2. Problema especifico

¿De qué manera el porcentaje de abrasión varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac?

¿De qué manera la granulometría del concreto reciclado varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar las propiedades físicas y mecánicas tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

2.2.2. Objetivos Específicos

Evaluar de qué manera el porcentaje de abrasión varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

Evaluar de qué manera la granulometría del concreto reciclado varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

2.3. Justificación e importancia

El presente trabajo se justifica en la importancia que posee el sector de la construcción de contribuir con agregados reciclados al proyecto de sostenibilidad urbana, debido a la alta producción de concreto en una infraestructura es necesario saber que tanto se podría reutilizar el concreto y cuáles serían las nuevas propiedades que este podría poseer, posiblemente resulte mejor que a la de un concreto fabricado en nuevo estado. Debido a la alta generación de residuos de construcción y demolición, que tiene un impacto significativo en el medio ambiente, existen normas y leyes que tienen como objetivo tomar medidas ambientales sobre la regulación del uso de material reciclable; así, con el fin de preservar nuestro medio ambiente, queremos proporcionar a los ingenieros civiles una

opción innovadora para hacer frente a los residuos de la construcción y así evitar la explotación de materias primas no renovables.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Las propiedades físicas y mecánicas del concreto no se reducen tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

2.4.2. Hipótesis especificas

El porcentaje de abrasión SI varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

La granulometría del concreto reciclado SI varia tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

2.5. Variables

2.5.1. Variable independiente:

Reciclaje sucesivo del concreto f´c= 210 kg/cm^2

2.5.2. Variable dependiente:

Propiedades físicas y mecánicas del concreto f´c=210 kg/cm^2

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel Internacional

Zega & Sosa (2023) desarrollaron un estudio experimental con el objetivo de analizar el comportamiento físico-mecánico de agregados gruesos de concreto reciclado sometidos a múltiples ciclos de reciclaje y su influencia en el desempeño del hormigón. La población estuvo conformada por hormigones elaborados con un 75 % de reemplazo de agregado grueso natural por agregados reciclados de distintas generaciones, utilizándose como muestra especímenes de laboratorio representativos de cada ciclo. Los instrumentos empleados incluyeron ensayos de densidad, absorción de agua, resistencia a la fragmentación, resistencia a la compresión y determinación del módulo de elasticidad. Los resultados evidenciaron que, conforme aumentaron los ciclos de reciclaje, la densidad del agregado disminuyó y la absorción y porosidad se incrementaron progresivamente. Si bien la resistencia a la compresión del hormigón reciclado se mantuvo cercana a la del hormigón convencional, se observó una reducción significativa del módulo de elasticidad. Se concluyó que, tras el tercer ciclo de reciclaje, las propiedades del agregado tendieron a estabilizarse, identificándose la absorción de agua como un indicador clave de la calidad del agregado reciclado y de su impacto en el concreto final.

Jian & Wu (2020) realizaron una investigación experimental cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento a compresión de un concreto compuesto elaborado con trozos de concreto demolido y agregados gruesos reciclados, analizando además la microestructura de la zona de transición interfacial. La población estuvo constituida por mezclas de concreto reciclado con diferentes tasas de reemplazo de agregados reciclados, mientras que la muestra incluyó especímenes fabricados con contenidos variables de residuos, llegando hasta un 100 % de sustitución. Como instrumentos se emplearon ensayos de resistencia a la compresión, porosimetría por intrusión de mercurio y

microscopía electrónica de barrido. Los resultados mostraron que el incremento del contenido de residuos elevó la porosidad y la presencia de poros dañinos, especialmente cuando se utilizó un reemplazo total de agregados reciclados. No obstante, se logró una resistencia a la compresión aceptable incluso con altos porcentajes de residuos. Se concluyó que la combinación de trozos de concreto demolido y agregados reciclados resultó técnicamente viable, siempre que se controle rigurosamente la proporción de agregados reciclados para minimizar efectos negativos sobre la porosidad y la resistencia mecánica.

Quezada Cab (2023) desarrolló una investigación de tipo documental-analítica con el objetivo de evaluar la degradación progresiva de las propiedades físicas y mecánicas de agregados y concretos elaborados con residuos de construcción y demolición a través de distintos ciclos de reciclaje. La población estuvo constituida por investigaciones científicas sobre reciclaje de concreto, seleccionándose como muestra cinco estudios enfocados específicamente en el multirreciclaje de agregados. Como instrumento se empleó una matriz de análisis comparativo que permitió identificar índices máximos de deterioro por propiedad evaluada. Los resultados evidenciaron que la mayoría de las propiedades físicas y mecánicas, tales como resistencia, densidad y absorción, presentaron degradaciones constantes con cada nuevo ciclo de reciclaje, aunque en ciertos casos se observó una tendencia a la estabilización tras varios ciclos. Se concluyó que el reciclaje sucesivo genera un deterioro acumulativo en los materiales, lo que hace necesario establecer límites técnicos para su reutilización segura en nuevas aplicaciones constructivas.

Ramírez Picado (2022) llevó a cabo un estudio experimental con el objetivo de evaluar la viabilidad del uso de agregados gruesos reciclados provenientes de residuos de obras civiles en la producción de nuevos concretos. La población estuvo conformada por escombros de mampostería, baldosas prefabricadas y briquetas de concreto, de los cuales se extrajo una muestra representativa para la elaboración de agregados reciclados y especímenes de concreto. Los instrumentos utilizados incluyeron ensayos de absorción,

granulometría, peso unitario, desgaste y resistencia a la compresión. Los resultados indicaron que los agregados reciclados presentaron desviaciones granulométricas respecto a los parámetros normativos y mayores valores de absorción y desgaste en comparación con los agregados naturales. Sin embargo, las mezclas de concreto con hasta un 30 % de agregado reciclado alcanzaron resistencias a la compresión similares a las del concreto convencional y superiores a la resistencia de diseño de 210 kg/cm². Se concluyó que el uso de agregados reciclados fue técnicamente viable, siempre que se realicen ajustes en la gradación y un control adecuado de sus propiedades físicas.

Muñoz Henao et al. (2024) desarrollaron una investigación experimental con el objetivo de evaluar la incidencia del agregado de concreto reciclado como sustituto parcial del agregado grueso natural en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante. La población estuvo conformada por concretos autocompactantes elaborados con agregados naturales y reciclados, mientras que la muestra consistió en 12 especímenes cilíndricos fabricados con porcentajes de sustitución de agregado reciclado del 0 %, 20 %, 30 % y 40 %. Como instrumento se emplearon ensayos normalizados de absorción de agua del agregado y pruebas de resistencia a la compresión a edades de curado establecidas. Los resultados evidenciaron que la incorporación del agregado reciclado no afectó negativamente las condiciones de fluidez del concreto y que todas las mezclas alcanzaron o superaron la resistencia de diseño. Asimismo, se observó que el incremento del porcentaje de agregado reciclado hasta el 40 % generó un aumento significativo de la resistencia a la compresión a los 28 días. Se concluyó que el agregado de concreto reciclado puede incorporarse en proporciones moderadas sin comprometer las propiedades mecánicas del concreto, siempre que su absorción se mantenga dentro de rangos aceptables

3.1.2. A nivel nacional

Pardo (2024) realizó una investigación experimental con el objetivo de evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto al sustituir parcialmente el agregado grueso

natural por agregado de concreto reciclado en la provincia de Chiclayo. La población estuvo conformada por mezclas de concreto con diferentes porcentajes de sustitución, mientras que la muestra incluyó 90 briquetas y 45 viguetas elaboradas con reemplazos del 10 %, 20 %, 30 % y 40 % del agregado grueso. Los instrumentos empleados fueron ensayos de trabajabilidad, peso unitario, contenido de aire, resistencia a la compresión, tracción y flexión, realizados a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados mostraron que el asentamiento del concreto disminuyó conforme aumentó el porcentaje de agregado reciclado, afectando la trabajabilidad; sin embargo, las propiedades mecánicas se mantuvieron estables cuando el reemplazo no superó el 20 %. Se concluyó que el concreto reciclado es técnicamente viable como sustituto parcial del agregado grueso natural, siempre que se empleen porcentajes moderados que no comprometan la trabajabilidad ni el desempeño mecánico de la materia.

Vilca (2024) desarrolló un estudio experimental con el objetivo de evaluar la influencia del concreto reciclado como sustituto del agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas del concreto f’c = 210 kg/cm² destinado a pavimentos rígidos en la región de Puno. La población estuvo constituida por concretos diseñados para pavimentos, mientras que la muestra estuvo conformada por 96 especímenes, entre probetas cilíndricas, prismáticas y muestras para ensayo de abrasión. Los instrumentos utilizados incluyeron ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, absorción y abrasión. Los resultados evidenciaron que la dosificación con 50 % de concreto reciclado presentó el mayor incremento en la resistencia a la compresión, así como mejoras en los valores de absorción y abrasión, en comparación con otras dosificaciones. Se concluyó que la sustitución del 50 % de concreto reciclado como agregado grueso resulta la opción más adecuada para mejorar el desempeño del concreto f’c = 210 kg/cm² en pavimentos rígidos, al optimizar simultáneamente sus propiedades físicas y mecánicas

Ayacila (2022) desarrolló una investigación experimental con el objetivo de evaluar la influencia del agregado reciclado en la resistencia a la compresión del concreto f’c = 175

kg/cm², destinado a elementos no estructurales en la ciudad de Chiclayo. La población estuvo constituida por mezclas de concreto elaboradas con dos tipos de cemento (GU y MS), mientras que la muestra estuvo conformada por 108 probetas cilíndricas fabricadas con porcentajes de reemplazo del agregado reciclado del 25 %, 50 %, 75 % y 100 %. Los instrumentos utilizados fueron equipos de laboratorio y formatos estandarizados para ensayos de resistencia a la compresión. Los resultados evidenciaron que el cemento MS presentó un mejor comportamiento mecánico frente a los distintos porcentajes de sustitución, alcanzando resistencias superiores a la especificada incluso con altos niveles de agregado reciclado, mientras que el cemento GU mostró resultados favorables solo hasta un 25 % de reemplazo. Se concluyó que el tipo de cemento influye de manera determinante en el desempeño del concreto reciclado, recomendándose el uso de cemento MS para porcentajes elevados de sustitución y el uso de cemento GU únicamente en reemplazos bajos.

Carhuajulca (2022) realizó una investigación experimental cuyo objetivo fue evaluar el uso del concreto reciclado como sustituto del agregado grueso natural para mejorar la resistencia a la compresión de un concreto con resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm² en la ciudad de Chiclayo. La población estuvo conformada por especímenes de concreto elaborados con diferentes proporciones de agregado reciclado, mientras que la muestra comprendió 60 probetas cilíndricas y 20 vigas sometidas a ensayos de compresión y flexión. Los instrumentos utilizados incluyeron ensayos de laboratorio normalizados, análisis granulométrico mediante tamices y el ensayo de abrasión Los Ángeles para caracterizar el agregado reciclado. Los resultados mostraron que las mezclas con 60 % y 80 % de agregado reciclado presentaron una disminución significativa de la resistencia a la compresión, mientras que la mezcla con 40 % de reemplazo evidenció un mejor desempeño mecánico y valores compatibles con la resistencia de diseño. Se concluyó que el porcentaje óptimo de sustitución del agregado grueso natural por agregado reciclado fue

del 40 %, logrando concretos con propiedades físicas y mecánicas aceptables para aplicaciones estructurales de resistencia 210 kg/cm².

Elías et al. (2020) desarrollaron una investigación de tipo experimental con el objetivo de determinar el efecto del uso de agregados de concreto reciclado como materia prima en la elaboración de concreto destinado a la construcción de viviendas en la ciudad de Huamachuco. La población estuvo constituida por mezclas de concreto elaboradas con cemento Portland Tipo I, agregados naturales y agregados de concreto reciclado, mientras que la muestra estuvo conformada por probetas cilíndricas fabricadas con sustituciones volumétricas del 50 %, 75 % y 100 % del agregado natural por agregado reciclado. Como instrumentos se utilizaron ensayos de resistencia a la compresión realizados a los 7, 14 y 28 días de curado, aplicando el procedimiento establecido por la norma ASTM C39. Los resultados evidenciaron que el concreto con 50 % de agregado reciclado presentó el mejor comportamiento mecánico, alcanzando una resistencia cercana a los 200 kg/cm², mientras que las mezclas con mayores porcentajes de sustitución mostraron una disminución progresiva de la resistencia. Se concluyó que el uso parcial de agregados de concreto reciclado resulta técnicamente viable y permite obtener concretos con resistencias adecuadas, siempre que se controle el porcentaje de reemplazo del agregado natural.

3.1.3. A nivel regional o local

3.1.1. Antecedente 1

Medina (2022) desarrolló una investigación de tipo experimental con el objetivo de analizar cómo la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado influía en las propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y a la flexión del concreto con resistencia característica de 210 kg/cm² en la ciudad de Abancay. La población estuvo conformada por mezclas de concreto convencional y concreto con agregado reciclado, mientras que la muestra estuvo constituida por especímenes de laboratorio elaborados con ambos tipos de concreto para su evaluación comparativa. Como instrumentos se

emplearon ensayos normalizados de resistencia a la compresión y flexión, aplicados conforme a procedimientos técnicos vigentes. Los resultados evidenciaron que el concreto con agregado grueso reciclado presentó una disminución progresiva de la resistencia a la compresión y a la flexión respecto al concreto convencional, atribuida principalmente a la mayor porosidad del agregado reciclado y a la presencia de mortero adherido. Se concluyó que la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado afecta de manera significativa el desempeño mecánico del concreto, por lo que su uso debe ser cuidadosamente evaluado en el diseño de mezclas, especialmente cuando se trate de aplicaciones estructurales que demanden resistencias específicas.

Inostroza (2025) realizó una investigación experimental con el objetivo de evaluar la reutilización del concreto reciclado proveniente de demoliciones de pavimentos rígidos como agregado grueso y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto en la ciudad de Abancay. La población estuvo constituida por briquetas de concreto elaboradas con diferentes porcentajes de agregado grueso reciclado, mientras que la muestra estuvo conformada por 45 briquetas fabricadas con proporciones de 0 %, 10 %, 20 %, 30 % y 40 % de sustitución. Como instrumentos se utilizaron ensayos de resistencia a la compresión realizados bajo los lineamientos de la normativa técnica peruana. Los resultados mostraron que las mezclas con porcentajes de agregado reciclado de hasta 30 % alcanzaron resistencias aceptables y compatibles con los valores normativos, mientras que el concreto con 40 % de sustitución presentó una reducción significativa que no cumplió con la resistencia requerida. Se concluyó que la adición de concreto reciclado como agregado grueso influyó negativamente en la resistencia a la compresión cuando se superó el 30 % de sustitución, recomendándose porcentajes menores para garantizar un desempeño mecánico.

Valenzuela (2023) desarrolló una investigación experimental con el objetivo de evaluar la influencia de distintos porcentajes de sustitución de agregado natural por agregado de concreto reciclado proveniente de demoliciones de pavimentos rígidos en la

resistencia a la compresión del concreto destinado a la elaboración de buzones de alcantarillado en la ciudad de Abancay. La población estuvo constituida por mezclas de concreto con resistencia de diseño f'c = 280 kg/cm², mientras que la muestra comprendió 100 briquetas elaboradas con sustituciones del 20 %, 30 %, 40 % y 50 % de agregado reciclado. Los instrumentos utilizados fueron ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión realizados a los 28 días de curado. Los resultados evidenciaron que, a medida que aumentó el porcentaje de sustitución, la resistencia a la compresión disminuyó progresivamente; sin embargo, todas las mezclas alcanzaron valores superiores a la resistencia mínima requerida para el diseño. Se concluyó que, aunque el incremento del agregado reciclado reduce la resistencia promedio del concreto, los porcentajes evaluados resultaron técnicamente viables al cumplir con los criterios establecidos para el concreto f'c = 280 kg/cm².

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Propiedades físicas y mecánicas.

3.2.1.1. Definición

Las propiedades físicas pueden ser observadas en forma inmediata por los sentidos, o pueden ser medidas en forma directa o indirecta. (Picado & Alvarez, 2008, pág. 45)

Las propiedades mecánicas de un material son aquellas que afectan a la resistencia mecánica y a su capacidad cuando se les aplica una fuerza. Es decir, las propiedades mecánicas son aquellas que posee un material relacionadas con sus posibilidades de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones. (Infinitia Industrial Consulting, s.f.)

3.2.1.2. Dimensiones

3.2.1.2.1. Peso Especifico

El peso específico aparente y peso específico relativo aparente atañen al material sólido de las partículas constituyentes que no incluyen el espacio poroso dentro de ellas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción. (MTC, 2016, pág. 309)

La ASTM C 127 nos dice que la gravedad especifica es “la propiedad usualmente empleada para determinar el volumen empleado por los arios en diversas mezclas conteniendo áridos, como el concertó de cemento portland, entre otros”

3.2.1.2.2. Absorción de agua

La absorción del agua es la propiedad que más afecta el desempeño del hormigón y se tienen diferentes métodos para determinarla, entre ellos los que tienen un mayor uso para su determinación son el secado continuo y el eléctrico. (Sosa M. et al., 2023)

Según la ASTM C 127 se refiere “al incremento en la masa del árido, esto se debe al agua en el interior del material”

3.2.1.2.3. Peso Unitario

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cubico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen (NTP 400.017, 2011).

Según la norma ASTM Standard C 29 “el peso unitario es la terminología tradicional utilizada para describir la propiedad determinada por este método de prueba, que es peso por unida de volumen (más correctamente, masa por unidad de volumen o densidad)”

3.2.1.2.4. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área soportada por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura).

La resistencia a la compresión de un concreto debe ser alcanzado a los 28 días, después de vaciado y realizado el curado respectivo (Abanto Castillo, 2009, pág. 51)

“Este método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantina a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.” (NTP 339.034, 2008, pág. 3)

3.2.2. Reciclaje sucesivo.

3.2.2.1. Definición.

Para (Zega, 2009) es el proceso de reutilizar concreto demolido para la producción de nuevos concretos, aplicando este ciclo de reciclaje en múltiples ocasiones. En cada ciclo, el concreto reciclado se tritura para obtener agregados que se incorporan en nuevas mezclas.

Según Martínez Molina et al. (2015) el empleo de materiales de construcción reciclados, como el concreto reciclado, se remonta a la posguerra en los años 40's del siglo XX. Esta práctica contribuye a reducir residuos de construcción, evitar la explotación de nuevas materias primas y apoyar la sostenibilidad en la construcción. El uso de concreto reciclado como agregado en nuevas mezclas de concreto proporciona una opción sostenible y eficiente en términos de recursos, además de ofrecer ventajas económicas y ambientales.

(Vázquez y Barra, 2002 citado por Zega, 2009, pag.2) El reciclado de los materiales permite que su ciclo de vida sea más eficiente y acorde con las tendencias de protección del medio ambiente. Esto se logra partiendo de un material de los llamados de primera

generación, el cual tras un proceso de transformación se convierte en un insumo que, luego de un proceso de producción o servicio, agota su vida útil y se convierte en un material de desecho. Si este material de desecho sufre otro proceso de transformación, se genera un nuevo material (llamado de segunda generación) el cual puede insertarse dentro de un nuevo insumo, siendo el caso óptimo cuando se lo emplea dentro del mismo insumo del que proviene, logrando de este modo una mayor eficiencia de vida del material, hecho que sucede con el reciclado de hormigones para su utilización como agregados en la elaboración de nuevos hormigones.

3.2.2.2. Dimensiones

3.2.2.2.1. Porcentaje de abrasión

(Marini et al, 2011 citado por Sánchez Delgado et al, 2016, pag. 349) Definen la abrasión de las rocas como «el desgaste causado por la acción de elementos que, al entrar en contacto con la superficie, retiran una pequeña o gran cantidad de material de la superficie» y afirman que es un factor importante de envejecimiento de la piedra natural, incrementándose su acción con el tiempo.

Es una medida de degradación de los agregados mediante un ensayo de tambor giratorio de acero que contiene un número específico de esferas de acero que depende de la gradación de la muestra, luego de un número determinado de revoluciones, se retira el agregado y se tamiza para medir su degradación como porcentaje de perdida. (MTC, 2016, pág. 315).

3.2.2.2.2. Granulometría

La granulometría es la distribución por tamaños, se determina por separación con una serie de mallas que están normalizadas, para que el concreto una mejor trabajabilidad, las partículas de agregado deben estar esparcidas de una manera que tengan una relativa facilidad para moverse. (Abanto Castillo, 2009, págs. 24, 25)

Según la norma ASTM C 136, el objetivo del estudio es determinar una gradación de los espesores de las partículas de los áridos finos y gruesos que pasan por diversos tamices:

Figura 1

Tamaño de la muestra para granulometría

Nominal Maximum Size, Square Openings, mm (in.)	Test Sample Size, min, kg (lb)
9.5 (⅜)	1 (2)
12.5 (½)	2 (4)
19.0 (¾)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Nota. De la figura 1, vemos la granulometría del agregado. ASTM C 136 – 06, 2006

3.2.3. Agregados de concreto reciclado

3.2.3.1. Definición

Hace poco, la metodología de concreto con árido rehusado está revolucionando y siendo eficaz en sus fines de diseño. Los desperdicios de las construcciones pueden rehusarse, triturarse, limpiar y organizarse, y posteriormente mezclarse para llegar a tener ACR (Agregado de concreto reciclado) con una previa dosificación y categorización (Fernandez Salazar, 2021).

Estos ACR vienen siendo empleados como el moderno árido para concreto obtenidos de la generación de desechos de edificaciones, remodelaciones o demoliciones de construcción de puentes, pistas entre diferentes obras de ingeniería (Jin & Chen, 2015).

A. Usos del árido de concreto reciclado (ACR)

En concreto armado, se sugiere emplear ACR gruesos, porque el porcentaje de pasta de cemento es menor en relación a los áridos finos rehusados, ideal para emplearse en la fabricación de Clinker (Fraj & Idir, 2017).

B. Producción del árido de concreto reciclado (ACR)

Para la generación de ACR, el proceso consiste en que, luego de la fragmentación del concreto reciclado, las partículas extrañas del concreto como por ejemplo acero, plástico, madera, papel y cal se escogen y botan. El tipo de máquina de chancar empleado para triturar trozos de mayor volumen y el número de procesos de producción intervienen en la forma y tamaño que tendrán los ACR (Shirani et al., 2020).

3.2.3.2. Propiedades físicas del árido de concreto reciclado (ACR)

Cuando tratamos con ACR se ha estudiado que es diferente de los áridos naturales, esto debido al viejo mortero de cemento adherido, el cual está unido al agregado natural (Kisku et al., 2016). Los ACR en comparación con agregados naturales tienen las siguientes propiedades: mayor absorción de agua, menos densidad aparente, menos densidad relativa, mayor pérdida de abrasión (Shirani et al., 2020).

3.2.4. Ciclos de Reciclaje

El ciclo de reciclaje del concreto es el proceso mediante el cual se recuperan y reutilizan los materiales provenientes de estructuras de concreto que ya no son funcionales o necesarias. Inicia con la demolición controlada de las estructuras de concreto, seguida por la trituración del concreto en agregados reciclados. Estos agregados pueden mezclarse nuevamente con cemento y otros materiales para producir un nuevo concreto. El ciclo de reciclaje del concreto busca reducir la necesidad de nuevos recursos naturales y disminuir los residuos de construcción. Se analizan aspectos como el ciclo de vida de los materiales y la viabilidad económica y ambiental del proceso. Además, se establecen regulaciones y

directrices para garantizar la calidad y seguridad del concreto reciclado en aplicaciones constructivas.

3.3. Definición de términos

- **Agua:** Es un componente esencial en las mezclas de concreto y morteros, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante (Guevara Díaz & Tantarico Vásquez, 2019).
- **Agregado:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta NTP. Se les llama también áridos (NTP 400.011).
- **Agregado fino:** Agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos (NTP 400.037).
- **Agregado grueso:** Es un elemento de mucha importancia dentro de la composición del concreto, por tal razón la calidad del agregado tiene gran influencia en los buenos resultados a la hora de fabricar el concreto (CHUMPITAZ, 2019).
- **Cemento:** Material artificial pulverizado con adición de minerales en cantidades especificadas, llegan a constituir una superficie específica (MARTÍNEZ, 2020).
- **Peso unitario:** Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cubico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen (NTP 400.017)
- **Agregado reciclado:** Son agregados gruesos y finos procedentes de un concreto reciclado, que pueden llegar a ser reutilizados para pavimentos ya sea

bases y subbases, rellenos y la elaboración de un nuevo concreto (CHUMPITAZ, 2019).

- **Concreto reciclado:** El concreto reciclado es procedente de la construcción y de los escombros y está situado en botaderos informales ocupando un gran espacio físico (CHUMPITAZ, 2019).

- **Resistencia a compresión:** Es una propiedad fundamental del concreto, que viene a ser la capacidad de resistir la máxima carga vertical sobre el área correspondiente de la probeta (MARTÍNEZ, 2020).

- **Granulometría:** Se presenta de acuerdo al tamaño de sus partículas, como los áridos fino, áridos grueso y rocas. (RAE, Diccionario de la L. Española, 1780)

- **Relación agua/ cemento:** Su relación Agua Cemento y el valor más importante del concreto ya que de dicha relación depende su durabilidad y resistencia (Perelles et al., 2013) (Villar & Oblitas . 2021)

- **Curado:** Es el proceso de hidratación que se le hace al concreto en edades tempranas lo que ayuda a endurecer con el tiempo y evolucionar sus propiedades para lo que se diseñó la mezcla resistencia (Villar & Oblitas. 2021)

- **Grava :** Es el material grueso que pasa la malla de 3" y es retenido por el tamiz N°4 (4,75 mm) y es el resultado de la desintegración física y química de los minerales (Martínez, 2020).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según Palella & Martins (2008), el tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger las informaciones o datos necesarios.

Según Manual de Frascati (2015), el tipo de investigación APLICADA consiste en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos. Está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo o propósito específico práctico. Se realiza para determinar los posibles usos de los resultados de investigación básica, o para determinar nuevos métodos o formas de alcanzar objetivos específicos predeterminados, lo que implica un intento de solucionar problemas específicos.

Entonces como buscamos resolver un problema practico con esta investigación, la estaríamos considerando de **tipo aplicada.**

4.1.2. Nivel de investigación

Según Carlos Sabino (1992) define a la investigación descriptiva como el tipo de investigación que tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes

Entonces como utilizamos ensayos en laboratorio y buscamos describir y medir las propiedades del concreto en cada ciclo de reciclaje, tenemos una **investigación de descriptiva.**

4.2. Ámbito temporal y espacial

La presente investigación fue realizada en la ciudad de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac, en el año 2024.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

Según Arias (2012), la población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación.

La población de esta investigación tiene un total de 54 briquetas, estas serán 6 briquetas de concreto reciclado por edades, a los 7, 14 y 28 días de curado, esto para 3 ciclos sucesivos de reciclaje, tienen una dimensión de 5 cm de radio por 20 cm de largo. Además, la elaboración y el curado de las briquetas fueron siguiendo la NTP 339.183.

4.3.2. Muestra

Según Palella y Martins (2008), la muestra es una parte o el subconjunto de la población dentro de la cual deben poseer características que se reproducen de la manera más exacta posible.

La muestra en este caso es el material que se empleara proveniente de escombros de las pistas demolidas de la ciudad de Abancay, para el desarrollo de la investigación tendremos 18 briquetas por cada ciclo de reciclaje (3 ciclos), en este caso nuestras muestras tendrán aproximadamente 20 años de uso previo ya que las pistas de la ciudad de Abancay tienen esa cantidad de años aproximadamente. A continuación, se presenta la tabla 1 con la muestra de briquetas.

Tabla 1

Briquetas de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión.

Edad de las Briquetas	1º Ciclo de Reciclaje	2º Ciclo de Reciclaje	3º Ciclo de Reciclaje	Total de Briquetas por Ciclo
7 días	6 und	6 und	6 und	18 und
14 días	6 und	6 und	6 und	18 und
28 días	6 und	6 und	6 und	18 und
TOTAL DE BRIQUETAS				**54 und**

*Nota. De la tabla 1, podemos ver que p*or cada ciclo de reciclaje se elaboraron 18 briquetas, estas se separaron para su rotura por edades, a los 7, 14 y 28 días, y se sometieron a compresión 6 briquetas por día, esto hace una muestra total de 54 briquetas para el estudio de esta tesis.

4.4. Instrumentos

4.4.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos deben ser coherentes con las variables de estudio y permitir mediciones válidas y confiables (Kerlinger & Lee, 2002). El desarrollo de la investigación será realizado bajo normativa, así mismo se usarán laboratorios con los implementos necesarios dentro de ellas para su correcta ejecución. De la mano con la revisión documentaria para un correcto seguimiento y registro de datos de la evaluación. Se usarán diferentes fichas para que la recolección de datos sea lo más eficiente posible, entre ellas tenemos:

- Ficha para el ensayo de granulometría.
- Ficha para el ensayo de contenido de humedad.

- Ficha para el ensayo de peso específico.
- Ficha para el ensayo de peso unitario suelto y peso unitario compactado.
- Ficha normalizada para la determinación de la resistencia a la degradación en los agregados gruesos por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.
- Ficha para el ensayo de la resistencia a la compresión.

4.5. Procedimientos

En estudios experimentales, los procedimientos deben seguir una secuencia lógica y controlada que garantice la repetibilidad de los resultados (Montgomery, 2017). Se empezará analizando las propiedades físicas y mecánicas del concreto, luego de ello pasará por el ensayo de resistencia el cual botará escombros de concreto. En base a ello realizaremos un nuevo diseño, el cual será sometido a los mismos ensayos para determinar sus nuevas propiedades físicas y mecánicas obtenidos, de esta manera se realizarán varias pruebas con el mismo procedimiento y los diversos resultados obtenidos de los ensayos en el laboratorio serán llevados al software Microsoft Excel, Microsoft Office Word y otras aplicaciones de procesamiento de datos.

4.6. Análisis de datos

El análisis estadístico permite organizar, resumir e interpretar los datos obtenidos en investigaciones cuantitativas (Triola, 2018). Para determinar de qué manera el reciclaje sucesivo afecta las propiedades del concreto f'c=210kg/cm^2 empezamos recolectando los escombros de concreto de las pistas de la ciudad de Abancay, procedimos a realizar su demolición para formar agregado reciclado, este lo tamizamos entre las mallas de 1" y Nº4 para así obtener el agregado reciclado con la finalidad de someterlo a ensayos en laboratorio tales como granulometría, porcentaje de humedad, peso específico, peso unitario, abrasión los ángeles, se realizó un diseño de mezcla proporcionado por el laboratorio, se hicieron 18 briquetas con este agregado y se rompió a los 7, 14 y 28 días

para ver su resistencia a la compresión, a su vez se vaciaron bloques de concreto para nuevamente hacer su demolición y junto a las briquetas se volvió a formar un agregado reciclado que en este caso vendría a ser un segundo ciclo, se repitió todo el procedimiento junto con los ensayos de laboratorio y la rotura de las briquetas, el vaciado de bloques para nuevamente obtener un agregado reciclado que vendría a ser el tercer y último ciclo con el cual se realizaron los ensayos en laboratorio y las briquetas, estas se sometieron a compresión y mediante los formatos de recolección de datos se tomó nota a lo largo de los tres ciclos de reciclaje sucesivo, para posteriormente ser analizados y procesados en programas como Excel y SPSS, estos programas nos ayudan con la parte estadística de esta tesis para analizar e interpretar los valores que estamos obteniendo del comportamiento del concreto f'c=210kg/cm^2 y el agregado reciclado mediante los ensayos en cada ciclo de reciclaje.

4.7. Consideraciones éticas

Toda investigación experimental debe desarrollarse bajo principios de integridad científica, garantizando la veracidad, trazabilidad y confiabilidad de los datos obtenidos, así como el respeto de las normas técnicas y de seguridad durante la ejecución de los ensayos. En estudios de carácter cuantitativo, la ética se fundamenta en la correcta aplicación de los procedimientos, la no alteración de los resultados y la transparencia en el registro y análisis de la información (National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research, 1979).

En la presente investigación, los ensayos de laboratorio se realizaron empleando equipos en adecuado estado de funcionamiento y siguiendo estrictamente las Normas Técnicas Peruanas y normas ASTM correspondientes, con la finalidad de evitar sesgos o errores que puedan afectar la validez de los resultados. Asimismo, los datos obtenidos fueron registrados de manera objetiva en fichas de recolección, sin modificaciones ni omisiones intencionales, asegurando la fidelidad de la información procesada.

Finalmente, se respetaron los principios de honestidad académica mediante el uso responsable de investigaciones previas como soporte teóErico y metodológico, reconociendo adecuadamente la autoría de las fuentes consultadas y evitando cualquier forma de plagi o o manipulación de información científica (Resnik, 2020).

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Los resultados que obtuvimos de los ensayos realizados están siendo presentados de manera ordenada tomando en cuenta la variable independiente y luego la variable dependiente. De la misma manera se presentan los resultados de los ensayos realizados tomando en cuenta el orden de los ciclos de reciclaje, primer, segundo y tercer ciclo de reciclaje, respectivamente. El cual se muestran en el Anexo 5

5.2. Resultados descriptivos de Propiedades mecánicas (Resistencia a la compresión) tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

Tabla 2

Peso específico (gr/cm³) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	1º Ciclo de reciclaje	2º Ciclo de reciclaje	3º Ciclo de reciclaje
Peso de la Muestra Superficialmente Seco (gr)	506.90	576.20	560.70
Peso de la Canastilla Sumergida (gr)	1051.50	1049.50	1049.70
Peso de la Muestral + Canastilla Sumergida (gr)	1348.30	1365.50	1328.50
Peso de la Muestra Seca Salida del Horno (gr)	540.40	564.50	504.80
Peso de la Muestra Superficialmente Saturado (gr)	296.80	316.00	278.80
Peso de la Tara (gr)	63.20	60.50	57.70
Peso de la Muestra Seca Salida del Horno (gr)	477.20	504.00	221.10
Peso del neto del material sin la canastilla	296.80	316.00	278.80
Peso Específico (gr/cm³)	2.27	1.94	1.79

Nota. En la tabla 2 vemos que el peso específico del agregado reciclado se determinó para cada ciclo de reciclaje (1°, 2° y 3°) mediante el método de pesada en condición seca, saturada y sumergida, conforme a la normativa técnica aplicable.

La tabla (2) muestra una tendencia descendente clara en el peso específico del agregado reciclado: 2.27 g/cm³ (1° ciclo), 1.94 g/cm³ (2° ciclo) y 1.79 g/cm³ (3° ciclo). Esta reducción progresiva evidencia el deterioro acumulativo del material con cada reciclaje, asociado principalmente a la pérdida de cohesión de la pasta de cemento adherida, la generación de micro fisuras y el incremento de la porosidad interna tras trituración y manipulación repetidas. Estos cambios afectan directamente la densidad aparente y real del agregado, lo que compromete su eficiencia como esqueleto granular en nuevas mezclas de concreto.

Tabla 3

Peso específico (gr/cm³) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	Datos
Peso de la Muestra Superficialmente Seco (gr)	311.90
Peso del Picnómetro + Agua (gr)	690.00
Peso de la Muestra + Agua + Picnómetro	887.20
Peso de la Muestra Seca Salida del Horno (gr)	311.10
Peso Neto de la Muestra	197.20
Peso Específico (gr/cm³)	2.71

Nota. En la tabla 3, el peso específico se determinó mediante ensayo con picnómetro normalizado.

La tabla (3) muestra el valor obtenido para el agregado fino virgen es 2.71 g/cm³, dentro del rango aceptable (2.5–2.7 g/cm³) según la NTP 400.011 para arenas naturales

silíceas. Este dato sirve como referencia de comparación y confirma que el material original cumple con las especificaciones técnicas básicas para su uso en concretos estructurales. La diferencia significativa entre este valor y los del agregado reciclado (hasta 34% menor en el 3° ciclo) resalta el impacto del reciclaje en la calidad física del material.

Interpretación técnica:

El descenso del peso específico en los agregados reciclados tiene implicancias directas en el diseño de mezclas:

- A menor densidad, mayor absorción de agua, lo cual puede alterar la relación efectiva agua-cemento si no se corrige.
- Se incrementa la porosidad del concreto elaborado con estos agregados, lo que puede afectar su durabilidad especialmente frente a la penetración de agentes agresivos (cloruros, sulfatos, CO_2), un factor crítico en zonas como Abancay, donde las condiciones ambientales pueden acelerar procesos de degradación.
- Según la Norma E.060 del RNE (Concreto), cuando se utilizan agregados reciclados, es obligatorio realizar ensayos complementarios (absorción, índice de lajas, módulo de finura, etc.) y justificar su idoneidad mediante ensayos de desempeño en mezclas piloto. El valor de 1.79 g/cm³ del tercer ciclo está por debajo de los umbrales recomendados internacionalmente (usualmente ≥2.0 g/cm³ para uso estructural sin restricciones), lo que sugiere que, más allá de dos ciclos, el agregado requeriría tratamiento adicional (lavado, refuerzo con pozolanas, limitación de porcentaje de reemplazo) para garantizar desempeño estructural y durabilidad aceptables.

En este contexto, el estudio aporta evidencia empírica relevante para la formulación de políticas locales de economía circular en la construcción, alineadas con la Estrategia Nacional de Residuos Sólidos del Perú (MINAM, 2022), pero también subraya la necesidad de establecer límites operativos (máximo número de ciclos, porcentaje de reemplazo

admisible) respaldados por normativa técnica específica para agregados reciclados, aún en desarrollo en el país.

5.2.1 Porcentaje de humedad (%)

Tabla 4

Porcentaje de humedad (%) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	1º Ciclo de reciclaje	2º Ciclo de reciclaje	3º Ciclo de reciclaje
TARA N.º	7	4	3
Peso Muestra Húmeda + Tara (gr)	657.40	734.30	787.30
Peso Muestra Seca + Tara (gr)	639.60	696.30	744.30
Peso de la Tara (gr)	57.70	60.50	63.90
Peso Muestra Seca (gr)	581.90	635.80	680.40
Peso del Agua (gr)	17.80	38.00	43.00
Porcentaje de humedad (%)	3.06 %	5.98 %	6.32 %

Nota. En la tabla 4, la humedad se calculó comparando masas seca y húmeda.

La tabla (4) muestra un incremento progresivo en la humedad del agregado reciclado: 1° ciclo: 3.06 %, 2° ciclo: 5.98 % y 3° ciclo: 6.32 %. Esta tendencia ascendente evidencia una mayor retención de agua en el material conforme avanza el número de ciclos de reciclaje. Este comportamiento se explica por el aumento de la porosidad y micro fisuración generada en la pasta de cemento residual adherida al agregado, así como por la pérdida progresiva de partículas densas y cohesivas durante las trituraciones sucesivas. La mayor superficie específica y rugosidad del agregado reciclado favorecen la absorción capilar del agua, lo cual es crítico en el diseño de mezclas, pues la humedad superficial no compensada puede alterar la relación agua/cemento efectivo y comprometer la trabajabilidad y resistencia del concreto fresco.

Tabla 5

Porcentaje de humedad (%) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	Datos
TARA N.º	2
Peso de la Muestra Húmeda + Tara (gr)	507.40
Peso de la Muestra Seca + Tara (gr)	496.10
Peso de la Tara (gr)	58.60
Peso de la Muestra Seca (gr)	437.50
Peso del Agua (gr)	11.30
Porcentaje de humedad (%)	2.58 %

Nota. Tenemos la tabla 5 donde se determinó por diferencia entre peso húmedo y seco la humedad.

La tabla (5) muestra que el agregado fino virgen presenta un porcentaje de humedad de 2.58 %, valor moderado y típico para arenas almacenadas en condiciones ambientales abiertas en zonas de clima templado como Abancay. Este valor es ligeramente inferior al del agregado reciclado del primer ciclo (3.06 %), lo que refuerza que, incluso en su primer uso, el agregado reciclado ya exhibe una capacidad de retención hídrica superior al material natural un rasgo inherente a su naturaleza heterogénea y porosa.

Interpretación técnica:

Según la NTP 400.011, los agregados para concreto deben ser evaluados en cuanto a su contenido de humedad, especialmente cuando se emplean en dosificaciones por peso, para ajustar la cantidad de agua de mezclado y evitar desviaciones en la dosificación real. Un exceso no controlado de humedad en el agregado (como el 6.32 % del tercer ciclo) puede provocar:

- Disminución de la resistencia a compresión por aumento no intencional del agua libre.
- Mayor sangrado y segregación en el concreto fresco.
- Pérdida de cohesión y mayor susceptibilidad a la retracción plástica.

Además, en el contexto del RNE E.060, donde se exige control riguroso de la relación agua/cemento para lograr durabilidad en condiciones ambientales agresivas (como la exposición a ciclos húmedo-seco en Apurímac), estos incrementos en humedad obligan a corregir la dosificación del agua de amasado mediante ensayos de absorción previos, o considerar reducir el porcentaje de reemplazo del agregado reciclado más allá del segundo ciclo.

5.2.1. Peso unitario (kg)

Tabla 6

Peso unitario suelto (kg) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	N.º de Veces	1º Ciclo de reciclaje		2º Ciclo de reciclaje		3º Ciclo de reciclaje	
		Peso molde + muestra	Peso unitario	Peso molde + muestra	Peso unitario	Peso molde + muestra	Peso unitario
Suelto	1ra Vez	10929.00	3268.00	10691.00	3030.00	10566.00	2905.00
	2da Vez	10975.00	3314.00	10732.00	3071.00	10589.00	2928.00
	3ra Vez	10957.00	3296.00	10712.00	3051.00	10586.00	2925.00
PROMEDIO			3292.67		3050.67		2919.33

Nota. La tabla 6 muestra el peso unitario suelto.

La tabla (6) muestra el peso unitario suelto del agregado grueso reciclado en los tres ciclos, con promedios de 3 292.67 kg, 3 050.67 kg y 2 919.33 kg, respectivamente. Estos valores corresponden al peso neto del material dentro del molde de 13.5 L (estándar para agregado grueso, según NTP 400.002), lo que equivale aproximadamente a 2 439 kg/m³, 2 260 kg/m³ y 2 162 kg/m³. La disminución progresiva (~11.4 % entre el 1° y 3° ciclo) refleja una pérdida de densidad del lecho granular en estado suelto, atribuible al aumento de la porosidad, la mayor angularidad y la fragmentación de partículas tras trituración repetida. Este comportamiento afecta directamente la dosificación volumétrica en planta: para un mismo volumen de agregado grueso, se incorpora menos masa a medida que avanza el número de ciclos.

Tabla 7

Peso unitario compactado (kg) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	N.º de Veces	1º Ciclo de reciclaje		2º Ciclo de reciclaje		3º Ciclo de reciclaje	
		Peso molde + muestra	Peso unitario	Peso molde + muestra	Peso unitario	Peso molde + muestra	Peso unitario
Compactado	1ra vez	11377.00	3716.00	11129.00	3468.00	10966.00	3305.00
	2da vez	11410.00	3749.00	11155.00	3494.00	11022.00	3361.00
	3ra vez	11396.00	3735.00	11139.00	3478.00	11033.00	3372.00
PROMEDIO			3733.33		3480.00		3346.00

Nota. El peso unitario compactado se obtuvo mediante compactación normalizada.

La tabla (7) muestra el peso unitario compactado del mismo agregado reciclado, con promedios de 3 733.33 kg, 3 480.00 kg y 3 346.00 kg (≈ 2 765, 2 578 y 2 478 kg/m³), tras aplicar el método normalizado de compactación (25 golpes por capa con pisón de 1 320 g). Aunque la tendencia descendente persiste, la reducción es menos pronunciada que en estado suelto, lo que indica que el procedimiento de compactación logra parcialmente mitigar los efectos del deterioro. No obstante, el incremento promedio entre suelto y compactado disminuye de 440.66 kg (1° ciclo) a 426.67 kg (3° ciclo), lo que sugiere una menor capacidad de reacomodo del material en ciclos avanzados —posiblemente por generación de finos frágiles durante la compactación, que no contribuyen eficazmente al empaque.

Tabla 8

Peso unitario suelto (kg) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	N.º de Veces	Peso Molde + Muestra	Peso Unitario
Suelto	1ra vez	12229.00	4568.00
	2da vez	12246.00	4585.00
	3ra vez	12237.00	4576.00
PROMEDIO			4576.33

Nota. El peso unitario suelto se determinó sin compactación del agregado.

La tabla (8) muestra el peso unitario suelto del agregado fino virgen, con un promedio de 4 576.33 kg (≈ 1 611 kg/m³, considerando molde de 6.9 L). Este valor es coherente con arenas naturales bien gradadas almacenadas en condiciones ambientales abiertas y representa una referencia de alta calidad. Aunque el valor absoluto es mayor que el del agregado grueso reciclado, su densidad aparente es menor lo cual es esperable

por la naturaleza fina del material, pero su homogeneidad y estabilidad granulométrica garantizan un comportamiento predecible en la matriz del concreto.

Tabla 9

Peso unitario compactado (kg) del agregado fino usada para el concreto f'c=210kg/cm² en reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	N.º de Veces	Peso Molde + Muestra	Peso Unitario
compactado	1ra vez	12762.00	5101.00
	2da vez	12800.00	5139.00
	3ra vez	12794.00	5133.00
PROMEDIO			5124.33

Nota. El peso unitario compactado se determinó mediante compactación normalizada.

La tabla (9) muestra el peso unitario compactado del mismo agregado fino virgen, con un promedio de 5 124.33 kg (≈ 1 805 kg/m³). La diferencia de 548.00 kg respecto al estado suelto (tabla 7) corresponde a un incremento del 11.97 %, superior al observado en cualquier ciclo del agregado reciclado grueso (~13.4 % en el 1° ciclo, descendiendo a ~14.6 % en el 3°), lo cual demuestra una excelente capacidad de densificación y cohesión interpartículas. Según la NTP 400.002, este comportamiento indica buena gradación, baja presencia de partículas láminas o frágiles, y aptitud para formar una matriz eficiente en la mezcla.

Interpretación técnica:

El descenso progresivo del peso unitario en los agregados reciclados tanto suelto como compactado evidencia una degradación física acumulativa que impacta directamente en el diseño de mezclas de concreto. Un peso unitario reducido implica mayor volumen de

vacíos, lo que exige mayor contenido de pasta (cemento + agua + adiciones) para lograr cohesión y trabajabilidad, incrementando costos y potencial retracción.

Según la Norma E.060 del RNE (Concreto), la combinación de agregados debe garantizar un volumen de vacíos ≤ 40 % en estado compactado para concretos estructurales. Con base en los datos de la tabla (6), el agregado reciclado en el 3° ciclo (2 478 kg/m³) estaría cerca del límite inferior de densidad aceptable para su uso sin restricciones. En ese escenario, la norma exige además de los ensayos aquí presentados la evaluación complementaria de la absorción, índice de lajas y módulo de finura, y recomienda limitar el porcentaje de reemplazo del agregado grueso reciclado (usualmente ≤ 30 % en elementos estructurales, según buenas prácticas internacionales).

5.2.2. Ensayo Los Ángeles (%)

Tabla 10

Ensayo Los Ángeles (%) del agregado reciclado tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Ensayo	Esferas de Acero	1º Ciclo de reciclaje	2º Ciclo de reciclaje	3º Ciclo de reciclaje
Peso inicial (Gr)	12	5003.00	5014.00	5001.00
Peso retenido en la malla #12 (gr)	12	3343.00	3256.00	3111.00
Porcentaje retenido en la malla #12		33.2%	35.1%	37.8%

Nota. El desgaste se determinó mediante el ensayo Los Ángeles.

La tabla (10) muestra los resultados del ensayo de desgaste Los Ángeles para el agregado grueso reciclado en los tres ciclos sucesivos, expresados como porcentaje retenido en la malla N.º 12 (4.75 mm) tras 500 revoluciones con 12 esferas de acero. Los porcentajes de material retenido (es decir, no desmenuzado) son: 33.2 % (1° ciclo), 35.1 % (2° ciclo) y 37.8 % (3° ciclo). Dado que el ensayo mide la resistencia al desgaste y a la

degradación por impacto, un mayor porcentaje retenido implica menor desgaste, pero —en este caso— el incremento no refleja una mejora en la calidad del material, sino una mayor fragilidad y tendencia a la fragmentación parcial, generando partículas finas que pasan la malla N.º 12 y no se contabilizan como retenidas.

Es decir, el aumento del porcentaje retenido (del 33.2 % al 37.8 %) no indica mayor dureza, sino que el material se está desintegrando de forma heterogénea: parte de las partículas se reduce a finos (por debajo de 4.75 mm), mientras que otras —más resistentes o con núcleo pétreo intacto— permanecen como fragmentos gruesos. Esto se confirma con los datos de peso inicial (~5 000 g) y peso retenido (~3 111 g en el 3° ciclo), que muestran una reducción absoluta del material útil (>4.75 mm) de 3343 g → 3111 g entre el 1° y 3° ciclo, pese al ligero aumento del porcentaje debido a la mayor pérdida de masa total por finos generados.

Según la NTP 400.016 (Ensayo de desgaste Los Ángeles), para agregados gruesos destinados a concretos estructurales, se recomienda un desgaste (porcentaje perdido, no retenido) ≤ 40 %, es decir, un retenido ≥ 60 %. En este estudio, el porcentaje perdido es de 66.8 %, 64.9 % y 62.2 % respectivamente —valores muy superiores al límite recomendado, lo que evidencia baja resistencia al desgaste, típica de los agregados reciclados con alta proporción de pasta de cemento adherida, que es más blanda y frágil que la roca natural.

Desde el punto de vista de la Norma E.060 del RNE, el uso de agregados con alto desgaste Los Ángeles puede comprometer la durabilidad del concreto, especialmente en elementos expuestos a abrasión (pisos industriales, pavimentos, bordillos) o en zonas sísmicas, donde se requiere buena integridad del esqueleto granular. Además, la generación excesiva de finos durante el manejo del agregado (transporte, dosificación, mezclado) puede alterar la relación de finos/gruesos y aumentar la demanda de agua y cemento.

5.3. Propiedades mecánicas (Resistencia a la compresión) tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c=210kg/cm^2 en la ciudad de Abancay, Apurímac.

5.3.1. Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²)

Tabla 11

Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm^2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Tratamiento	Promedio	Varianza	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
1° Ciclo de reciclaje	229.77	100.28	10.01	212.50	240.71
2° Ciclo de reciclaje	208.11	263.85	16.24	178.00	226.64
3° Ciclo de reciclaje	201.11	389.20	19.73	162.27	217.91

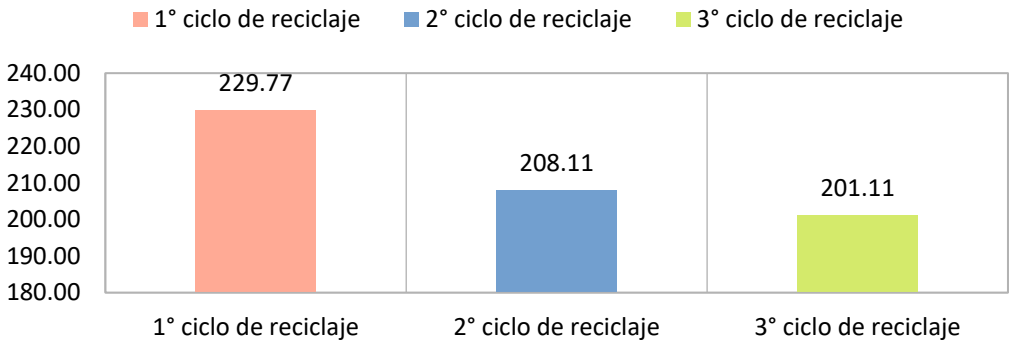
***Nota*.** Los valores corresponden a estadísticos descriptivos de resistencia.

La tabla (11) y la figura (1) muestran el análisis descriptivo de la resistencia a la compresión a 7 días del concreto f'c = 210 kg/cm² elaborado con agregado grueso reciclado en tres ciclos sucesivos. Los promedios obtenidos son: 229.77 kg/cm² (1° ciclo), 208.11 kg/cm² (2° ciclo) y 201.11 kg/cm² (3° ciclo). Se observa una disminución progresiva de la resistencia: cae en 9.4 % del 1° al 2° ciclo, y en 3.4 % adicional del 2° al 3° ciclo, lo que representa una reducción acumulada de 12.4 % respecto al primer reciclaje. La desviación estándar aumenta de 10.01 a 19.73 kg/cm², indicando mayor dispersión y menor uniformidad en el comportamiento mecánico a medida que avanza el número de ciclos —

posiblemente por la heterogeneidad creciente del agregado (mayor porosidad, pasta residual fragmentada, presencia de micro fisuras).

Figura 2

Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm^2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay.



Nota. Los valores representan promedios de resistencia a la compresión.

Prueba de normalidad:

1. Homogeneidad de Varianzas (Levene Modificado): F = 0.1923, p = 0.8264 **(Cumple)**
2. Normalidad de Residuales (Shapiro-Wilk/Royston): W = 0.8272, p = 0.048 **(Cumple)**

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm^2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Fuente de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	2,679.05	2	1,339.52	5.334	0.018	*

Error	3,766.67	15	251.11	
Total	6,445.72	17		
CV. (%)	7.44		Promedio	212.99

Nota. En la tabla 12 se aplicó ANOVA con nivel de significancia del 5%.

La tabla (12) muestra los resultados del ANOVA al 5 % de significancia, con un valor p = 0.018 (< 0.05), lo que confirma que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV = 7.44 %) es aceptable según la NTP 339.034, que recomienda CV < 10 % para ensayos de compresión en concretos de control normal, lo que respalda la confiabilidad de los datos. El estadístico F calculado (5.334) supera al valor crítico, rechazando la hipótesis nula de igualdad de medias.

Tabla 13

Prueba de Tukey (5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 7 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm^2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Tratamiento	Promedio	Grupo
1° ciclo de reciclaje	229.77	a
2° ciclo de reciclaje	208.11	ab
3° ciclo de reciclaje	201.11	b

Nota. En la tabla 13, las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

La tabla (13) muestra la comparación post-hoc mediante la prueba de Tukey (HSD = 23.77). Los tratamientos se agrupan en dos subconjuntos homogéneos:

Grupo 'a': 1° ciclo (229.77 kg/cm²)

Grupo 'ab': 2° ciclo (208.11 kg/cm²)

Grupo 'b': 3° ciclo (201.11 kg/cm²)

Esto indica que el 1° ciclo es significativamente superior al 3° ciclo, mientras que el 2° ciclo no difiere significativamente de ninguno de los otros dos (solapa ambos grupos), lo que sugiere que la mayor pérdida de capacidad resistente ocurre entre el primer y tercer reciclaje, con una transición intermedia en el segundo ciclo.

Desde el punto de vista normativo, según la Norma E.060 del RNE, para concretos de f'c = 210 kg/cm², la resistencia esperada a 7 días debe ser ≥ 70 % de la resistencia a 28 días, es decir, ≥ 147 kg/cm². Todos los tratamientos superan ampliamente este umbral, incluso el más bajo (201.11 kg/cm² > 147 kg/cm²), lo que garantiza que, en términos de seguridad estructural temprana (descimbrado, transporte, carga temprana), todos los concretos evaluados son viables.

Sin embargo, el descenso progresivo en resistencia evidencia el efecto acumulativo del deterioro físico del agregado reciclado —menor peso específico, mayor humedad, menor peso unitario, mayor desgaste Los Ángeles— que incrementa la porosidad de la interfaz pasta-agregado y reduce la eficiencia de la transmisión de esfuerzos. En el contexto local de Abancay, donde las condiciones de curado pueden variar por clima y logística, esta tendencia subraya la importancia de limitar el número de ciclos directos de reciclaje o compensar con adiciones puzolánicas (ceniza volante, metacaolín) para mejorar la zona de transición y recuperar parte de la pérdida resistente.

5.3.2. Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²)

Tabla 14

Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Tratamiento	Promedio	Varianza	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
1° Ciclo de reciclaje	270.58	1,384.60	37.21	196.40	295.33
2° Ciclo de reciclaje	238.22	469.58	21.67	204.61	261.97

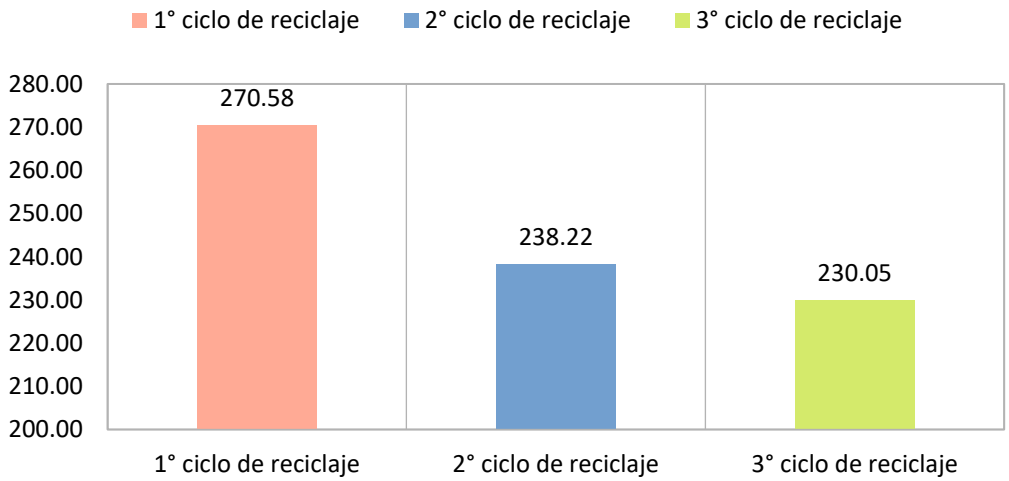
3° Ciclo de reciclaje	230.05	152.34	12.34	208.30	242.36

Nota. Los valores corresponden a estadísticos descriptivos de resistencia.

La tabla (14) y la figura (3) muestran el análisis descriptivo de la resistencia a la compresión a 14 días del concreto f'c = 210 kg/cm² elaborado con agregado grueso reciclado en tres ciclos sucesivos. Los promedios obtenidos son: 270.58 kg/cm² (1° ciclo), 238.22 kg/cm² (2° ciclo) y 230.05 kg/cm² (3° ciclo). Se observa una caída de 12.0 % entre el 1° y 2° ciclo, y una reducción adicional de 3.4 % entre el 2° y 3° ciclo, lo que representa una disminución acumulada de 14.7 % respecto al primer reciclaje. La desviación estándar es mayor en el primer ciclo (37.21 kg/cm²), indicando mayor dispersión —posiblemente por variabilidad en la curva de ganancia de resistencia temprana—, mientras que el tercer ciclo presenta la menor dispersión (12.34 kg/cm²), sugiriendo un comportamiento más homogéneo, aunque a niveles de resistencia más bajos.

Figura 3

Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay



Nota. Los valores representan promedios de resistencia a la compresión.

Prueba de normalidad:

1. Homogeneidad de Varianzas (Levene Modificado): F = 0.4462, p = 0.6529

(Cumple)

2. Normalidad de Residuales (Shapiro-Wilk/Royston): W = 0.8067, p = 0.0449

(Cumple)

Tabla 15

Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm2 tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Fuente de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	5,511.42	2	2,755.71	4.120	0.037	*
Error	10,032.60	15	668.84			
Total	15,544.02	17				
CV. (%)	10.50		Promedio	246.28		

Nota. En la tabla 15, se aplicó ANOVA con nivel de significancia del 5%

La tabla (15) muestra los resultados del ANOVA al 5 % de significancia: F = 4.120, p = 0.037 (< 0.05), lo que confirma diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV = 10.50 %) está dentro del límite aceptable según la NTP 339.034 para concretos con control normal (CV ≤ 12 %), lo que valida la fiabilidad de las comparaciones. El cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianzas (p = 0.6529) y normalidad de residuales (p = 0.0449, límite conservador superado) respalda la validez del análisis.

Tabla 16

Prueba de Tukey (5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 14 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Tratamiento	Promedio	Grupo
1° ciclo de reciclaje	270.57	a
2° ciclo de reciclaje	238.22	ab
3° ciclo de reciclaje	230.05	b

Nota. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

La tabla (16) muestra la comparación múltiple mediante la prueba de Tukey (HSD = no reportado explícitamente, pero inferible por los grupos). Los tratamientos se agrupan en:

Grupo 'a': 1° ciclo (270.58 kg/cm²)

Grupo 'ab': 2° ciclo (238.22 kg/cm²)

Grupo 'b': 3° ciclo (230.05 kg/cm²)

Esto indica que el primer ciclo es significativamente superior al tercero, mientras que el segundo ciclo no difiere significativamente de ninguno de los otros dos, reforzando la idea de una transición intermedia entre el primer y tercer reciclaje.

En términos normativos, la Norma E.060 del RNE establece que, para concretos de f'c = 210 kg/cm², la resistencia esperada a 14 días debe superar el 85 % de la resistencia a 28 días, es decir, ≥ 178.5 kg/cm². Todos los tratamientos cumplen ampliamente este requisito (el más bajo: 230.05 kg/cm² > 178.5 kg/cm²), lo que garantiza idoneidad para aplicaciones que requieren resistencia temprana como descimbrado parcial, aplicaciones de cargas anticipadas o construcción acelerada, aún en el tercer ciclo.

No obstante, la pérdida progresiva de resistencia está directamente vinculada con las propiedades físicas degradadas del agregado reciclado (menor peso específico, mayor porosidad, mayor desgaste Los Ángeles), que afectan negativamente la zona de transición pasta-agregado y favorecen la micro fisuración interna. En condiciones de curado típicas de Abancay (temperatura media ~16 °C, humedad variable), esta tendencia puede acentuarse si no se controlan rigurosamente la relación agua/cemento efectivo y el tiempo de curado húmedo.

5.3.3. Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²)

Tabla 17

Análisis descriptivo de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Tratamiento	Promedio	Varianza	Desv. Estándar	Mínimo	Máximo
1° Ciclo de reciclaje	318.36	105.93	10.29	298.83	327.54
2° Ciclo de reciclaje	297.61	1,036.35	32.19	251.15	334.86
3° Ciclo de reciclaje	289.57	552.15	23.50	261.01	320.41

Nota. Los valores corresponden a estadísticos descriptivos de resistencia.

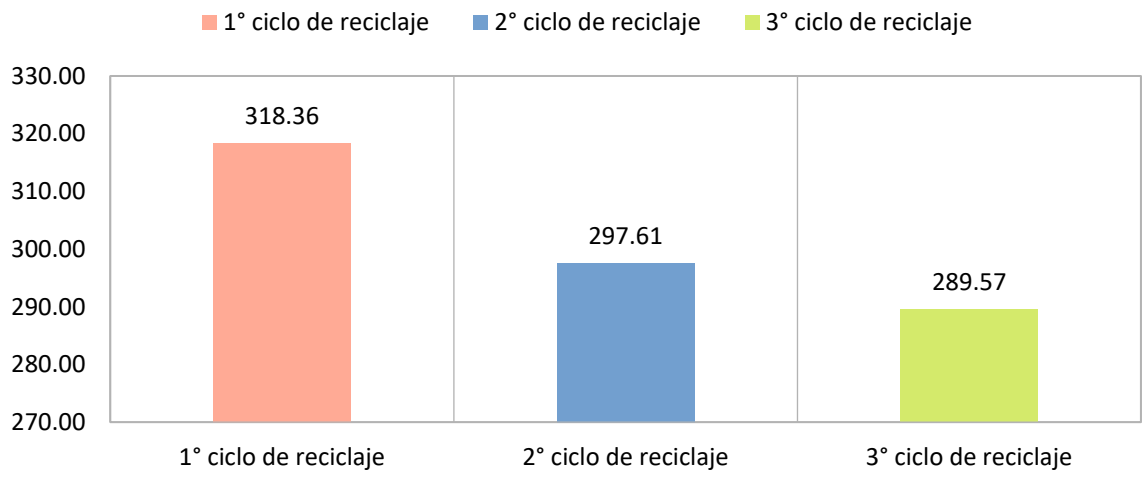
La tabla (17) y la figura (4) muestran el análisis descriptivo de la resistencia a la compresión a 28 días del concreto f'c = 210 kg/cm² elaborado con agregado grueso reciclado en tres ciclos sucesivos. Los promedios obtenidos son: 318.36 kg/cm² (1° ciclo), 297.61 kg/cm² (2° ciclo) y 289.57 kg/cm² (3° ciclo). Se observa una reducción progresiva: 6.5 % entre el 1° y 2° ciclo, y 2.7 % adicional entre el 2° y 3° ciclo, lo que representa una disminución acumulada de 8.9 % respecto al primer reciclaje. Cabe destacar que, pese a esta caída, todos los tratamientos superan holgadamente el valor especificado de 210

kg/cm², incluso el de menor desempeño (289.57 kg/cm² > 210 kg/cm²), lo que confirma la idoneidad estructural básica del concreto reciclado, incluso tras tres ciclos.

Sin embargo, la dispersión aumenta notablemente del 1° al 2° ciclo (desviación estándar de 10.29 a 32.19 kg/cm²), indicando mayor variabilidad en la respuesta mecánica posiblemente por heterogeneidad creciente del agregado, pérdida de cohesión en la interfaz pasta-agregado y generación de micro fisuras internas tras reciclajes sucesivos. Este comportamiento se revierte parcialmente en el tercer ciclo (desv. estándar = 23.50 kg/cm²), sugiriendo una estabilización del deterioro, aunque a niveles de resistencia más bajos.

Figura 4

Representación gráfica de los promedios de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay



Nota. Los valores muestran promedios de resistencia a la compresión a 28 días.

Prueba de normalidad:

1. Homogeneidad de Varianzas (Levene Modificado): F = 5.1198, p = 0.0200

(No cumple)

2. Normalidad de Residuales (Shapiro-Wilk/Royston): W = 0.9855, p = 0.9890

(Cumple)

Tabla 18

Análisis de varianza (ANOVA al 5% de significancia) de los promedios de la Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm²) del concreto f'c=210kg/cm² tras el reciclaje sucesivo (1°, 2° y 3°) en la ciudad de Abancay

Fuente de variaciones	SC	GL	CM	Fc	Valor P	Sig.
Tratamientos	2,649.29	2	1,324.64	2.345	0.130	NS
Error	8,472.16	15	564.81			
Total	11,121.44	17				
CV. (%)	7.87		Promedio	301.85		

Nota. El ANOVA no mostró diferencias significativas entre los tratamientos.

La tabla (18) muestra los resultados del ANOVA al 5 % de significancia: F = 2.345, p = 0.130 (> 0.05), lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los tres tratamientos a 28 días. Este resultado debe interpretarse con cautela: aunque la media del 1° ciclo es 9.6 % mayor que la del 3° ciclo, la alta variabilidad (especialmente en el 2° ciclo) y el tamaño muestral limitado (n = 6 por tratamiento, inferido de GL error = 15) reducen el poder estadístico del ensayo. No obstante, desde una perspectiva ingenieril práctica y en concordancia con la Norma E.060 del RNE, que exige que la resistencia promedio de ensayos a 28 días supere f'c + 35 kg/cm² para concretos con control normal (es decir, ≥ 245 kg/cm²), todos los tratamientos cumplen ampliamente: incluso el tercer ciclo (289.57 kg/cm²) supera el umbral en 44.57 kg/cm².

La tendencia descendente observada es coherente con los resultados físicos previos: menor peso específico, mayor humedad, menor peso unitario y mayor desgaste Los Ángeles favorecen una interfaz más porosa y menos resistente entre la pasta y el

agregado reciclado, lo que limita la eficiencia de la transferencia de esfuerzos y promueve la nucleación de micro fisuras bajo carga.

En conclusión, el primer ciclo de reciclaje alcanza la mayor resistencia (318.36 kg/cm²), 7.0 % por encima del segundo y 9.6 % por encima del tercero, pero esta diferencia no alcanza significancia estadística bajo ANOVA convencional probablemente por la alta variabilidad del segundo ciclo. No obstante, la evidencia técnica acumulada (propiedades físicas y resistencias a 7 y 14 días) respalda que el tercer ciclo representa el límite práctico de reutilización directa sin tratamiento previo en aplicaciones estructurales de mediana exigencia en Abancay. Para usos críticos, se recomienda limitar a máximo dos ciclos o incorporar adiciones puzolánicas (20–30 % de ceniza volante o metacaolín) para mejorar la zona de transición y reducir la dispersión.

Discusión.

Los resultados obtenidos de este estudio demuestran que la resistencia a compresión obtenida en primer ciclo de reciclado supera la resistencia teórica, mientras que en su segundo ciclo de reciclaje se reduce en 9.4% y en el tercer ciclo de reciclaje en 12.4%, y no se realizaron los estudios correspondientes para determinar el rendimiento a largo plazo.

En el porcentaje de abrasión del agregado reciclado luego de los tres ciclos de reciclaje sucesivo tiende a deteriorarse más en cada ciclo volviéndose menos resistentes al desgaste.

Al realizar el ensayo granulométrico en el primer, segundo y tercer ciclo de reciclaje el tamaño máximo nominal es de 3/4” además que estos no se encuentran dentro de los parámetros de límite inferior y superior según el HUSO 6, que debe cumplir el agregado grueso en las mallas 3/4” y 3/8”, esto nos dice que no hay una correcta gradación de los agregados.

Estos resultados pueden contrastarse con estudios similares realizados anteriormente, utilizando el agregado grueso reciclado.

(Apaza Illanes & Ysarbe Rojas, 2016) en su investigación "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas y características físicas del concreto patrón y concreto reciclado, evaluando su comportamiento en estado fresco y endurecido" concluye que el usar el agregado grueso reciclado puede ser adecuado en ciertas aplicaciones, pero ***se debe considerar cuidadosamente las propiedades específicas y las condiciones de uso*** para garantizar la integridad estructural y el rendimiento a largo plazo.

(Chasquero & Hurtado, 2019) en su investigación "Uso del concreto reciclado en la construcción de viviendas básicas en la provincia de Huancayo – 2018", en la que concluye que el estudio que se realiza ***respalda la viabilidad del uso del concreto reciclado en la construcción de viviendas básicas***.

(CHUMPITAZ, 2019) en la tesis "Propiedades físicas y mecánicas de un concreto elaborado con agregado grueso proveniente del concreto reciclado, 2019", tiene como objetivo principal determinar cuál es el efecto del agregado grueso reciclado en las propiedades física y mecánicas en donde determinó que el uso de agregado grueso reciclado ***puede tener un impacto en las propiedades físicas y mecánicas del concreto.***

(Martínez, 2020) en la tesis "Desempeño de las propiedades físicas – mecánicas del concreto, utilizando agregado de concreto reciclado, Lambayeque 2020", en esta tesis se concluye que ***el agregado grueso influye en la resistencia y durabilidad del concreto***.

(Torres, 2022) en la tesis "Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón utilizando como agregados concreto reciclado, 2022" los resultados que se obtuvieron demostraron que la ***inclusión de agregados reciclados afecta las características mecánicas y físicas del hormigón***.

(Medina, 2022). En la tesis "Influencia de la Incorporación de Agregado Grueso de Concreto Reciclado en las Propiedades Mecánicas a Compresión y Flexión del Concreto f'c=210 kg/cm2 - Abancay 2021" la conclusión a la cual se llegó es que, ***la incorporación de agregado grueso reciclado influyo en las propiedades mecánicas del concreto, con una disminución en la resistencia a compresión y flexión en comparación al concreto convencional***.

VI. Conclusiones

En concordancia con el objetivo general de evaluar las propiedades físicas y mecánicas tras el reciclaje sucesivo del concreto f'c = 210 kg/cm² en Abancay, Apurímac, los resultados confirman que el proceso de reciclaje tiene un impacto acumulativo y significativo, aunque no impide la viabilidad técnica del material reciclado en ciertas condiciones. El estudio demuestra que es posible reutilizar residuos de concreto para producir nuevos elementos estructurales, pero con límites claros que deben ser considerados en el diseño y control de calidad.

Con respecto al primer objetivo específico de comparar las propiedades físicas del agregado reciclado en tres ciclos sucesivos, los datos revelan una degradación progresiva y coherente en todas las variables evaluadas. El peso específico disminuye de 2.27 g/cm³ (1° ciclo) a 1.79 g/cm³ (3° ciclo), lo que evidencia mayor porosidad y pérdida de cohesión en la pasta de cemento adherida. El porcentaje de humedad aumenta de 3.06 % a 6.32 %, indicando una mayor capacidad de absorción que exige ajustes precisos en la dosificación del agua de mezclado. El peso unitario, tanto en estado suelto como compactado, se reduce sistemáticamente, lo que refleja menor densidad del lecho granular y mayor volumen de vacíos —factor crítico para la estabilidad volumétrica del concreto. Finalmente, el ensayo Los Ángeles muestra porcentajes de desgaste muy elevados (62.2 %–66.8 %), superiores al límite recomendado (≤ 40 %), lo que confirma la baja resistencia al impacto y la tendencia a la fragmentación del agregado reciclado, especialmente en ciclos avanzados.

En cuanto al segundo objetivo específico de determinar las propiedades mecánicas del concreto elaborado con dicho agregado, se observa una tendencia descendente en la resistencia a la compresión con cada ciclo: a los 7 días, el promedio cae de 229.77 kg/cm² (1° ciclo) a 201.11 kg/cm² (3° ciclo); a los 14 días, de 270.58 a 230.05 kg/cm²; y a los 28 días, de 318.36 a 289.57 kg/cm². Aunque todos los valores superan ampliamente el f'c = 210 kg/cm² especificado —cumpliendo así con los requisitos mínimos de la Norma E.060

del RNE—, las pruebas estadísticas (ANOVA y Tukey) confirman diferencias significativas a 7 y 14 días, donde el primer ciclo es claramente superior al tercero. A los 28 días, pese a la persistente tendencia descendente, el ANOVA no alcanza significancia ($p = 0.130$), probablemente por la alta variabilidad del segundo ciclo y el incumplimiento de la homogeneidad de varianzas ($p = 0.020$), lo que sugiere cautela en la interpretación y la necesidad de ensayos complementarios. Es decir, el estudio valida la factibilidad técnica del reciclaje del concreto en Abancay, pero establece límites prácticos: el primer ciclo de reciclaje ofrece un desempeño físico-mecánico cercano al del concreto convencional y es recomendable sin restricciones mayores; el segundo ciclo es viable en aplicaciones de mediana exigencia, siempre que se ajuste la dosificación (preferiblemente por masa), se controle rigurosamente el curado y se limite el porcentaje de reemplazo del agregado grueso (≤ 30 % en elementos estructurales); y el tercer ciclo, aunque supera los requisitos mínimos de resistencia, presenta deterioro significativo en sus propiedades físicas y mayor dispersión mecánica, por lo que se recomienda su uso solo en aplicaciones no estructurales (rellenos, banquetas, bases de pavimento) o mediante tratamientos previos (lavado, cribado fino, adiciones puzolánicas). Estas conclusiones constituyen una base empírica sólida para orientar políticas locales de economía circular en la construcción, alineadas con los estándares técnicos nacionales y las demandas de sostenibilidad del sector en la región de Apurímac.

VII. Recomendaciones

Se recomienda que, dada la disminución de la resistencia a la compresión con cada ciclo de reciclaje, el concreto del primer ciclo de reciclaje sería útil destinarlo hacia el uso en estructuras donde se necesita mayor resistencia a la compresión, mientras que el segundo y tercer ciclo de reciclaje sea destinado al uso en pavimentos, veredas o elementos no estructurales donde no se necesite una mayor resistencia a la compresión.

Se recomienda que, al darse un mayor desgaste progresivo con cada ciclo de reciclaje, podríamos mezclar el agregado reciclado con agregado natural para complementarlos y así obtener una mejor resistencia a la abrasión para su uso en pavimentos, veredas o elementos donde no se requiera de un alto porcentaje de resistencia a la compresión como bloques de cemento.

Se recomienda que, debido a la mala gradación del agregado reciclado en los tres ciclos de reciclaje, este debe tener un mayor control si se quiere usar para estructuras, o controlar la gradación para la elaboración de bloques de concreto, sino buscar otro método para la obtención de agregado reciclado menos agresivo que evite la degradación excesiva del agregado, como la trituración en lugar del chancado.

VIII. Referencias

Abanto Castillo, J. (2009). *Tecnología del concreto*. Editorial San Marcos E.I.R.L.

Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica* (6.ª ed.). Editorial Episteme.

ASTM International. (2006). *ASTM C136-06: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. ASTM International.

ASTM International. (2011). *ASTM C29/C29M: Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate*. ASTM International.

ASTM International. (2016). *ASTM C127: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. ASTM International. https://www.astm.org/c0127-15.html

ASTM International. (2017). *ASTM C29/C29M: Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate*. ASTM International. https://www.astm.org/c0029_c0029m-17.html

Ayacila Tineo, J. A. (2022). *Evaluación de la influencia del agregado reciclado en la resistencia a la compresión del concreto para elementos no estructurales* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional. https://repositorio.uss.edu.pe

Carhuajulca Campos, J. A. (2022). *Uso de concreto reciclado como sustituto del agregado grueso para mejorar la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm²* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional. https://repositorio.uss.edu.pe

Elías Sulupu, J. W., Flores Franco, J. E., Barrera Gutiérrez, R. E., & Reyna Pary, C. A. (2020). Efecto de la utilización de agregados de concreto reciclado sobre el ambiente y la construcción de viviendas en la ciudad de Huamachuco. *Puriq, 2*(1), 16–27. https://doi.org/10.37073/puriq.2.1.68

Fernández Salazar, J. A. (2021). *Concreto reciclado y su aplicación en obras civiles*. Editorial Académica Española.

Fraj, A. B., & Idir, R. (2017). Mechanical behavior of recycled concrete aggregates in structural concrete. *Construction and Building Materials, 144*, 9–16. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.160

Gómez, J. M., Agulló, L., & Vázquez, E. (2009). *Cualidades físicas y mecánicas de los agregados reciclados de concreto*. Universidad Politécnica de Cataluña. https://upcommons.upc.edu/bitstreams/5a615aac-f1cc-4e0e-9867-40a0e1d47c4/download

Infinitia Industrial Consulting. (s. f.). *Propiedades mecánicas de los materiales*. https://www.infinitiaindustrial.com

Inostroza Palomino, R. (2025). *Influencia del concreto reciclado como agregado grueso en la resistencia a compresión del concreto f'c = 175 kg/cm²* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio institucional. https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1563

Jian, S.-M., & Wu, B. (2020). Compressive behavior of compound concrete containing demolished concrete lumps and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121624

Jin, R., & Chen, Q. (2015). Concrete recycling in the construction industry: Practices and challenges. *Resources, Conservation and Recycling, 103*, 153–164. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.07.021

Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales*. McGraw-Hill.

Manual de Frascati. (2015). *Guía para la recopilación y presentación de información sobre la investigación y el desarrollo experimental*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. https://www.oecd.org/sti/frascati-manual-2015-9789264239012-en.htm

Marini, L., et al. (2011). Rock abrasion and durability assessment. En *Engineering geology applications* (pp. 201–215).

Martínez Molina, W., Pérez García, N., & Garnica Anguas, P. (2015). Estado del arte del uso del concreto reciclado en la construcción. *Revista de Ingeniería de Construcción, 30*(2), 85–96.

Medina, J. (2022). *Influencia del agregado grueso de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto f'c = 210 kg/cm²* [Tesis de grado]. Repositorio institucional.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos*.

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). Wiley.

Muñoz Henao, J. E., Medina Salas, Y. A., & Buitrago Tapasco, M. S. (2024). *Estudio de la incidencia del agregado de concreto reciclado (ACR) como sustituto parcial del agregado grueso en un concreto autocompactante* [Tesis de grado, Universidad

Piloto de Colombia]. Repositorio institucional. https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/14114

National Commission for the Protection of Human Subjects of Biomedical and Behavioral Research. (1979). *The Belmont Report*. https://www.hhs.gov/ohrp/regulations-and-policy/belmont-report/index.html

Norma Técnica Peruana 339.034. (2008). *Concreto. Método de ensayo para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos*. INACAL.

Norma Técnica Peruana 339.183. (2013). *Concreto. Elaboración y curado de especímenes de ensayo*. INACAL.

Norma Técnica Peruana 400.017. (2011). *Agregados. Determinación del peso unitario y porcentaje de vacíos*. INACAL.

Palella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2008). *Metodología de la investigación cuantitativa*. FEDUPEL.

Pardo Becerra, J. M. (2024). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto con sustitución del agregado grueso por concreto reciclado* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional. https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13359

Picado, D., & Álvarez, R. (2008). *Materiales de construcción*. Editorial Tecnológica.

Quezada Cab, J. M. (2023). *Evaluación de la degradación de las propiedades físicas y mecánicas de agregados y concretos elaborados con residuos de construcción y demolición en diferentes ciclos* [Tesis de maestría]. Repositorio institucional. http://51.143.95.221/handle/TecNM/6483

Ramírez Picado, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/48029

Resnik, D. B. (2020). *The ethics of science: An introduction* (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003031754

Roknuzzaman, M., et al. (2021). Impact of multiple recycling on the strength of coarse aggregate. https://www.researchgate.net/publication/347483721_Impact_of_Multiple_Recycling_on_the_Strength_of_Coarse_Aggregate

Sabino, C. (1992). *El proceso de investigación científica*. Editorial Panapo.

Sánchez Delgado, J., et al. (2016). Caracterización de la abrasión en agregados pétreos. *Ingeniería e Investigación, 36*(3), 345–352.

Shirani, S., Safiuddin, M., & Amrul Kaish, A. B. M. (2020). Processing of recycled concrete aggregate and its influence on concrete properties. *Journal of Cleaner Production, 252*, 119805. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119805

Sosa, M., Zega, C., & Di Maio, A. (2023). Physical properties of recycled concrete aggregates subjected to multiple recycling cycles. *Construction Materials Journal, 176*(4), 225–236.

Sustainable Construction Exploration. (2024). Multi-recycling of concrete waste: Effects on recycled materials and next-generation concrete properties. *Springer*. https://link.springer.com/article/10.1007/s41742-024-00652-z

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.

Triola, M. F. (2018). *Estadística* (12th ed.). Pearson.

Valenzuela Rivas, A. Z. (2023). *Influencia de concreto reciclado de demoliciones de pavimentos rígidos como agregado grueso para la elaboración de buzones de alcantarillado* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional. https://repositorio.utea.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d1ce427d-0e76-4519-807d-2ea635d9683b/content

Vilca Carbajal, M. V. (2024). *Propiedades del concreto f'c = 210 kg/cm² en pavimentos rígidos con concreto reciclado* [Tesis de grado]. Repositorio institucional. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/144040

Vázquez, E., & Barra, M. (2002). Recycling concrete aggregates: Effects on properties and durability. En *Proceedings of the International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings* (pp. 95–104).

Zega, C. J. (2009). *Hormigón reciclado: Caracterización de agregados y propiedades mecánicas*. Universidad Nacional del Litoral.

Zega, C. J., & Sosa, M. E. (2023). Influencia de agregados multi-reciclados en las propiedades del hormigón. *Revista Hormigón, 64*, 24–37. http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/y9mxnivf1

Los anexos, panel fotográficos y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica delos Andes.