

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Influencia del agregado reciclado en las propiedades físico-mecánicas del concreto
 $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024**

Asesor:

Mg. Ortiz Aucapiña, Renzo Boris

Autor:

Andia Carrera, Jhoel

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Andahuaylas - Apurímac - Perú

2025

Acta de Sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Acta N°: 002

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Andahuaylas, a los 20 días del mes de junio del 2025, siendo las 08:30am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 062-2025-UTEA-FI-EPIC/SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Cespedes Reynaga Hirbin Félix
Dictaminante :	Mg. Fernández Mañuico Edwin
Replicante :	Mg. Laura de la Cruz Candelario

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia del agregado reciclado en las propiedades físico-mecánicas del concreto f'c = 210 kg/cm² en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Andía Carrera, Jhoel
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título 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)**:

Por: Mayoría
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Andía Carrera, Jhoel	Aprobado

Siendo las 10:15 am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Cespedes Reynaga Hirbin Félix
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Dictaminante: Mg. Fernández Mañuico Edwin
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

Replicante: Mg. Laura de la Cruz Candelario
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de Similitud



Influencia del Agregado Reciclado en las Propiedades Físico-Mecánicas del Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la Provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	Andia Carrera, Jhoel
Tipo de Documento de Identidad	DNI.
Numero de Documento de Identidad	44769973
URL ORCID	
Datos Del Asesor	
Apellidos y nombres	Mg. Ortiz Aucapiña, Renzo Boris
Tipo de Documento de Identidad	DNI.
Numero de Documento de Identidad	70811763
URL ORCID	https://orcid.org/0000-0002-8600-4381
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	2023 - 2024
Fuente de financiamiento	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	22% con depósito
URL OCDE	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mi familia, por estar ahí resguardando cada paso que doy, por la perseverancia y paciencia y por el constante apoyo. A mis mentores, por su guía y sabiduría. A mi alma mater, por acogerme entre sus aulas brindándome las herramientas para crecer.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a las personas que me dieron acceso a la información necesarios para la realización de este trabajo.

Resumen

La presente investigación tuvo el objetivo de demostrar como el uso de agregado de concreto reciclado influye en las propiedades del concreto, específicamente en la resistencia a compresión, el módulo de rotura y trabajabilidad. Se empleó una metodología aplicada, cuantitativa y experimental, reemplazando parcialmente el agregado grueso natural (AGN) por el agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) en proporciones del 12%, 19% y 26% para observar los efectos sobre la resistencia característica, el módulo de rotura y la trabajabilidad. En todos los casos, se hizo una comparación respecto del concreto con agregado natural. Se encontró en la resistencia a compresión, que el concreto con AGCR al 12%, logra el 99.35%, el concreto con AGCR al 19%, logra el 97.47%, el concreto con AGCR al 26%, logra el 96.32%, y aun así cumplen con la resistencia característica de diseño. Por su parte en el módulo de rotura, el concreto con AGCR al 12%, logra el 93.18%, el concreto con AGCR al 19%, logra el 84.24%, el concreto con AGCR al 26%, logra el 70.96%, de aquí solo el AGCR al 12% es aceptable la sustitución. Así mismo, en la trabajabilidad, el concreto fresco con AN tiene un slump de 101 mm, el concreto con AGCR al 12% logra 93 mm, el concreto con AGCR al 19% logra 85 mm, el concreto con AGCR al 26% logra 72 mm, o sea a mayor remplazo, se reduce la fluidez del concreto fresco.

Palabras clave: Concreto reciclado, resistencia característica, módulo de rotura, trabajabilidad, físico mecánico.

Abstract

The objective of this research was to demonstrate how the use of recycled concrete aggregate influences concrete properties, specifically compressive strength, modulus of rupture and workability. An applied, quantitative and experimental methodology was used, partially replacing natural coarse aggregate (NCA) with recycled concrete coarse aggregate (RCCA) in proportions of 12%, 19% and 26% to observe the effects on the characteristic strength, modulus of rupture and workability. In all cases, a comparison was made with respect to concrete with natural aggregate. In the compressive strength, it was found that the concrete with AGCR at 12% achieved 99.35%, the concrete with AGCR at 19% achieved 97.47%, the concrete with AGCR at 26% achieved 96.32%, and still complied with the design characteristic strength. In the modulus of rupture, concrete with AGCR at 12% achieves 93.18%, concrete with AGCR at 19% achieves 84.24%, concrete with AGCR at 26% achieves 70.96%, of which only AGCR at 12% is acceptable for substitution. Likewise, in the workability, the fresh concrete with AN has a slump of 101 mm, the concrete with AGCR at 12% achieves 93 mm, the concrete with AGCR at 19% achieves 85 mm, the concrete with AGCR at 26% achieves 72 mm, that is, the higher the replacement, the lower the fluidity of the mix.

Keywords: Recycled concrete, characteristic strength, modulus of rupture, workability, physical mechanical.

Índice

Portada.....	i
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	xiii
Índice de Ecuaciones	xiv
Índice de Anexos.....	xv
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del Problema	19
2.1. Descripción y Formulación del Problema	19
2.2. Objetivos.....	21
2.3. Justificación e Importancia	22
2.4. Hipótesis	23
2.5. Variables	24
III. Marco Teórico	26
3.1. Antecedentes.....	26
3.2. Bases Teóricas	35
3.3. Definición de Términos	49
IV. Metodología.....	53
4.1. Tipo y Nivel de Investigación	53
4.2. Ámbito Temporal y Espacial	54
4.3. Población y Muestra	54
4.4. Instrumentos	56
4.5. Procedimientos	56
4.6. Análisis de datos.....	85
4.7. Consideraciones Éticas	86

V. Resultado y Discusiones	87
5.1. Resultados.....	87
5.2. Comprobación de hipótesis	93
5.3. Discusión	99
VI. Conclusiones	103
VII. Recomendaciones	105
VIII. Referencias.....	107
IX. Anexo.....	117

Índice de Tablas

Tabla 01: Operacionalización de Variables.....	25
Tabla 02: Tamaño de tamices para el análisis Granulométrico.....	36
Tabla 03: Porcentaje máximo óptimo permitido de árido reciclado en peso.....	39
Tabla 04: Resistencia característica requerida, según diseño deseado.....	40
Tabla 05: Slump del concreto según consistencia.....	41
Tabla 06: Contenido de aire atrapado, según TMN del agregado grueso.....	41
Tabla 07: Volumen unitario de agua, según TMN del AG y consistencia del concreto.....	41
Tabla 08: Relación A/C según resistencia característica requerida.....	42
Tabla 09: Volumen de agregado grueso seco y compactado, según el TMN del agregado grueso y el MF del agregado fino.....	43
Tabla 10: Cementos Portland.....	50
Tabla 11: Muestras de concreto.....	55
Tabla 12: Granulometría del AGN.....	58
Tabla 13: Granulometría del AGCR.....	60
Tabla 14: Granulometría del agregado fino.....	61
Tabla 15: Contenido de humedad del AGN.....	63
Tabla 16: Contenido de humedad del AGCR.....	63
Tabla 17: Contenido de humedad del agregado fino.....	64
Tabla 18: Peso específico y absorción del AGN.....	65
Tabla 19: Peso específico y absorción del AGCR.....	66
Tabla 20: Peso específico y absorción del agregado fino.....	66
Tabla 21: Peso unitario suelto del AGN.....	68
Tabla 22: Peso unitario compactado del AGN.....	68
Tabla 23: Peso unitario suelto del AGCR.....	69
Tabla 24: Peso unitario compactado del AGCR.....	69
Tabla 25: Peso unitario suelto del agregado fino.....	69
Tabla 26: Peso unitario compactado del agregado fino.....	70
Tabla 27: % Abrasión del AGN.....	71
Tabla 28: % Abrasión del AGCR.....	71
Tabla 29: Información del cemento.....	72
Tabla 30: Datos del agregado natural.....	73
Tabla 31: Datos para el diseño.....	73

Tabla 32: f'_{cr} , Contenido de aire, Contenido de agua.....	73
Tabla 33: Peso del agregado grueso	75
Tabla 34: Peso del agregado fino	75
Tabla 35: Agua efectiva en la mezcla de concreto.....	76
Tabla 36: Dosificación de proporciones en peso.....	76
Tabla 37: Cantidad de materiales en peso para cilindros	77
Tabla 38: Cantidad de materiales en peso para prismas.....	78
Tabla 39: Cantidad de materiales en peso para los conos truncados.....	79
Tabla 40: Asentamiento de cada concreto.....	79
Tabla 41: Resistencia a compresión de los diferentes concretos.....	81
Tabla 42: Módulo de rotura de los diferentes concretos	84
Tabla 43: Resistencia promedio a compresión	87
Tabla 44: Módulo de rotura promedio	89
Tabla 45: Resultados de los ensayos de f'_c del concreto a los 28 días	94
Tabla 46: Prueba de normalidad de los ensayos de resistencia a compresión	94
Tabla 47: Comparación de medias de resistencia a compresión.	95
Tabla 48: Comparación múltiple. Variable dependiente: Resistencia a compresión.	96
Tabla 49: Resultados de los ensayos de resistencia a flexión del concreto a los 28 días.	96
Tabla 50: Prueba de normalidad de los ensayos de resistencia a flexión.	97
Tabla 51: Comparación de medias de resistencia a flexión.	98
Tabla 52: Comparación múltiple. Variable dependiente: Módulo de rotura.....	98

Índice de Figuras

Figura 01: Selección y obtención del concreto reciclado.....	57
Figura 02: Trituración del concreto reciclado.....	57
Figura 03: Curva granulométrica del AGN.....	59
Figura 04: Cribado del AGN.....	59
Figura 05: Curva granulométrica del AGCR.....	60
Figura 06: Cribado del AGCR	61
Figura 07: Curva granulométrica del agregado fino	62
Figura 08: Cribado del Agregado fino	62
Figura 09: Cuarteo de agregados antes del ensayo	63
Figura 10: Pesaje del AGCR luego de eliminado la humedad.....	64
Figura 11: Agregado fino en el horno para evaporar la humedad.....	64
Figura 12: Peso del agregado grueso SSS sumergido al agua	66
Figura 13: Agregado fino SSS sumergido al agua	67
Figura 14: Ensayo para el peso unitario suelto del AGN.....	68
Figura 15: Enrazado luego del varillado del AGCR.....	69
Figura 16: Varillado del agregado fino.....	70
Figura 17: Depósito del AGN y las esferas de metal en la máquina de los ángeles	71
Figura 18: Tamizado del material desgastado con las mallas N°4 y N°12	72
Figura 19: Varillado del concreto en el molde cilíndrico	82
Figura 20: Acabado liso e identificación del cilindro	82
Figura 21: Cilindros de concreto con AN y con AGCR	82
Figura 22: Varillado del concreto y enrazado en el molde prismático	85
Figura 23: Vigas de concreto con AN y con AGCR.....	85
Figura 24: Resistencia a compresión promedio de los concretos	88
Figura 25: Rotura de cilindros de concreto.....	88
Figura 26: Identificación del tipo de fractura.....	89
Figura 27: Módulo de rotura promedio de los concretos	90
Figura 28: Resistencia a flexión de los prismas	91
Figura 29: Ubicación de lugar de falla	91
Figura 30: Asentamiento del concreto fresco.....	92
Figura 31: Ensayo de asentamiento de los concretos.....	93

Índice de Ecuaciones

Ecuación 01: Contenido de cemento	42
Ecuación 02: Peso del agregado grueso	43
Ecuación 03: Volumen de los componentes del concreto	43
Ecuación 04: Volumen del agregado fino	43
Ecuación 05: Peso seco del agregado fino	44
Ecuación 06: Peso húmedo del agregado	44
Ecuación 07: Agua aportada por los agregados	44
Ecuación 08: Agua efectiva en el concreto fresco	45
Ecuación 09: Volumen del molde cilíndrico	45
Ecuación 10: Cantidad de cada insumo para un grupo de concreto	45
Ecuación 11: Pesos de los AGCR respecto del AGN	46
Ecuación 12: Volumen del molde prismático	46
Ecuación 13: Volumen del molde cónico truncado.....	46

Índice de Anexos

Anexo 01: Matriz de Consistencia	118
Anexo 02: Instrumentos de recolección de datos.....	119
Anexo 03: Resultados de laboratorio	139
Anexo 04: Certificado de calibración	159

Acrónimos

ACI: American concrete institute.

ACR: Agregado de concreto reciclado.

AF: Agregado fino.

AG: Agregado grueso.

AGCR: Agregado grueso de concreto reciclado.

AGN: Agregado grueso natural.

AN: Agregado natural.

f^c : Resistencia característica.

f^{cr} : Resistencia característica requerida.

MF: Módulo de fineza.

MGR: Material grueso reciclado.

MR: Módulo de rotura.

NTP: Norma técnica peruana.

RCD: Residuos de concreto y demolición.

RNE: Reglamento nacional de edificaciones.

TM: Tamaño máximo.

TMN: Tamaño máximo nominal.

I. Introducción

El agregado grueso de concreto reciclado, AGCR, se obtiene de la conminución del concreto previamente utilizado, proveniente principalmente de residuos de construcción y demolición. Este material se caracteriza por una gran variabilidad en sus propiedades, lo que lo distingue del agregado natural. Entre sus características más notables están una granulometría variable, una densidad generalmente baja, una mayor capacidad de absorción y una alta susceptibilidad a la abrasión.

Por otro lado, las propiedades del concreto dependen de una combinación de factores físicos y químicos, entre los que destacan el tipo de cemento, los agregados, el agua, aditivos; además, el entorno de producción, como el ambiente y la experiencia del operador, también juegan un papel crucial. La comprensión de las propiedades del concreto es esencial, ya que de ello depende el éxito y/o durabilidad de la misma.

En la elaboración del concreto, la relación entre cemento y agregado es fundamental, siendo común una proporción de aproximadamente 1 a 6.7, por lo que se deduce la cantidad del árido demandado. En ese contexto, esta investigación busca aminorar la utilización del agregado natural (AN), entendiéndose al árido de cantera como agregado natural respecto del agregado de concreto ya usado, buscando minimizar la dependencia de los AN, los cuales implican un mayor impacto ambiental. La presente, se enfoca en promover el uso del árido reciclado como una alternativa viable al convencional, con el objetivo de aminorar los impactos desfavorables de la extracción de recursos naturales.

El presente trabajo está estructurado en capítulos; el primer capítulo está orientado a la introducción, el segundo capítulo desarrolla el planteamiento del problema, formulación del problema general y específico, la justificación, las hipótesis y las variables de la investigación, en el tercer capítulo se presenta el marco teórico, los antecedentes internacionales, nacionales y locales, las bases teóricas y definición de términos, el cuarto

capítulo describe la metodología utilizada, el tipo y nivel de investigación, la población y muestra, los instrumentos empleados, los procedimientos seguidos y el análisis de datos, en el quinto capítulo, se exponen los resultados obtenidos, seguidos de la discusión de los hallazgos, el sexto capítulo presenta las conclusiones, basadas en los resultados y los objetivos, el séptimo capítulo desarrolla las recomendaciones propuestas por el investigador, el octavo capítulo incluye las referencias bibliográficas.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

A nivel mundial, la construcción no va lograr la meta de cero emisiones, ya que las emisiones de gases de efecto invernadero aumentan 1% cada año (Agencia Internacional de Energía [AIE], 2023), en la que el no aprovechamiento de los residuos de concreto constituye una problemática que, si no se aborda con prontitud, continuará afectando tanto al medio ambiente como a los recursos naturales disponibles. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2024), la construcción emite alrededor de 21% de gases de efecto invernadero. Esto está vinculado a la generación de residuos de concreto y demolición, impulsada por la expansión constante de las áreas metropolitanas. Este desafío persistirá mientras la humanidad no desarrolle la voluntad y el compromiso de reutilizar estos materiales, en esta misma línea, Japón y Holanda vienen aprovechando el empleo del ACR, adoptando incorporaciones de hasta 15% y 20% respectivamente, aplicándolo en diversas infraestructuras, lo que les permite reducir significativamente los residuos de concreto (Balmaceda, 2021).

En América del Sur, según la “Comisión Económica para América Latina y el Caribe” (CEPAL, 2024), el 30.5% de los conflictos sociales está vinculado a la extracción de minerales y materiales de construcción; esto se acentúa por el creciente volumen de residuos de concreto y demolición (RCD), unido al rápido crecimiento urbano, al desarrollo de infraestructuras como edificaciones, pavimentos de concreto rígido, construcciones informales, entre otros. En ese sentido, se observa que países como Brasil y México enfrentan desafíos similares; mientras que en Brasil las municipalidades documentan la producción de 45 millones de toneladas anuales de residuos de concreto, en México esta cifra alcanza los 30 millones de toneladas anuales de residuos de concreto y demolición (Pereira et al., 2020 citado por Ibarrias y Jalomo, 2024).

En el Perú, la situación del desaprovechamiento de RCD presenta tendencias similares. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2023), los residuos de la construcción contaminan 22225.48 hectáreas del suelo nacional, y las áreas autorizadas para residuos municipales y residuos de la construcción contaminan el 6% de los ecosistemas y áreas protegidas. Actualmente, existen 1365 áreas degradadas por residuos sólidos no municipales de la construcción y demolición (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2024). Y es de notar que, las infraestructuras como edificaciones de concreto simple, concreto armado, pavimentos rígidos, entre otros, no solo causan el agotamiento de los áridos naturales, sino que, al concluir su vida útil, generan residuos de concreto que, en lugar de ser reutilizados, se depositan en vertederos no regulados o en áreas públicas, prácticas que agravan los impactos ambientales negativos.

En Andahuaylas, en los diseños de concreto, no se aprovechan los ACR. Es decir, los hormigones o concretos que han alcanzado el final de su vida útil están siendo desperdiciados en cantidades crecientes, lo que intensifica el daño a la flora, la fauna y a los ríos.

Esta situación problemática tiene varias causas, la falta de interés por parte de los sectores involucrados, la escasez de estudios que avalen la viabilidad técnica de estos materiales, la carencia de leyes que promuevan su uso. Sin embargo, para el presente estudio es la falta de conocimiento técnico y sensibilización sobre el uso del concreto reciclado, limitando su aprovechamiento.

De continuar con el desaprovechamiento de los áridos de hormigón ya usado, las consecuencias a corto y largo plazo serán preocupantes. En un futuro muy próximo, el agotamiento de los áridos naturales será una realidad tangible, incrementando la presión sobre los ecosistemas y elevando los costos de producción en la construcción. Además, los residuos de concreto y demolición seguirán aumentando, intensificando los problemas de contaminación al medio ambiente, al planeta y a la sociedad.

Por ello, es fundamental plantear alternativas que permitan aprovechar los residuos de concreto y demolición. En este contexto, se propone evaluar cómo responde el concreto en sus propiedades físicas y mecánicas, al usar AGCR en distintas proporciones respecto del árido natural. Este enfoque reduce el uso de recursos vírgenes, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular.

2.1.1. Identificación y Formulación del Problema

2.1.1.1. Problema General

- ¿En qué medida influye el agregado de concreto reciclado en las propiedades físico - mecánicas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024?

2.1.1.2. Problemas Específicos

- ¿En qué medida influye el agregado de concreto reciclado en la resistencia a compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024?
- ¿En qué medida influye el agregado de concreto reciclado en el módulo de rotura de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024?
- ¿En qué medida influye el agregado de concreto reciclado en la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del agregado de concreto reciclado para las propiedades físico - mecánicas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

2.2.2. Objetivo Específicos

- Determinar la influencia del agregado de concreto reciclado para la resistencia a compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.
- Determinar la influencia del agregado de concreto reciclado para el módulo de rotura de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.
- Determinar la influencia del agregado de concreto reciclado para la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

2.3. Justificación e Importancia

Teórica, aunque existen estudios previos relacionados con la temática, no se han identificado investigaciones que aborden específicamente la interacción entre estas variables (Árido de concreto reciclado y Propiedades), con estos hormigones o concretos, en este lugar y contexto particular. Por lo que, este estudio pretende llenar un vacío en el conocimiento teórico, proporcionando una nueva perspectiva que contribuye a la expansión del campo de investigación en esta área.

Práctica, el presente estudio se elige debido a que brinda solución al problema del aumento de residuos de concreto reciclado, un material con alto potencial para ser usado en la construcción. Su adecuada gestión permitiría no solo reducir los residuos de concreto y demolición generados por las obras, sino también minimizar la extracción de agregados vírgenes utilizados en la construcción.

Investigativa, este estudio no solo aporta conocimientos valiosos en la presente, sino que también establecerá las bases para investigaciones futuras que podrán profundizar en aspectos específicos del uso del concreto reciclado. Al ofrecer datos empíricos, se abre la puerta a nuevas líneas de investigación que no solo impulsarán el avance científico, sino que

también enriquecerán el ámbito académico, fomentando estudios nuevos en esta área que aborden desafíos aún no explorados.

Normativa, existe un vacío legal significativo en cuanto a la reutilización del concreto que ha cumplido su vida útil y/o del concreto desechado, esta falta de regulación dificulta la estandarización e integración de los residuos de concreto y demolición en proyectos de construcción. En este contexto, el presente estudio busca contribuir al desarrollo de políticas públicas y normativas que regulen y promuevan el uso del concreto reciclado, fomentando un marco legal más robusto que incentive prácticas sostenibles.

Ambiental, la investigación busca aminorar el agotamiento de canteras vírgenes y mitigar los efectos negativos derivados de la extracción desmedida de este recurso. Se busca disminuir la contaminación ambiental generado por dicha actividad, la que afecta a los ríos, cuerpos de agua, la alteración de la flora local y otros; contribuyendo así a una gestión más sostenible de los recursos áridos, fomentando la recuperación de los ecosistemas afectados, la preservación del medio ambiente y al bienestar de las comunidades circundantes

Social, en Andahuaylas, existe un área conocida como Área Degradada por Residuos de Demolición y Construcción, formalmente autorizada por la ordenanza 015 - 2020 - CM - MPA, en convenio con el centro poblado de Huinchos. Y con este estudio se busca sensibilizar a la sociedad acerca de la problemática de arrojar escombros en lugares no autorizados, y demostrar que el concreto reciclado puede ser un recurso valioso. Se espera que la comunidad adopte prácticas más responsables frente a este tema.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

- El agregado de concreto reciclado sí influye en las propiedades físico - mecánicas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- El agregado de concreto reciclado sí influye en la resistencia a compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.
- El agregado de concreto reciclado sí influye en el módulo de rotura de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.
- El agregado de concreto reciclado sí influye en la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente

Agregado de Concreto Reciclado

“Material que se obtiene de la trituración del concreto ya usado. El proceso de producción es tal que después de triturar el concreto usado; los contaminantes del concreto, como refuerzo, papel, madera, plástico y yeso, se tamizan y eliminan” (Shirani et al., 2020, p. 2).

2.5.2. Variable Dependiente

Propiedades Físico - Mecánicas del Concreto

“Son características que dependen de una variedad de factores como el tamaño del agregado, el contenido de humedad del agregado, la absorción de agua, la forma y la textura del agregado” (Kisku et al., 2016, p. 3).

Tabla 1*Operacionalización de Variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala de medición
V. independiente						
AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO	"Material que se obtiene de la trituración del concreto ya usado. El proceso de producción es tal que después de triturar el concreto usado; los contaminantes del concreto, como refuerzo, papel, madera, plástico y yeso, se tamizan y eliminan." (Shirani et al., 2020, p. 2).	Esta variable se va a medir mediante ensayos en laboratorio, en función a las normas técnicas peruanas, artículos, libros, tesis.	Agregado grueso de concreto reciclado	Porcentaje de sustitución 12%, 19%, 26%	Artículos, libros, tesis	Razón
V. dependiente						
PROPIEDADES	"Son características que dependen de una variedad de factores como el tamaño del agregado, el contenido de humedad del agregado, la absorción de agua, la forma y la textura del agregado." (Kisku et al., 2016, p.3).	Esta variable se va a medir mediante ensayos en laboratorio, en función a las normas técnicas peruanas.	Resistencia a compresión	Ensayo de resistencia a la compresión	NTP 339.034	Razón
			Módulo de rotura	Ensayo de módulo de rotura	NTP 339.078	Razón
			Trabajabilidad	Ensayo de asentamiento	NTP 339.035	Razón

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A Nivel Internacional

Ramírez (2022), en su investigación titulada “Evaluación de Muestras del Agregado Grueso Proveniente de Residuos de Concreto para Producir Nuevos Concretos”, realizado en Costa Rica, se utilizaron tres tipos de materiales reciclados por separado; baldosas prefabricadas, pared de mampostería y concreto de probetas ya usadas. Se desarrolló un diseño de 210 kg/cm², con remplazos del árido natural en proporciones de 30%, 50% y 100%. Los resultados de la resistencia característica del concreto con un 30% de árido reciclado fueron muy parecidos a los del concreto patrón. La mezcla de concreto con árido reciclado de pared de mampostería mostró los desempeños más destacados en sus tres sustituciones, en relación con los agregados reciclados de baldosas prefabricadas y de concreto de probetas ya usadas.

En el diseño con agregado de concreto de probetas ya usadas, el hormigón o concreto control tuvo una trabajabilidad de 103 mm; el hormigón o concreto con un 30% de remplazo presentó asentamientos de 85 mm, 90 mm y 83 mm; con un 50% de sustitución, los asentamientos fueron de 78 mm y 70 mm; mientras que con un 100% de sustitución, los asentamientos fueron de 76 mm y 76 mm. Concluyéndose que el valor $f'c$ de la rotura de probetas cilíndricas tiene una relación inversa al porcentaje de sustitución, y que la trabajabilidad también está en una relación inversa al porcentaje de sustitución. Además, se determina que el reciclaje de agregado grueso de concreto de probetas ya usadas es técnicamente factible.

Becerra et al. (2022), en su investigación titulada "Evaluación de las propiedades Físico-Mecánicas de Adoquines de Hormigón Fabricados con Residuos de Construcción y Demolición", realizada en Colombia, en la cual se estudia al concreto, reemplazando el AGN

por el AGCR. Los porcentajes de sustitución fueron del 15%, 30% y 45%. El diseño del concreto se basó en una resistencia de 3500 psi (246 kg/cm²). Se registró que la densidad de las probetas de concreto disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de remplazo del AGCR usado en la mezcla de concreto, notándose una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de sustitución del agregado grueso de concreto reciclado y la densidad de las probetas de concreto. En cuanto a los hallazgos del módulo de rotura, el concreto con AN alcanza un valor de 4.2 MPa; al sustituir el 15% del agregado natural, la resistencia alcanza 4.57 MPa; mientras que con una sustitución del 30%, alcanza 3.99 MPa; y con una sustitución del 45%, alcanza 3.95 MPa. Se concluyó que la integración del agregado reciclado fue homogénea con el resto de los componentes del concreto. Sin embargo, solo las probetas con un 15% de sustitución lograron cumplir con la resistencia a flexión indicada por la norma.

Gutiérrez et al. (2020), en su investigación titulada "Prospectiva de Sustentabilidad para los Recursos Hídricos en el Noroeste de México: Uso del Concreto Reciclado para el Abastecimiento de Agua con Fines Agrícolas", realizada en México, donde se evalúa realizar 110.66 km de canales de riego principales y 362.68 km de canales secundarios empleando residuos de concreto y demolición como una alternativa diferente a la convencional para optimizar la eficiencia en el sector agrícola. Para ello se hace un concreto con diseño de una resistencia característica de 220 kg/cm², utilizando un 100% de árido de concreto ya usado, tanto finos como gruesos, sin aditivos. Se aprecia que el AGCR registra una degradación del 46.15%, que está dentro de los rangos permitidos por las normativas mexicanas.

En lo que respecta a la trabajabilidad, el ensayo de asentamiento muestra un valor de 75 mm, situando al concreto en el límite de la consistencia plástica. Los resultados del ensayo mecánico de esfuerzo a la compresión no alcanzaron el f'_c de diseño 220 kg/cm², obteniéndose un promedio de 194.7 kg/cm², reflejando el 88.48% del f'_c especificada. En conclusión, la trabajabilidad si se ve afectada. En la resistencia a compresión, el resultado no

afecta al uso de concreto reciclado en este tipo de estructuras. Esta propuesta, además de proporcionar una solución sustentable, favorece la reutilización de escombros como agregados de concreto reciclado.

Elansary et al. (2020), en su estudio titulado "Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto", llevado a cabo en la Universidad de El Cairo, Egipto, analizaron el impacto del empleo del AGCR en las características mecánicas del hormigón (concreto). En dicha investigación, se reemplazó el AGN por el AGCR en proporciones del 30%, 50% y 100%, tomando como base un concreto de $f'c$ especificada de 25 MPa (254.9 kg/cm²). Los hallazgos del estudio indican que tanto la gravedad específica como la densidad aparente del AGCR son menores o inferiores en el 4% y el 11%, respectivamente, en comparación con el árido grueso natural (AGN).

En cuanto al ensayo mecánico del $f'c$, el hormigón (concreto) con AN alcanzó un $f'c$ de 26.46 MPa; con un 30% de reemplazo por AGCR se logró un esfuerzo de 29.33 MPa; con un 50%, alcanza una resistencia de 29.50 MPa; y con un 100%, alcanza una resistencia de 25.32 MPa. Así mismo, con respecto al módulo de rotura, el hormigón con AN presentó un valor de 3.31 MPa, mientras que las mezclas con reemplazos del 30%, 50% y 100% obtuvieron valores de 3.36 MPa, 3.41 MPa y 3.19 MPa, respectivamente. Se concluye que, en lo referente al ensayo del $f'c$, las mezclas con reemplazos del 30% y 50% exhiben un mejor rendimiento, en tanto que la sustitución total del 100% muestra un comportamiento significativamente inferior. En lo concerniente a la resistencia a flexión, los reemplazos del 30% y 50% resultan ser las opciones óptimas, evidenciando una adecuada cohesión entre los componentes del concreto.

Tamboli et al. (2024), en su estudio titulado "Investigación sobre Concreto Reciclado Fresco y Endurecido con Sustitución Parcial de Áridos Gruesos Reciclados Obtenidos de Residuos de Demolición y Construcción", realizada en la India, donde se estudia el impacto

del uso de agregado grueso de hormigón ya usado en las características o propiedades del hormigón (concreto). Con ese fin se elaboró un concreto de resistencia característica de 25 MPa (254.9 kg/cm²), incorporando un aditivo superplastificante, luego se sustituyó el árido grueso virgen por el AGCR en cantidades del 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Los resultados en cuanto a la trabajabilidad, muestran que el concreto con agregado natural presenta un asentamiento de 115 mm, el concreto con sustitución del 5% obtiene 109 mm de asentamiento, la sustitución del 10% logra 104 mm, la sustitución del 15% obtiene 99 mm, la sustitución del 20% muestra 92 mm, la sustitución del 25% logra 102 mm, y la sustitución del 30% obtiene 98 mm de asentamiento.

En cuanto a los hallazgos de ensayo mecánico del f'c, el hormigón con AN alcanza un valor de 32.26 MPa; al sustituir el 5% del AN por el AGCR, la resistencia mecánica alcanza 33.74 MPa; mientras que con una sustitución del 10%, alcanza 32.02 MPa; con una sustitución del 15%, alcanza 32.45 MPa; con una sustitución del 20%, alcanza 30.13 MPa; con una sustitución del 25%, alcanza 26.89 MPa; con una sustitución del 30%, alcanza 25.92 MPa. Los resultados del módulo rotura, muestran que el hormigón con agregado natural logra 4.21 MPa; al sustituir el 5% de AGN por el AGCR la flexión alcanza 6.79 MPa; con una sustitución del 10%, alcanza 7.32 MPa; con el 15%, presenta 4.78 MPa; con el 20%, obtiene 4.38 MPa; con el 25%, logra 6.15 MPa; y con el 30%, alcanza 4.97 MPa de resistencia a la flexión. Se concluye respecto de la trabajabilidad, mientras la proporción de AGCR aumenta, la trabajabilidad disminuye. En lo concerniente al ensayo de compresión mecánica, el remplazo óptimo es hasta un 10%. En relación con el ensayo del módulo de rotura, el mejor desempeño se logra con una sustitución del 10%.

3.1.2. A Nivel Nacional

Aragón et al. (2022), en su investigación titulada “Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto Reciclado para Construcciones Ecoeficientes en la ciudad de

Tacna, 2022”, realizada en la ciudad de Tacna, llevaron a cabo un estudio en el que se utilizó residuos de concreto y demolición en la elaboración de un nuevo hormigón o concreto. En este estudio, se reemplazó el AGN por el AGCR en diferentes proporciones de remplazo, los que fueron del 15%, del 25%, del 50%, del 75% y 100%. El diseño de la mezcla cementicia se basó en un $f'c$ especificada de 210 kg/cm².

Los resultados obtenidos indicaron que, si se trata del hormigón o concreto con AN, el ensayo mecánico del $f'c$ logró una magnitud de 219.20 kg/cm²; al remplazar el 15% del AGN por AGCR, la resistencia aumentó a 230.03 kg/cm²; de manera similar, con una sustitución del 25%, la resistencia alcanzó los 231.75 kg/cm²; al elevar la proporción de remplazo al 50%, la resistencia obtenida es de 206.87 kg/cm²; sustituyendo al 75%, se registra una resistencia de 191.45 kg/cm²; con una sustitución del 100%, la resistencia alcanza 181.30 kg/cm². Se determinó referente a los concretos con remplazos del 50%, 75% y 100% no lograron alcanzar el $f'c$ de diseño establecida en 210 kg/cm², lo que indica que en estos niveles la calidad del concreto se ve comprometida. Sin embargo, las sustituciones del 15% y 25% cumplen con la resistencia de diseño, evidenciando que una sustitución del AGN por hasta un 25% de AGCR es óptimo para mantener la resistencia estructural.

Zapata (2021), en su investigación titulado "Implementación de los Residuos de Construcción y Demolición en las Propiedades del Concreto Poroso en Pavimentos Expuestos a Lluvias Piura, 2021", realizada en la ciudad de Lima, analizó la repercusión del AGCR en las características de un hormigón (concreto) poroso. Para ello, se remplazó la grava virgen por el AGCR en porcentajes del 20%, 30% y 40%, tomando como base un diseño de concreto poroso con AN. En lo referente a los resultados del ensayo para el $f'c$ de diseño, el hormigón (concreto) con agregado natural logra un valor de 214.8 kg/cm²; al sustituir el 20% del AN por el AGCR, el ensayo mecánico del $f'c$ alcanza 189.9 kg/cm²; a su vez, el concreto con un remplazo del 30%, alcanza 220.5 kg/cm²; y con un remplazo del 40%, alcanza 161.4 kg/cm².

Sobre los hallazgos del módulo de rotura, el hormigón (concreto) con agregado natural alcanza un valor de 36.3 kg/cm²; al sustituir el 20% del agregado natural, el módulo de rotura logra 34.74 kg/cm²; mientras el concreto con una sustitución del 30%, logra 37.93 kg/cm²; y con una sustitución del 40%, presenta 27.2 kg/cm². Se concluye respecto de la resistencia a compresión, que la sustitución del 30% tiene una influencia favorable. En lo concerniente de la resistencia a flexión, la sustitución del 30% tiene una influencia favorable.

Sánchez (2019), en su investigación titulado "Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Reciclado para el Diseño de Mezclas ($f'c=175\text{kg/Cm}^2$) distrito José Leonardo Ortiz - Chiclayo - Lambayeque", realizada en Lambayeque, donde se realizaron evaluaciones de las características del hormigón (concreto), influenciado por el AGCR. Para este estudio, la grava gruesa virgen fue sustituido por el AGCR en proporciones del 5%, 15% y 25%, se elabora un hormigón (concreto) control con un $f'c$ de 175 kg/cm². Los resultados muestran que, el hormigón (concreto) control durante el ensayo mecánico de $f'c$ alcanzó un valor de 175.5 kg/cm², a su vez el concreto con un 5% de remplazo mostró una resistencia mecánica de 178.78 kg/cm². El hormigón (concreto) con un 15% de remplazo presentó un ensayo mecánico de esfuerzo a la compresión de 163.76 kg/cm², y la que se sustituyó con un 25% de AGCR mostró un ensayo $f'c$ de 145.78 kg/cm².

Referente a los hallazgos de la trabajabilidad, el hormigón (concreto) control mostró un asentamiento de 3.5", mientras que la mezcla con un 5% de sustitución registró un asentamiento de 3.1", la mezcla con un 15% de sustitución presentó un asentamiento de 2.8", y la mezcla con un 25% mostró una consistencia de 2.6". Se concluye en lo que refiere al $f'c$, que la sustitución del 5% tiene una influencia favorable, por lo que este porcentaje de sustitución es el adecuado. En lo concerniente a la trabajabilidad, la sustitución del 5% se mantiene dentro los rangos establecidos por la NTP, observándose que, a mayor incremento de la proporción de AGCR en el hormigón (concreto) fresco, disminuye la trabajabilidad.

Chapia (2022), en el estudio intitulado "Evaluación del Concreto para Adoquines de Uso Peatonal Empleando Agregados Obtenidos de Residuos de Construcción y Demolición en el Distrito de José Leonardo Ortiz, departamento de Lambayeque, 2020", realizada en Chiclayo, examinó el desempeño del hormigón (concreto) utilizando árido de concreto ya usado. En este estudio, se reemplazó el árido virgen por AGCR en porcentajes del 15%, 30%, 45% y 60%, tomando como base una mezcla cementicia con $f'c$ de 320 kg/cm². Los resultados muestran para sustituciones de grava virgen por AGCR que, el concreto patrón alcanza un $f'c$ de 366.75 kg/cm²; con un 15% de reemplazo, el esfuerzo mecánico fue de 340.16 kg/cm²; con un 30% de sustitución, se obtuvo 331.38 kg/cm²; con un 45% de sustitución, presenta 321.92 kg/cm²; y con un 60% de sustitución, la resistencia muestra 295.48 kg/cm². Sobre los hallazgos del módulo de rotura, el hormigón (concreto) con agregado natural presenta un valor de 6.85 MPa (69.85 kg/cm²); al sustituir el 15% del AGN por el AGCR, la resistencia a la flexión alcanza 6.92 MPa; con un 30% de sustitución, obtiene 7.01 MPa; con un 45% de sustitución, presenta 7.13 MPa; y con un 60% de sustitución, muestra 7.28 MPa. El análisis llega a la conclusión que el $f'c$ es adecuada con reemplazos del 15%, 30% y 45%. En cuanto al ensayo de módulo de rotura, aunque todas las sustituciones mejoran el desempeño del hormigón (concreto), el reemplazo más favorable se observa con un 15% de AGCR.

Pastor y Pérez (2020), realizaron una investigación titulada "Diseño de Concreto $f'c$ 210 kg/cm² Empleando Concreto Reciclado para Mejorar su Resistencia a la Compresión, Tarapoto 2020", realizada en Tarapoto, en la cual se analizaron los atributos del hormigón (concreto) influenciadas por el AGCR. En el estudio se diseñó un concreto convencional con una resistencia de 210 kg/cm², al que posteriormente se le sustituyó el árido grueso virgen por árido grueso de concreto ya usado en proporciones del 5%, 10% y 15%. Sobre los hallazgos del ensayo mecánico de Esfuerzo a la Compresión, el concreto con agregado natural alcanza

un valor 211.8 kg/cm^2 ; al sustituir el 5% del AGN por el AGCR, la resistencia alcanza 224.4 kg/cm^2 ; por su parte, con un remplazo del 10%, alcanza 229.8 kg/cm^2 ; y con una sustitución del 15%, alcanza un esfuerzo de 233.5 kg/cm^2 . Sobre los hallazgos del ensayo mecánico de esfuerzo a la compresión, el concreto donde se produjo los resultados más altos fue en la muestra del hormigón (concreto) con 15% de AGCR; por lo que el óptimo diseño de mezcla ocurre con la sustitución del 15% de AGCR, logrando así un mejor desempeño en los atributos del $f'c$.

Galvan (2020), en su estudio titulado "Uso del Concreto Reciclado en la Construcción de Viviendas Básicas en la provincia de Huancayo - 2018", realizado en Huancayo, investigó el comportamiento del concreto al sustituir la grava virgen por AGCR, los porcentajes de sustitución evaluados fueron 20%, 50% y 100%. La elaboración del diseño de concreto se centró en resistencias de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , tanto con y sin aditivo. Sobre los hallazgos del ensayo mecánico del $f'c$ para el diseño de 210 kg/cm^2 sin aditivo, el hormigón (concreto) con AN alcanza una compresión de 224.7 kg/cm^2 , con un remplazo de AGCR del 20%, el $f'c$ logrado fue de 217.27 kg/cm^2 , con un 50% de sustitución se obtuvo 213.95 kg/cm^2 , y con un 100% la resistencia muestra 201.83 kg/cm^2 .

En lo referente a los resultados de la resistencia a la flexión en el mismo diseño de 210 kg/cm^2 sin aditivo, el concreto con agregado natural (AN) presenta un módulo de rotura de 3.83 MPa , con una sustitución del 20%, se obtuvo una resistencia de 3.15 MPa , con el 50% se logra 3.95 MPa , y con el 100% se alcanza 2.89 MPa . De la misma manera los resultados en trabajabilidad, el asentamiento del concreto patrón fue de 63.50 mm . Para el concreto con un 20% de sustitución, el revenimiento presenta 215.90 mm , mientras que con el 50% alcanza 69.85 mm , y con el 100% muestra 63.50 mm de asentamiento. Se evidencia en cuanto al ensayo mecánico del $f'c$ que, a mayor porcentaje de sustitución, la resistencia disminuye; sin embargo, el 20% de sustitución es el porcentaje óptimo. En lo referente al módulo de, el autor

establece que el uso de árido grueso de concreto reciclado es viable técnicamente hasta un 20% de sustitución. Además, concluye que la trabajabilidad disminuye conforme aumenta la cantidad de sustitución de AGCR.

3.1.3. A Nivel Regional y Local

Medina (2022), en un estudio titulado "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", realizada en la ciudad de Abancay, donde se investiga el efecto del uso de AGCR que tiene sobre las características del $f'c$ y MR en la mezcla cementicia dura. Dentro de este estudio, la grava virgen fue reemplazado por el AGCR en incrementos del 25%, 50% y 75%. Se toma como base un diseño de concreto con una resistencia $f'c$ de 210 kg/cm².

Los resultados indican que el ensayo mecánico del $f'c$ del concreto con árido natural logra 298 kg/cm²; por otro lado, los especímenes con sustituciones de árido grueso de concreto reciclado en 25%, 50% y 75% presentan resistencias de 293.84 kg/cm², 275.53 kg/cm² y 253.77 kg/cm², respectivamente. Por otra parte, en cuanto a la resistencia a flexión, el concreto control muestra un módulo de rotura de 50.17 kg/cm²; los especímenes con árido grueso de concreto reciclado en sustituciones del 25%, 50% y 75% registran módulo de rotura de 49.56 kg/cm², 46.76 kg/cm² y 44.14 kg/cm², en ese orden. La investigación evidencia que, en términos de resistencia a compresión, la sustitución óptima corresponde al 25%. Asimismo, se establece que la mejor resistencia a la flexión se obtiene con el 25% de sustitución.

Anampa y Bernaola (2019), en su investigación titulado "Influencia del Material Reciclado Proveniente del Pavimento Deteriorado en el Jr. Puno y Av. Abancay de la ciudad de Abancay para la Elaboración de Concreto Nuevo a ser Reutilizado en Pavimentos", desarrollado en la ciudad de Abancay, investigaron el comportamiento del concreto al sustituir el árido virgen por AGCR, se evaluaron sustitución del 25%, del 50%, del 75% y del

100%, basándose el diseño de la mezcla cementicia en una resistencia $f'c$ de 210 kg/cm². Los resultados indican que la mezcla cementicia diseñada con árido virgen alcanza un ensayo mecánico $f'c$ de 493.05 kg/cm²; la mezcla cementicia con un 25% de AGCR presenta un esfuerzo de 395.45 kg/cm²; su vez, las mezclas cementicias con sustituciones del 50% y 75% lograron esfuerzos de 432.14 kg/cm² y 426.67 kg/cm², en ese orden; por último, el testigo con un 100% de agregado reciclado registra una resistencia de 372.86 kg/cm². Los autores concluyen que todas las sustituciones influyen de manera considerable en el esfuerzo mecánico $f'c$ del hormigón (concreto).

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Agregado de Concreto Reciclado

3.2.1.1. Agregado

El agregado es un material esencial dentro del concreto (hormigón), le proporciona estabilidad y resistencia. El agregado es material pétreo natural o procesado que, junto con otros materiales, constituye hasta un 75% del concreto (Abanto, 2009).

Granulometría del agregado

Es la distribución en la dimensión de los materiales pétreos, es decir, la granulometría del agregado está referido a la proporción porcentual de los diferentes tamaños de partículas presentes en una muestra de agregado (Matallana, 2019). Una granulometría corrida, desde su dimensión máximo de la piedra, hasta la partícula más fina de arena, es lo ideal para hacer una mezcla de concreto resistente y óptima, pues con ello garantizamos el menor porcentaje de vacíos en la mezcla de agregados, y, por lo tanto, se optimizará al máximo la pasta de cemento necesaria. Según la Norma Técnica Peruana los tamices a utilizar están descritos en la tabla 2:

Tabla 2*Tamaño de tamices para el análisis Granulométrico*

Agregado	Tamiz	Abertura. mm
Grueso	2"	50
	1 1/2"	37.5
	1"	25
	3/4"	19
	1/2"	12.5
	3/8"	9.5
Fino	N° 4	4.75
	N° 8	2.36
	N° 16	1.18
	N° 30	0.6
	N° 50	0.3
	N° 100	0.15
	N° 200	0.075

Nota. Adaptado de la NTP 400.012.

Contenido de Humedad

Es una medida de la proporción de agua presente en los poros y en la superficie de un agregado (fino o grueso) en relación con su peso seco (Pasquel, 1998). La humedad en los agregados puede presentarse de diversas formas, dependiendo de su condición; un agregado seco en horno carece completamente de humedad, se obtiene tras secar el agregado a una temperatura constante; un agregado seco al aire no presenta agua en su superficie, pero con poros parcialmente llenos; un agregado saturado con superficie seca, los intersticios del árido están completamente saturados de agua, pero la superficie permanece libre de humedad; un agregado húmedo, contiene agua tanto en sus poros como en su superficie.

Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción

El peso específico, también conocido como densidad relativa de un árido es la relación entre el peso del agregado y el peso de un volumen igual de agua. Tiene importancia porque determina la calidad del agregado y su impacto en la capacidad de soporte del concreto. Por otro lado, La absorción del agregado, es la cantidad de agua que un agregado puede retener

en sus poros, expresada como un porcentaje de su peso seco. Tiene importancia porque impacta la proporción de agua necesaria para la elaboración de la roca artificial (Rivva, 2000).

Densidad de Masa (Peso Unitario) Suelto y Compactado

La densidad de masa suelta o peso unitario suelto es el peso del árido por unidad de volumen cuando las partículas están dispersos. Es decir, el agregado se encuentra en una forma suelta, sin ninguna compresión o compactación, dejando espacios vacíos (aire) entre las partículas. Por otro lado, la densidad de masa compactada, también conocido como peso unitario compactado, describe a la cantidad de masa del árido por unidad de volumen cuando este ha sido comprimido o compactado, es decir, cuando las partículas están más juntas, con menos espacio vacío entre ellas. Esto se logra aplicando presión o vibración al material, lo que reduce su volumen y aumenta su densidad (Abanto, 2009).

Pérdida por Abrasión del agregado

La abrasión o desgaste del agregado se refiere al proceso de reducción en el tamaño y forma del árido grueso debido a la fricción y el contacto continuo con otros materiales. Este fenómeno ocurre principalmente cuando los agregados se someten a esfuerzos mecánicos, como el tránsito de vehículos, el paso del tiempo o el impacto en el mortero. El desgaste de los materiales pétreos puede influir en las propiedades del concreto, como su durabilidad, resistencia y capacidad de trabajo. En términos de pruebas de laboratorio, existen ensayos para medir la abrasión los materiales pétreos, como la máquina de los Ángeles, que evalúa la capacidad de un agregado para resistir el desgaste al ser sometido a una carga y rotación en un tambor (Matallana, 2019).

3.2.1.2. Agregado de Concreto Reciclado

Es un "Material que se obtiene de la trituración del concreto ya usado. El proceso de producción es tal que después de triturar el concreto usado; los contaminantes del concreto, como refuerzo, papel, madera, plástico y yeso, se tamizan y eliminan" (Shirani et al., 2020, p.

2). El concreto reciclado es un material que se obtiene a partir del reciclaje de residuos de construcción y demolición, conocidos también como residuos de concreto ya utilizado. Según el Consejo Nacional de Medio Ambiente, estos materiales pueden ser reutilizados o reciclados como agregados.

Casi cualquier tipo de mezcla cementicia, ya sea en estado fresco o endurecido, es susceptible de ser reciclado (CONAMA, 2024). Cuando se demuelen construcciones de concreto, los componentes se recuperan y procesan para que puedan volver a utilizarse en nuevas mezclas de hormigón. Esto se conoce como árido de concreto reciclado, y también ayuda a reducir la demanda de recursos naturales. (Cobeñas y Valenzuela, 2022 p.16).

Gravedad específica, absorción y porosidad

En contraste con los áridos vírgenes, los áridos reciclados obtenidos de concreto ya usado muestran una porosidad notablemente mayor. Este fenómeno se atribuye a la pasta residual que permanece adherida a los áridos naturales, lo que provoca una reducción en la densidad del material pétreo y un aumento tanto en su capacidad de absorción como en su nivel de porosidad (Diogo et al., 2015). Otros estudios como los de Pacheco et al. (2023), demuestran que los áridos con una mayor absorción, comprometen tanto la fluidez del concreto fresco como la durabilidad del concreto endurecido. La absorción de los árido está en vínculo con su porosidad y su resistencia; es decir, a mayor porosidad del árido, mayor será la absorción de agua, por lo que se debe tener cuidado al momento del diseño de la mezcla. Con este mismo concepto, los agregados reciclados presentan una mayor porosidad en comparación con los agregados naturales, lo que provoca una mayor absorción de agua. Sin embargo, si la densidad del agregado reciclado es mayor y su absorción es más baja, este será más adecuado para la elaboración de concreto, ya que ofrecerá y sumará en las propiedades de la misma.

Porcentaje de Agregado Grueso de Concreto Reciclado

La cantidad de árido grueso de concreto ya usado, que se puede utilizar en la mezcla de un concreto nuevo puede variar según las especificaciones, los estándares de construcción y los resultados deseados en función de durabilidad y capacidad de soporte (Ortiz y Flores, 2023). Se infiere de la investigación de Balmaceda (2021); en Estados Unidos se ha determinado que hasta un 10% de agregado reciclado es adecuado como sustituto en la mezcla de concreto, en el Reino Unido es factible usar hasta un 20% de árido de concreto ya usado, en Alemania la normativa permite un porcentaje entre el 30% y el 45%, en Australia hasta un 30% de árido de concreto ya usado. La elección de los porcentajes de estudio en la presente, se basa en los máximos porcentajes de agregados reciclados permitidos en los países descritos en la *tabla 3*:

Tabla 3

Porcentaje máximo óptimo permitido de árido reciclado en peso

Normativa	% Máximo permitido de árido reciclado en peso sin afectar sus propiedades mecánicas
Española (EHE).	20%
Japonesa.	10% - 15%
RILEM (unión internacional de laboratorios y expertos en materiales, sistemas y estructuras de construcción).	20%
Belga.	20%
Inglesa.	20%
Alemana (DIN).	25% - 35%
Holandesa.	20%
Estado Unidense.	10%
Australiana.	30%

Nota. Adaptado de Balmaceda (2021, p. 62)

3.2.2. *Propiedades del Concreto*

3.2.2.1. Concreto

El concreto es un material resistente, llamado también roca artificial, que está compuesto por agua, agregados gruesos y finos, cemento, aire y en ciertas circunstancias con aditivos. Para Abanto (2009), el concreto es el producto de la reacción química entre el cemento y el agua; una partícula de arena fina y agregado grueso, formando un material homogéneo; además, se le pueden añadir aditivos para modificar ciertas propiedades, como la trabajabilidad, fraguado lento o rápido, entre otros.

Diseño de concreto

El proceso de determinar la cantidad de cada componente para la fabricación del hormigón o concreto se conoce como diseño de mezcla. Según Abanto (2009), al seleccionar las proporciones, es importante considerar el uso futuro del hormigón y las condiciones que enfrentará durante su puesta en obra y funcionamiento.

Selección de Resistencia Característica Requerida: es para obtener la resistencia de diseño. Dicha selección está basada en la **tabla 4**, proporcionada por el Instituto Americano del Concreto (ACI 211.1).

Tabla 4

Resistencia característica requerida, según diseño deseado

$f'c$ (kg/cm ²)	$f'cr$
< 210	$f'c + 70$
210 - 350	$f'c + 84$
>350	$f'c + 98$

Nota. Adaptado del ACI 211.1

Slump del Concreto según Consistencia: para el diseño de concreto se tiene que elegir la consistencia del concreto, con la se pretende trabajar, la cual se toma de la **tabla 5**.

Tabla 5*Slump del concreto según consistencia*

consistencia	in	mm
Seco	0 - 2	0 - 50
Plástico	3 - 4	75 - 100
Fluido	> 5	> 125

Nota. Adaptado de Diseño de Mezclas. Enrique Riva López, 2012, p. 41

Contenido de Aire Atrapado, según TMN del Agregado Grueso: El aire queda atrapado en el concreto fresco durante su diseño. Para determinar su contenido, se utiliza la **tabla 6**.

Tabla 6*Contenido de aire atrapado, según TMN del agregado grueso*

T.M.N. agregado grueso	Aire atrapado (%)
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Nota. Adaptado del ACI 211.1

Volumen Unitario de Agua: El volumen unitario de agua se determina en función de tamaño máximo nominal (TMN) del material pétreo grueso y la consistencia del concreto, descrita en la **tabla 7**.

Tabla 7*Volumen unitario de agua, según TMN del AG y consistencia del concreto*

Slump	Agua, lt/m ³ para T.M.N. De agregados grueso y consistencia indicados						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
	Para concreto sin aire incorporado						
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160

Nota. Tecnología del concreto. Flavio Abanto Castillo, 2009, p. 67

Relación Agua Cemento A/C: Es la proporción entre el peso del agua y el peso del cemento en el hormigón (concreto) fresco. La **tabla 8** proporciona valores de esta relación en función de la resistencia característica requerida.

Tabla 8

Relación A/C según resistencia característica requerida

f'cr (kg/cm ²)	Relación A/C en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.6
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Nota. Adaptado del ACI 211.1

Contenido de Cemento: Es el peso de cemento utilizada en el concreto fresco. Generalmente se expresa en kg/m³ y se calcula mediante la **ecuación 1**.

Ecuación 1: *Contenido de cemento*

$$\text{Cemento} = \frac{\text{contenido de agua}}{\text{A/C}} \quad (1)$$

Contenido de Agregado Grueso: Es la cantidad de material pétreo grueso en el concreto fresco u hormigón fresco. El Volumen de árido grueso seco y compactado está condicionado por el tamaño máximo nominal (TMN) del material grueso y el módulo de fineza (MF) del material fino según lo expresado en **tabla 9**, Posteriormente se halla la cantidad del material pétreo grueso utilizando la **ecuación 2**.

Tabla 9

Volumen de agregado grueso seco y compactado, según el TMN del agregado grueso y el MF del agregado fino

T.M.N. agregado grueso	volumen de agregado grueso seco y compactado			
	M.F. agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Tomado del comité 211 del ACI

Ecuación 2: *Peso del agregado grueso*

$$P. \text{ agregado grueso} = V. \text{ AG seco y compactado} \times P. \text{ U. compactado} \quad (2)$$

Donde:

P. agregado grueso = Peso del agregado grueso

V. AG seco y compactado = Volumen del agregado grueso seco y compactado

P.U. compactado = Peso unitario compactado

Contenido de Agregado Fino: Es la cantidad de agregado fino en el concreto fresco.

La **ecuación 3** permite determinar los volúmenes de cada componente de la mezcla cementicia fresco (método de volumen absoluto), la **ecuación 4** ayuda calcular el volumen del árido fino, la **ecuación 5** es usada para determinar el peso seco del árido fino.

Ecuación 3: *Volumen de los componentes del concreto*

$$\text{Volumen} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico}} \quad (3)$$

Ecuación 4: *Volumen del agregado fino*

$$V. \text{ agregado fino} = 1 - (V. \text{ cemento} + V. \text{ agua} + V. \text{ aire} + V. \text{ agregado grueso}) \quad (4)$$

Donde:

V. agregado fino = Volumen del árido fino

V. cemento = Volumen del cemento

V. agua = Volumen del agua

V. aire = Volumen del aire

V. agregado grueso = Volumen del árido grueso

Ecuación 5: *Peso seco del agregado fino*

$$P. \text{ agregado fino} = \text{Peso específico} \times \text{Volumen} \quad (5)$$

Donde:

P. agregado fino = Peso del agregado fino

Peso específico = Peso específico del agregado fino

Volumen = Volumen del agregado fino

Ajuste por Humedad de los Agregados: Es la corrección de las cantidades de agua y áridos (arena y grava) en el concreto fresco, tomando en cuenta la humedad presente en los agregados. La **ecuación 6** ayuda a determinar el peso húmedo del árido fino y grueso, la **ecuación 7** permite calcular el agua que aportan los agregados a la mezcla y la **ecuación 8** es usada para calcular el agua efectiva en la mezcla.

Ecuación 6: *Peso húmedo del agregado*

$$P. \text{ húmedo de agregado} = \text{peso seco} \times \left(\frac{\text{cont. humedad}}{100} + 1 \right) \quad (6)$$

Donde:

P. húmedo de agregado = Peso húmedo de agregado

Peso seco = Peso seco del agregado

Cont. Humedad = Contenido de humedad del agregado

Ecuación 7: *Agua aportada por los agregados*

$$\text{Agua en agregado} = \frac{(\text{Cont. humedad} - \% \text{ absorción}) \times \text{Peso seco de agregado}}{100} \quad (7)$$

Donde:

Cont. humedad = Contenido de humedad del agregado

% absorción = Porcentaje de absorción del agregado

Ecuación 8: *Agua efectiva en el concreto fresco*

$$\text{Agua efectiva} = \text{P. del agua} - (\text{agua en A. grueso} + \text{agua en A. fino}) \quad (8)$$

Donde:

Agua efectiva = Agua efectiva en el concreto

P. del agua = Peso del agua

Agua en A. grueso = Agua en el agregado grueso

Agua en A. fino = Agua en el agregado fino

Cantidad de Material en Peso para Especímenes de Concreto: Es la cantidad de agregados sumidos en el concreto fresco. En el caso de la cantidad de material en peso para cilindros de concreto, la **ecuación 9** se utiliza para determinar el volumen del molde cilíndrico, la **ecuación 10** permite calcular la cantidad de cada insumo necesario para un grupo específico de cilindros, y la **ecuación 11** es usada para calcular los pesos de los áridos gruesos de concreto reciclado (AGCR) respecto del árido grueso natural (AGN).

Ecuación 9: *Volumen del molde cilíndrico*

$$V. \text{molde} = \pi \times \left(\frac{\text{diámetro}}{2}\right)^2 \times \text{altura} \quad (9)$$

Donde:

V. molde = Volumen del molde cilíndrico

Diámetro = Diámetro del molde cilíndrico

Altura = Altura del molde cilíndrico

Ecuación 10: *Cantidad de cada insumo para un grupo de concreto*

$$\text{Cant. insumo} = \text{cant. insumo en 1m}^3 \times \text{V. total molde incluido desperdicio} \quad (10)$$

Donde:

Cant. insumo = Cantidad de un insumo en el concreto

Cant. insumo en 1m³ = Cantidad de insumo en un metro cúbico

V. total molde incluido desperdicio = Volumen total del molde incluido el desperdicio

Ecuación 11: *Pesos de los AGCR respecto del AGN*

$$\text{Peso AGCR} = \left(\frac{\% \text{ AGCR sustituido}}{100} \right) \times \text{peso AGN} \quad (11)$$

Donde:

Peso AGCR = Peso del agregado grueso de concreto reciclado

% AGCR sustituido = Porcentaje de agregado grueso de concreto reciclado sustituido

Peso AGN = Peso del agregado grueso natural

En el caso de la cantidad de material en peso para prismas de concreto, la **ecuación 12** se utiliza para hallar el volumen del molde prismático, la **ecuación 10** ayuda a calcular la cantidad de cada insumo necesario para un grupo específico de prismas, y la **ecuación 11** se utiliza para calcular los pesos de los AGCR respecto del AGN (árido grueso virgen).

Ecuación 12: *Volumen del molde prismático*

$$V. \text{molde} = \text{altura} \times \text{base} \times \text{longitud} \quad (12)$$

Donde:

V. molde = Volumen del molde prismático

Altura = Altura del molde prismático

Base = Base del molde prismático

Longitud = Longitud del molde prismático

En el caso de la cantidad de material en peso para la consistencia del concreto, la **ecuación 13** ayuda a determinar el volumen del molde cónico truncado, la **ecuación 10** sirve para calcular la cantidad de cada insumo indispensable para un grupo específico de conos truncados, y la **ecuación 11** permite calcular los pesos de los AGCR respecto del AGN.

Ecuación 13: *Volumen del molde cónico truncado*

$$V. \text{molde} = \left(\frac{\pi \times H}{12} \right) \times [D^2 + D \times d + d^2] \quad (13)$$

Donde:

V. molde = Volumen del molde cónico truncado

H = Altura del molde cónico truncado

D = Diámetro mayor del molde cónico truncado

d = Diámetro menor del molde cónico truncado

3.2.2.2. Propiedades del Concreto

“Son características que dependen de una variedad de factores como el tamaño del agregado, el contenido de humedad del agregado, la absorción de agua, la forma y la textura del agregado” (Kisku et al., 2016, p. 3). Para Anampa y Bernaola (2019), las propiedades del concreto, “son aquellas que se determinan con la finalidad de cumplir con todas las condiciones establecidas según el fin al que están destinados” (p.35). De la misma manera, “las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas del cemento, agua y agregados” (SENCICO, 2014 p.12). vale decir, las propiedades del concreto son atributos que dependen de sus componentes (cemento, granulometría del agregado, relación agua-cemento, aditivos, etc.), y del entorno donde se produce (ambiente, operador).

Resistencia a Compresión

La capacidad del hormigón para soportar cargas sin fallar se conoce como resistencia a la compresión. (Ramírez, 2022). Es decir, la capacidad del concreto para resistir cargas de compresión se conoce como resistencia a compresión, esta cualidad se origina por la singularidad adherente del cemento, esta resistencia a compresión está influenciadas principalmente por la densidad de la pasta de cemento (Pasquel, 1998). A diferencia de otros tipos de resistencias, el concreto es muy resistente a los esfuerzos de compresión, haciendo que sea esta su propiedad más importante y con la que, por lo general, sea determinada su calidad (Matallana, 2019).

Ensayo de Resistencia a la Compresión: La NTP 339.034 especifica el procedimiento estándar para medir la resistencia a la compresión mecánica del hormigón (concreto) en

probetas en forma de cilindro. Este ensayo consiste en ejercer una carga axial sobre los cilindros moldeadas con concreto, también consiste en emplear una carga sobre los cilindros extraídos mediante brocas diamantadas; la prueba se efectúa siguiendo una velocidad de carga constante, y el cálculo de la resistencia a la compresión ($f'c$) se obtiene al dividir la carga aplicada a la cual falla el cilindro entre el área transversal de dicho cilindro (Paucar y Gilmar, 2023).

Módulo de Rotura

Sinónimo de resistencia a esfuerzos de flexión, es de importancia en estructuras de concreto sometidas a esfuerzos horizontales y/o condiciones de desgaste, como pavimentos, losas, veredas, canales, puentes, entre otros (Hurtado, 2024). Es decir, el módulo de rotura es la capacidad del concreto para resistir cargas aplicadas en flexión; representa la resistencia del concreto antes de fracturarse cuando se intenta doblarlo, como sucede en vigas o losas. El módulo de rotura, es necesario “cuando se diseñan pavimentos rígidos y otras losas que se construyen sobre el terreno, el concreto se diseña para que resista esfuerzos de flexión” (Gutiérrez, 2003 p.53).

Ensayo de Módulo de Rotura: La Norma Técnica Peruana NTP 339.078, establece el procedimiento de prueba, que se basa en ejercer una carga en los tercios del tramo de la viga hasta que se produzca la fractura. El módulo de rotura conocido también como resistencia a la flexión, se determina en función de la posición de la ruptura: dentro del tercio central o a una distancia no mayor al 5 % de la luz libre desde dicho tercio.

Trabajabilidad

Rivva (2012), define a la trabajabilidad del concreto como la “capacidad para ser manipulado, transportado colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que se presente segregación” (p.37). De la misma manera Espinoza (2018), afirma que la trabajabilidad “es aquella

facilidad de colocación, consolidación y acabado fresco, que influyen en la trabajabilidad del concreto, estas están fuertemente vinculadas con la calidad de los materiales que se utiliza, seguido está la temperatura y la cantidad de agua” (Medina y Ramos, 2021 p. 41).

Ensayo de Asentamiento: Este ensayo evalúa la consistencia del concreto, así como su capacidad para fluir y colocarse adecuadamente en formas sin segregación (Ramos Pompa, 2021). La NTP 339.035 es la Norma Técnica Peruana que fija el procedimiento para la determinación del asentamiento del concreto.

3.3. Definición de Términos

Concreto: Está formado por una combinación de componentes específicos de cemento, agua, áridos y aditivos opcionales. Luego del fraguado, adquiere una determinada dureza según diseño del concreto. (Aceros Arequipa, 2020).

Concreto en estado fresco: Recibe su nombre del hecho de que se describe como una combinación que aún puede moldearse. Para Pasquel (1998), el concreto fresco “es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable” (p.11).

Concreto endurecido: “El concreto en estado endurecido es un proceso por el cual el material aglutinado pasa de un estado plástico a un estado sólido rigidizándose con el pasar de los días” (Medina y Ramos, 2021 p. 43).

Concreto con árido reciclado: Es el concreto que además de sus componentes ya conocidos, también tiene áridos de concreto reciclado. El uso de áridos reciclados de alta calidad permite obtener resistencias similares al hormigón convencional (Aguilar et al., 2021). Además, ya que los áridos representan entre el 70% - 80% de los componentes del hormigón, su reciclaje es una estrategia clave para reducir el impacto ambiental de las mezclas de hormigón (Bazalar y Cadenillas, 2019).

Cemento hidráulico: Es el cemento que fragua, endurece y desarrolla resistencia por reacción química tanto al aire como bajo el agua, NTP 334.001.

Cementos Portland. NTP 334.009

Compuesto esencialmente por la molienda de clínker y yeso (se puede adicionar caliza hasta un 5%) (D. SUPREMO, 2022, p.30). Dentro de estos cementos se encuentran los tipos denominados en orden, desde el tipo uno hasta el tipo cinco, como lo muestra la **tabla 10**.

Tabla 10

Cementos Portland

Cementos Hidráulicos	Tipo	Denominación
Cementos Portland	Tipo I	De uso general.
	Tipo II	De uso general o, moderada resistencia a sulfatos.
	Tipo III	De alta resistencia inicial.
	Tipo IV	De bajo calor de hidratación.
	Tipo V	De alta resistencia a los sulfatos.

Nota. Adaptado del DS N° 001-2022-PRODUCE.

Agregados: Son los materiales pétreos que se mezclan con el cemento y el agua para formar hormigón (concreto). Se dividen en agregados finos (arena) y agregados gruesos (grava o piedra).

Agregado grueso: El árido grueso es un material granular, como grava o fragmentos de roca, que se utiliza en la construcción, principalmente en la elaboración de concreto. Su función principal es proporcionar volumen, resistencia y estabilidad a la mezcla de concreto, ayudando a reducir la cantidad de cemento necesario y mejorando las propiedades mecánicas del material final.

Humedad del agregado: Es la cantidad de agua existente en un material árido en el momento presente bajo condiciones específicas de ese momento; es decir, dentro de un diseño de mezcla, el contenido de humedad de los agregados afecta la cantidad de agua necesaria para que el cemento se hidrate.

Absorción del agregado: Es la capacidad de los agregados para retener agua dentro de sus poros. Si los agregados ya contienen una menor o mayor cantidad de humedad en sus poros, absorberán más o menos agua cuando formen parte del diseño de mezcla del concreto.

Porosidad del agregado grueso: “La porosidad es el volumen de todos los espacios internos de las partículas sin materia sólida, así mismo esta influye en las propiedades de los agregados como: la resistencia mecánica, propiedades elásticas y propiedades físicas” (Deledesma, 2020 citado por Medina y Ramos, 2021 p. 37).

Dureza del agregado grueso: “Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos. En los agregados para concreto se cuantifica por medio de la resistencia a la abrasión en la máquina de los ángeles” (Pasquel, 1998 p. 78).

Agregado fino: Es el árido “proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" y queda retenido en el tamiz N° 200. El más usual de los agregados finos es la arena” (Rivva, 2000 p. 17).

Microsoft Excel: *Microsoft Excel* es una herramienta de software ampliamente utilizada para la organización, gestión y análisis de datos, especialmente útil para crear tablas, gráficos y realizar cálculos matemáticos y estadísticas básicas.

IBM SPSS Statistics: *IBM SPSS Statistics* es un software estadístico utilizado para el análisis de datos en investigaciones científicas y sociales. Permite realizar análisis estadísticos descriptivos e inferenciales avanzados, como regresiones, análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de normalidad, entre otros.

Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk: Es una prueba estadística utilizada para verificar si un grupo de datos sigue una distribución normal. Esta prueba se utiliza en investigaciones o estudios que requieren la comprobación de supuestos de normalidad antes de aplicar pruebas paramétricas.

ANOVA: Son las siglas del Análisis de Varianza, una prueba estadística empleada para contrastar las medias de tres o más grupos (conjuntos). Su propósito principal es evaluar si hay diferencias significativas entre las medias de los grupos.

Prueba Post Hoc de Tukey: La evaluación *post hoc de Tukey* es un análisis estadístico utilizada después de un ANOVA para conocer diferencias significativas entre grupos. Esta prueba permite identificar específicamente qué pares de grupos (conjuntos) presentan diferencias significativas entre sí.

La Distribución Normal: En estadística, es una distribución de probabilidad continua que describe cómo los datos se distribuyen alrededor de un valor central. Se define por dos parámetros principales: la media (μ), que representa el valor central, y la desviación estándar (σ), que mide la dispersión o variabilidad de los datos. La distribución normal es utilizada para modelar fenómenos naturales y sociales.

Hipótesis Nula (H_0): Es una afirmación inicial que se plantea en un análisis estadístico y que se asume como verdadera hasta que exista suficiente evidencia para rechazarla. Generalmente representa una situación de "no efecto" o "no diferencia".

Hipótesis Alterna (H_1): Es la afirmación generalmente opuesta a la hipótesis nula. Representa la existencia de un efecto, una diferencia o una relación significativa en los datos que se desea probar.

Valor de Probabilidad, p-valor: En estadística, es la probabilidad de observar resultados iguales o más extremos que los observados, bajo el supuesto de que la hipótesis nula (H_0) es verdadera. Se utiliza para determinar si hay suficiente evidencia para rechazar H_0 ; un p-valor inferior que el umbral de significancia (α) indica que H_0 debe ser rechazada.

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de Investigación

Tipo de Investigación, Esta investigación es de tipo Aplicada, debido a que se utiliza el árido de concreto reciclado para mejorar las características de un nuevo concreto, con el propósito de resolver el problema del desaprovechamiento del concreto en desuso (residuos de concreto y demolición). Y con ello además se busca generar conocimiento que pueda ser directamente utilizado para mejorar el problema mencionado. (Borja, 2016 p. 10)

Nivel o Alcance de la Investigación, Es explicativo porque el estudio (investigación) se centra en medir la resistencia a compresión, el módulo de rotura (resistencia a flexión) y la trabajabilidad del concreto de acuerdo al porcentaje de árido grueso de concreto ya usado (o que es lo mismo utilizando el AGCR). Es decir, busca analizar el efecto que tiene el árido de hormigón (concreto) ya usado sobre las propiedades del concreto con resistencia característica de 210 kg/cm^2 (se está trabajando bajo condiciones definidas). Esto está basado en que la investigación explicativa, busca entender las causas de los eventos, las condiciones en que ocurren y las relaciones entre sus componentes (Hernández et al., 2014 p. 83).

Diseño de Investigación, la presente, adopta un diseño experimental, ya que se manipula deliberadamente el porcentaje del árido de concreto reciclado (variable independiente) para evaluar su efecto en la resistencia a compresión, el módulo de rotura y la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (variable dependiente). Además, se asegura el control riguroso de variables externas, conforme a la Normativas Técnica Peruana, para minimizar su impacto en los resultados y garantizar la validez de las conclusiones. Este diseño responde a que la variable independiente es manipulada de forma intencional para examinar las variaciones en una o más variables dependientes, ya que se caracteriza por buscar relaciones de causalidad - efecto (Hernández et al., 2014 p. 129).

4.2. **Ámbito Temporal y Espacial**

El contexto temporal y espacial de un estudio se refiere a los límites o alcances en cuanto al tiempo y lugar en los que se desarrolla el estudio. Es decir, para delimitar adecuadamente la investigación, es necesario definir con precisión el ámbito espacial y temporal en el que se realiza las actividades del estudio.

Ámbito Temporal, La investigación se realiza en el año 2023-2024 lo cual contempla las etapas de verificación, observación, procesamiento de datos y resultados.

Ámbito Espacial, El estudio se llevó a cabo en la provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

4.3. **Población y Muestra**

4.3.1. **Población**

La “población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Hernández et al., 2014 p.174). En esa línea, en el Perú y el mundo existe una gran variedad de concretos con diferentes diseños, las mismas son diseñados con diferentes aditivos y/o materiales, por ello la población se define no por la cantidad de concretos, sino por ciertas características. Para definir la población se toman en cuenta los criterios de exclusión e inclusión tal y como se detalla a continuación:

Criterio de Inclusión: Se considera concretos convencionales (estructurales, no estructurales y pavimentos rígidos), concretos con agregados reciclados, concretos nuevos, concretos de demoliciones y concretos de laboratorios de pruebas.

Criterio de Exclusión: La investigación excluirá los concretos gravemente degradados por factores como ataques químicos severos (sulfatos, cloruros), concretos con aditivos no convencionales (como polímeros o fibras exóticas), concretos con materiales que no puedan ser eliminados (residuos orgánicos, plásticos, metales).

4.3.2. Muestra

De los criterios de exclusión e inclusión la muestra del presente estudio es de tipo no probabilística, y está conformada por el concreto con agregado natural (AN), y el concreto con agregado grueso de concreto reciclado (AGCR); se preparó 21 muestras cilíndricas (6"x12") de concreto con agregado natural, 21 muestras cilíndricas (6"x12") de concreto con AGCR en 12% de remplazo, 21 muestras cilíndricas (6"x12") de concreto con AGCR en 19% de remplazo, 21 muestras cilíndricas (6"x12") de concreto con AGCR en 26% de remplazo; 21 especímenes prismáticas (15x15x50 cm) de concreto con agregado natural, 21 especímenes prismáticas (15x15x50 cm) de concreto con AGCR en 12% de remplazo, 21 especímenes prismáticas (15x15x50 cm) de concreto con AGCR en 19% de remplazo, 21 especímenes prismáticas (15x15x50 cm) de concreto con AGCR en 26% de remplazo; 01 muestra cónica truncada de concreto con agregado natural, 01 muestra cónica truncada de concreto con AGCR en 12% de remplazo, 01 muestra cónica truncada de concreto con AGCR en 19% de remplazo, 01 muestra cónica truncada de concreto con AGCR en 26% de remplazo. Estos se muestran en la **tabla 11**, siendo el hormigón (concreto) de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y la NTP 339.183 la que regula la preparación y curado de los especímenes.

Tabla 11

Muestras de concreto

		Concreto $f'c = 210$ kg/cm^2	Edad de testigos			Sub total	Total
			7 días	14 días	28 días		
Muestras Cilíndricas	Con AN		7	7	7	21	84
	Con AGCR al 12%		7	7	7	21	
	Con AGCR al 19%		7	7	7	21	
	Con AGCR al 26%		7	7	7	21	
Muestras Prismáticas	Con AN		7	7	7	21	84
	Con AGCR al 12%		7	7	7	21	
	Con AGCR al 19%		7	7	7	21	
	Con AGCR al 26%		7	7	7	21	
Muestras para la trabajabilidad	Con AN					1	4
	Con AGCR al 12%					1	
	Con AGCR al 19%					1	
	Con AGCR al 26%					1	

4.4. Instrumentos

Las técnicas que se utilizaron en la presente tesis fueron la observación directa, en campo y ensayos experimentales en laboratorio. Los instrumentos para la recopilación de datos que se utilizaron en la investigación, están en base a los indicadores de la presente e incluyen fichas de recolección de datos, artículos científicos, tesis, equipos e instrumentos de laboratorio. Para la obtención de datos en laboratorio se usó las directrices normativas, tales como el formato para el análisis granulométrico de áridos (NTP 400.012), el formato para el ensayo de contenido de humedad de áridos (NTP 339.185), el formato para determinar el peso específico del árido fino (NTP 400.022), el formato para ensayo de peso específico del árido grueso (NTP 400.021), formato para el ensayo de peso unitario suelto y varillado (NTP 400.017), el formato para ensayo de pérdida por abrasión (NTP 400.019), el formato para el diseño de mezcla (ACI 211.1), el formato para ensayo de resistencia a la compresión $f'c$ (NTP 339.034), el formato para ensayo de resistencia de módulo de rotura MR (NTP 339.078) y el formato para la prueba de revenimiento (NTP 339.035).

4.5. Procedimientos

En el presente estudio, se elabora un concreto de resistencia característica $f'c=210$ kg/cm², que actúa como muestra de control experimental (patrón). A ello se hace sustituciones del AGN con AGCR en porcentajes del 12%, del 19% y del 26%. Seguidamente, se describen los pasos que se siguieron en la investigación.

4.5.1. Adquisición de los Materiales

Se inicia con la obtención de cemento Portland Tipo I de marca Sol, obtenido de un establecimiento comercial especializado en ferretería localizado en la zona, se adquiere los áridos grueso y fino naturales obtenidos de la cantera Sullhuacca - Zúñiga, localizado en la Av. Los Libertadores, Cruce con el Jr. Astuhuaraca - distrito de San Jerónimo - provincia de Andahuaylas. Entendiéndose, en esta investigación, que los agregados de cantera se

consideran como agregados naturales respecto del árido de concreto ya usado; los mismos que se trasladó al laboratorio INGEOLAB, ubicado en el Jr. Guillermo Cáceres Tresierra - Andahuaylas. El árido grueso de concreto reciclado, mostrada en la *figura 1*, proviene de la ribera del río Chumbao, ubicado en la Av. Mil Amores, cruce con el Jr. Señor de los Milagros - provincia de Andahuaylas, previo proceso de trituración en la misma chancadora antes mencionada mostrada en la *figura 2*.

Figura 1

Selección y obtención del concreto reciclado



Figura 2

Trituración del concreto reciclado



4.5.2. Granulometría de AN y AGCR

Se hace para conocer la distribución del tamaño de los agregados. Tanto para el árido grueso como para el árido fino se determina de acuerdo con la NTP 400.012. La muestra de agregado una vez lavada, secada y pesada, se tamiza a través de una serie de tamices que están; para el árido fino entre 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200; y para el

árido grueso entre 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, luego pesamos cada tamiz con sus respectivos retenidos.

4.5.2.1. Granulometría del Agregado Grueso Natural

El ensayo presenta:

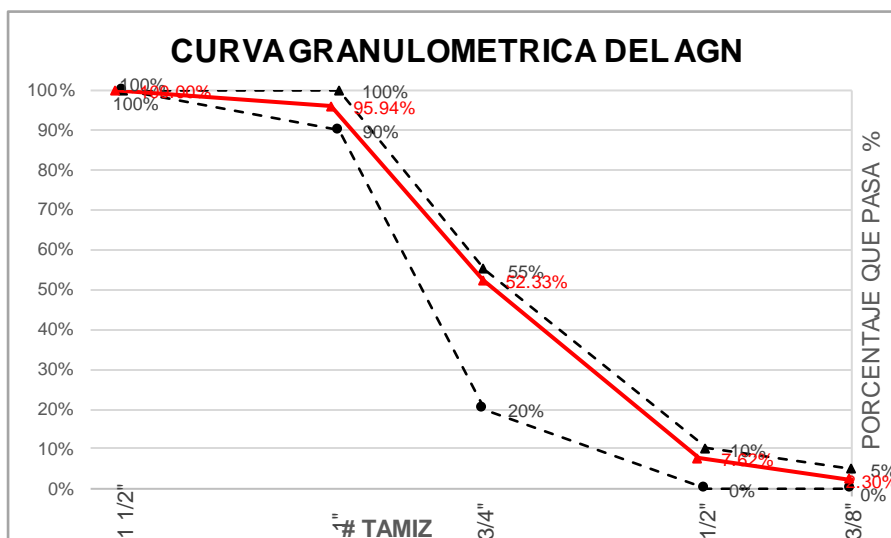
- Tamaño máximo (TM) = 1 1/2"
- Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"
- Módulo de fineza = 6.01

La *tabla 12*, la *figura 3* y *figura 4* muestran el ensayo de distribución granulométrica del árido grueso natural (AGN).

Tabla 12

Granulometría del AGN

Tamiz	Abertura. (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
2"	50	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	207	4.06	4.06	95.94
3/4"	19	2222	43.61	47.67	52.33
1/2"	12.5	2278	44.71	92.38	7.62
3/8"	9.5	271	5.32	97.70	2.30
N° 4	4.75	45	0.88	98.59	1.41
N° 8	2.36	61	1.20	99.78	0.22
N° 16	1.18	11	0.22	100.00	0.00
Total		5095	100.00		

Figura 3*Curva granulométrica del AGN***Figura 4***Cribado del AGN*

4.5.2.2. Granulometría del Agregado Grueso de Concreto Reciclado

Al hacer el ensayo de granulometría del agregado grueso de concreto reciclado, se observó que este no estaba dentro del huso que demarcaba el agregado grueso natural, ya que presentaba una mayor cantidad de partículas gruesas. Para corregir esta discrepancia, se procedió a triturar manualmente el material reciclado, logrando así que el mismo se ajuste al huso granulométrico del agregado grueso natural.

El ensayo presenta:

- Tamaño máximo (TM) = 1 1/2"
- Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"

- Módulo de fineza = 6.00

La **tabla 13**, la **figura 5** y **figura 6** muestran el ensayo de distribución granulométrica del árido grueso de concreto reciclado (AGCR).

Tabla 13

Granulometría del AGCR

Tamiz	Abertura. (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
2"	50	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	134	2.67	2.67	97.33
3/4"	19	2471	49.26	51.93	48.07
1/2"	12.5	2193	43.72	95.65	4.35
3/8"	9.5	163	3.25	98.90	1.10
N° 4	4.75	20	0.40	99.30	0.70
N° 8	2.36	18	0.36	99.66	0.34
N° 16	1.18	17	0.34	100.00	0.00
Total		5016	100.00		

Figura 5

Curva granulométrica del AGCR

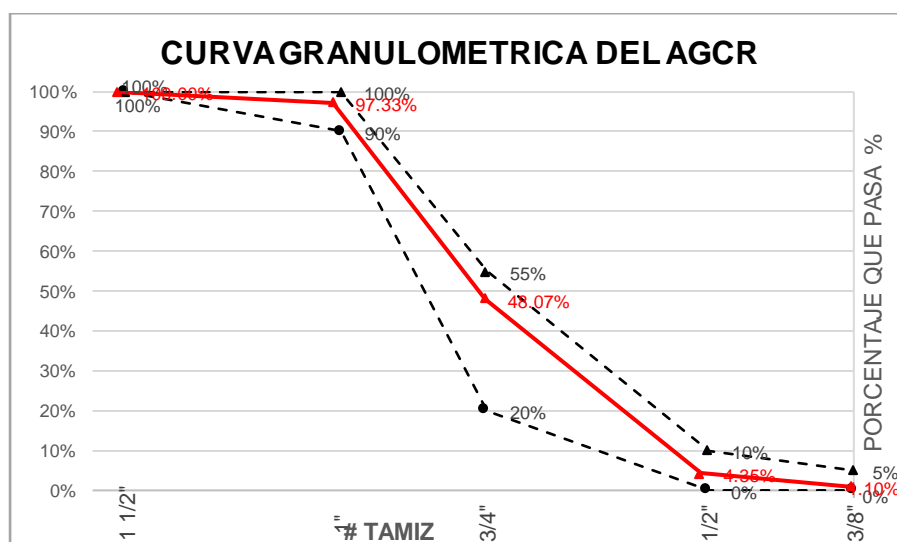


Figura 6*Cribado del AGCR***4.5.2.3. Granulometría del Agregado Fino Natural**

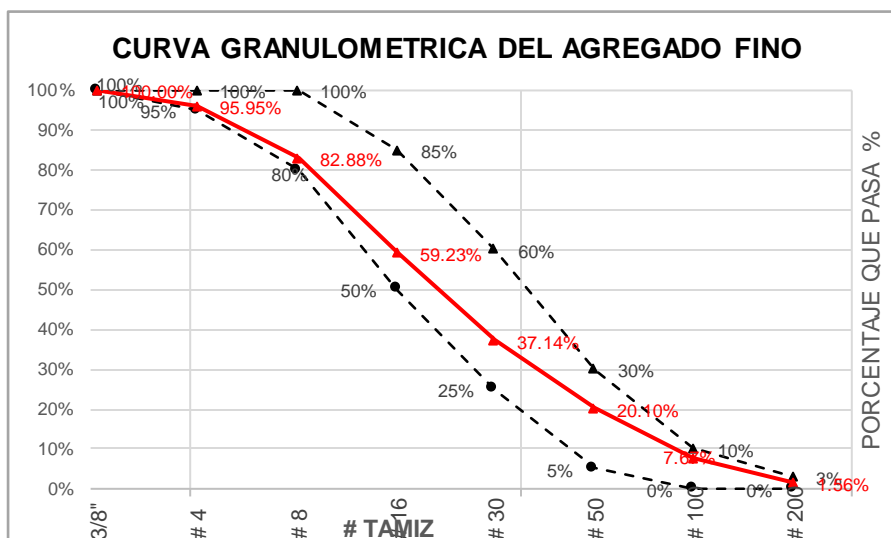
El ensayo muestra:

- Módulo de fineza = 2.97

La *tabla 14*, la *figura 7* y *figura 8* muestran el ensayo de granulometría del agregado fino virgen.

Tabla 14*Granulometría del agregado fino*

Tamiz	Abertura. (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	9.5	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	57	4.05	4.05	95.95
8	2.36	184	13.07	17.12	82.88
16	1.18	333	23.65	40.77	59.23
30	0.6	311	22.09	62.86	37.14
50	0.3	240	17.05	79.90	20.10
100	0.15	175	12.43	92.33	7.67
200	0.075	86	6.11	98.44	1.56
<N°200		22	1.56	100.00	0.00
Total		1408	100.00		

Figura 7*Curva granulométrica del agregado fino***Figura 8***Cribado del Agregado fino*

4.5.3. Contenido de Humedad de AN y AGCR

El ensayo evalúa el contenido de humedad tanto del árido natural como del árido grueso de concreto reciclado (AGCR), de acuerdo con la NTP 339.185. Antes que nada, se pesa la muestra del material en su estado natural, se coloca la muestra en un horno durante 24 horas, para eliminar la humedad presente, se anota el peso de la muestra seca, se calcula el porcentaje de humedad del material.

Para el contenido de humedad del árido grueso natural, el análisis muestra un % de Humedad = 0.18. La *tabla 15* y la *figura 9* presentan el ensayo del contenido de humedad del árido grueso natural.

Tabla 15*Contenido de humedad del AGN*

Parámetro	M-1	M-2
Peso del tarro	487	493
P. Tarro + Muestra húmeda	3525	3591
P. Tarro + Muestra seca	3519	3586
% de Humedad	0.20	0.16
% de Humedad:	0.18	

Figura 9*Cuarteo de agregados antes del ensayo*

Para el contenido de humedad del árido grueso de concreto reciclado (AGCR), la prueba presenta un % de Humedad = 0.94. La tabla 16 y la figura 10 muestran el ensayo del contenido de humedad del árido grueso de concreto reciclado.

Tabla 16*Contenido de humedad del AGCR*

Parámetro	M-1	M-2
Peso del tarro	481	497
P. Tarro + Muestra húmeda	3674	3520
P. Tarro + Muestra seca	3645	3491
% de Humedad	0.92	0.97
% de Humedad:	0.94	

Figura 10*Pesaje del AGCR luego de eliminado la humedad*

En cuanto al contenido de humedad del árido fino natural, la prueba muestra un % de Humedad = 6.16. La *tabla 17* y la *figura 11* presentan el ensayo del contenido de humedad del árido fino.

Tabla 17*Contenido de humedad del agregado fino*

Parámetro	M-1	M-2
Peso del tarro	475	483
P. Tarro + Muestra húmeda	981	994
P. Tarro + Muestra seca	952	964
% de Humedad	6.08	6.24
% de Humedad:		6.16

Figura 11*Agregado fino en el horno para evaporar la humedad*

4.5.4. Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción de AN y AGCR

La densidad relativa sirve para medir el volumen ocupado por el árido en el concreto, y la absorción mide la capacidad que tiene un árido para retener agua en sus poros. Se

determina de acuerdo con la NTP 400.021 para árido grueso, y la NTP 400.022 para árido fino. Antes que nada, se elige una muestra de árido. Primero, para el árido grueso (retenido y por encima del tamiz N° 4), se lava, luego se seca en el horno hasta alcanzar una masa constante; para el agregado fino, se seca en el horno hasta alcanzar una masa constante.

Segundo, para el agregado grueso, se hunde el material en líquido durante 24 ± 4 horas, luego, se saca del agua y se seca en un paño para eliminar el agua de la superficie del agregado, se anota el peso; para el agregado fino, se hunde el material en líquido durante 24 ± 4 horas; posteriormente, se retira el agua superficial de las partículas mediante la prueba de humedad superficial (molde cónico y su pistón), se pesa 500 g y se registra. Tercero, para el agregado grueso, se coloca en una canastilla que, a su vez, se sumerge en un recipiente mayor que contiene agua, en esa condición se anota el peso; para el agregado fino, se utiliza el método gravimétrico, obteniendo así la variable: peso + probeta + peso agregado + peso agua sobrante. Cuarto, para el agregado grueso, se lleva al horno durante 24 ± 4 horas, luego se enfría, se pesa y se registra; para el agregado fino, se retira de la probeta, se lleva al horno durante 24 ± 4 horas, se enfría y se pesa.

Para el árido grueso virgen, el ensayo muestra un peso específico = 2.69 g/cm³ y un % de absorción = 0.59. La *tabla 18* y la *figura 12* presentan el ensayo del peso específico y el porcentaje de absorción del árido grueso natural (AGN).

Tabla 18

Peso específico y absorción del AGN

Parámetro	M-1
P. material saturado superficialmente seco (SSS)	3050.00
P. material SSS sumergida al agua	1903.00
P. material seco al horno	3032.00
Peso específico (g/cm ³)	2.69
% de absorción	0.59

Figura 12

Peso del agregado grueso SSS sumergido al agua



En el caso del árido grueso de concreto reciclado (AGCR), el ensayo muestra un peso específico = 2.60 g/cm³ y un % de absorción = 7.53. La **tabla 19** muestra el ensayo del peso específico y el porcentaje de absorción del árido grueso de concreto reciclado.

Tabla 19

Peso específico y absorción del AGCR

Parámetro	M-1
P. material saturado superficialmente seco (SSS)	3000.00
P. material SSS sumergida al agua	1716.00
P. material seco al horno	2790.00
Peso específico (g/cm ³)	2.60
% de absorción	7.53

En el caso del árido fino virgen, la prueba muestra un peso específico = 2.82 g/cm³ y un % de absorción = 3.73. La tabla 20 y la figura 13 presentan el ensayo del peso específico y el porcentaje de absorción del árido fino.

Tabla 20

Peso específico y absorción del agregado fino

Parámetro	M-1
P. material saturado superficialmente seco (SSS)	500.00
P. Probeta + Agua	1397.00
P. Probeta + Material SSS + Agua'	1708.00
P. material seco al horno	482.00
Peso específico (g/cm ³)	2.82
% de absorción	3.73

Figura 13*Agregado fino SSS sumergido al agua*

4.5.5. Densidad de Masa (Peso Unitario) Suelto y Compactado de AN y AGCR

Sirve para conocer la densidad del árido seco, en estado suelto como compactado, además sirve para saber los vacíos entre las partículas del agregado. Se determina de acuerdo con la NTP 400.017, tanto para el árido grueso como para el árido fino. Primero, se selecciona la muestra de agregado. Por un lado, en lo que refiere al peso unitario varillado, se llena con el árido el recipiente hasta un tercio de su capacidad, se apisona la capa 25 veces con una varilla metálica; Las capas segunda y tercera se someten a este procedimiento una vez más, tras el llenado, se enrasa (si se trata de agregado grueso, después de enrasar, se rellenan los espacios vacíos que quedaron colocando partículas de agregado con los dedos) y se pesa el recipiente con su contenido. Por otro lado, en lo que refiere al peso unitario suelto, se ocupa el recipiente hasta su capacidad, soltando el árido a una altura no superior a 50 mm por encima del borde superior del recipiente, se enrasa (si se trata de agregado grueso, después de enrasar, se rellenan los espacios vacíos que quedaron colocando partículas de agregado con los dedos) y se pesa el recipiente con su contenido.

Para el agregado grueso natural, el ensayo muestra un peso unitario suelto = 1.40 g/cm³ y un peso unitario varillado = 1.59 g/cm³. La *tabla 21*, la *tabla 22* y la *figura 14* presentan la prueba del peso unitario suelto y el peso unitario varillado del árido grueso natural (AGN).

Tabla 21*Peso unitario suelto del AGN*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	8329	8372	8342
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.39	1.41	1.40
Total			1.40

Figura 14*Ensayo para el peso unitario suelto del AGN***Tabla 22***Peso unitario compactado del AGN*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	8898	8902	8901
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.59	1.60	1.59
Total			1.59

En el caso del árido grueso de concreto reciclado (AGCR), el ensayo muestra un peso unitario suelto = 1.17 g/cm³ y un peso unitario varillado = 1.36 g/cm³. La *tabla 23*, la *tabla 24* y la *figura 15* muestran el ensayo del peso unitario suelto y el peso unitario varillado del árido grueso de concreto reciclado (AGCR).

Tabla 23*Peso unitario suelto del AGCR*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	7725	7676	7647
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.18	1.16	1.15
Total			1.17

Tabla 24*Peso unitario compactado del AGCR*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	8237	8243	8239
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.36	1.36	1.36
Total			1.36

Figura 15*Enrazado luego del varillado del AGCR*

Para el agregado fino natural, el ensayo muestra un peso unitario suelto = 1.68 g/cm³ y un peso unitario varillado = 1.78 g/cm³. La **tabla 25**, la **tabla 26** y la **figura 16** presentan la prueba del peso unitario suelto y el peso unitario varillado del árido fino natural.

Tabla 25*Peso unitario suelto del agregado fino*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	9194	9116	9116
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.70	1.67	1.67
Total			1.68

Tabla 26*Peso unitario compactado del agregado fino*

Parámetro	M-1	M-2	M-3
P. material seco al horno + molde (gr)	9415	9437	9447
P. del molde (gr)	4356	4356	4356
Volumen del molde (cm ³)	2850	2850	2850
Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.78	1.78	1.79
Total			1.78

Figura 16*Varillado del agregado fino*

4.5.6. Pérdida por Abrasión de AN y AGCR

Se hace para determinar la resistencia a degradación del árido grueso, y se halla de acuerdo con la norma NTP 400.019 para áridos gruesos menores a 1 1/2". Lo primero, se lava la muestra de árido y se seca en el horno manteniendo la masa constante, luego se tamiza en la serie de mallas: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", y 3/8" (se elige la gradación tipo A), reteniendo 1250 gramos en cada tamiz, excepto en el tamiz de 1 1/2" (se registra cada retenido), se junta los contenidos individuales de los tamices, se pesa y se registra, luego se deposita el agregado en la máquina de abrasión de los ángulos, también se deposita las 12 bolas de metal y luego se enciende la máquina a 30 rpm (durante 500 vueltas), luego el agregado ya desgastado se tamiza en las mallas N°4 y N°12, el material retenido en la malla N° 4 se lava y se elimina la humedad en el horno, posteriormente estos retenidos de la malla N°4 y N° 12 se combinan, para ser pesado.

Para el agregado grueso natural, el ensayo muestra un porcentaje de abrasión = 25.42.

La **tabla 27** y la **figura 17** muestran la prueba de pérdida por abrasión del árido grueso natural.

Tabla 27

% Abrasión del AGN

Tamices		P. retenido	Nº esferas
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	12
Tipo	A		
Peso muestra seca (gr)		5000	
Peso muestra seca final (gr)		3729	
% abrasión			25.42

Figura 17

Depósito del AGN y las esferas de metal en la máquina de los ángeles



Para el árido grueso de concreto reciclado (AGCR), el ensayo muestra un porcentaje de abrasión = 32.78. La **tabla 28** y la **figura 18** muestran el ensayo de pérdida por abrasión del árido grueso de concreto reciclado (AGCR).

Tabla 28

% Abrasión del AGCR

Tamices		P. retenido	Nº esferas
1 1/2"	1"	1250	
1"	3/4"	1250	
3/4"	1/2"	1250	
1/2"	3/8"	1250	12
Tipo	A		
Peso muestra seca (gr)		5000	
Peso muestra seca final (gr)		3361	
% abrasión			32.78

Figura 18

Tamizado del material desgastado con las mallas N°4 y N°12



4.5.7. Diseño de Mezcla con AN y su Sustitución con AGCR

Se hace para conocer las proporciones adecuadas, obedeciendo a propiedades y características buscadas. En la presente, el diseño se determina de acuerdo con el ACI 211.1. La preparación es para conseguir una resistencia mecánica de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con un asentamiento de 3" a 4", utilizando árido natural fino y grueso. Posteriormente, el material pétreo granular es remplazado por el árido grueso de concreto reciclado (AGCR) en tres porcentajes diferentes, las cuales son 12%, 19% y 26% como se indica a continuación:

A. Datos del cemento

La *tabla 29* muestra los datos del cemento usado en el experimento.

Tabla 29

Información del cemento

Descripción	
Cemento	portland
Marca	Sol
Tipo	1
Peso específico	3150 kg/m ³
Peso unitario	1500 kg/m ³

B. Datos del agregado natural

La *tabla 30* presenta los datos del agregado natural, obtenido de los ensayos en laboratorio.

Tabla 30*Datos del agregado natural*

Descripción	A. fino	A. grueso
Peso específico	2820.00 kg/m ³	2690.00 kg/m ³
P.U. compactado	1781.40 kg/m ³	1594.50 kg/m ³
Contenido de humedad	6.16 %	0.18 %
Porcentaje de absorción	3.73 %	0.59 %
Módulo de fineza	2.97	6.01
Tamaño máximo nominal	-	3/4"

C. Datos para el diseño

Para escoger el asentamiento del concreto, se usa la **tabla 5**. A partir de esta información, el diseño de concreto tuvo una consistencia plástica, con un asentamiento de 4", como se presenta en la **tabla 31**.

Tabla 31*Datos para el diseño*

Descripción	
Resistencia f'c	210 kg/cm ²
Slump	4"

D. Cálculo

Para determinar la resistencia característica requerida f'_{cr} , el contenido de aire atrapado y el contenido de agua, se usan las **tabla 4**, **tabla 6** y **tabla 7**. Los valores obtenidos para la resistencia característica requerida f'_{cr} , el contenido de aire atrapado y el contenido de agua, se presenta en la **tabla 32**. Se debe notar que el factor de seguridad se considera cero, por lo que el valor de f'_{cr} es 210 kg/cm², con el objetivo de mantener la pureza del experimento.

Tabla 32*f'cr, Contenido de aire, Contenido de agua*

Descripción	
Factor de seguridad	0 kg/m ²
f'cr	210 kg/m ²
Contenido aire	2.00 %
Contenido agua	205 lt/m ³

E. Relación agua cemento A/C

Para hallar la relación agua cemento A/C, usaremos la **tabla 8**. Según dicha tabla, no se dispone de un valor para f^{cr} , por lo que se procede a interpolar, como resultado se obtiene una relación de a/c de 0.684.

250	—	0.62
210	—	A/C
200	—	0.70

$$A/C = 0.7 + \frac{(210 - 200)(0.7 - 0.62)}{(200 - 250)}$$

$$\frac{A}{C} = 0.684$$

F. Contenido de cemento

Para obtener el contenido de cemento usamos la **ecuación 1**. Como resultado se obtiene un contenido de cemento de 299.71 kg/m³.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{contenido de agua}}{A/C}$$

$$\text{Cemento} = \frac{205}{0.684}$$

$$\text{Cemento} = 299.71 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Factor cemento} = \frac{299.71}{42.5}$$

$$\text{Factor cemento} = 8 \text{ bls}$$

G. Contenido de agregado grueso

A fin de obtener el contenido de árido grueso, se utiliza la **tabla 9**. Con base en esta tabla, se determina el volumen del árido grueso seco y compactado, este dato ayuda a determinar el peso del árido grueso, el cual se presenta en la **tabla 33**.

Tabla 33*Peso del agregado grueso*

Descripción	
T.M.N. agregado grueso	3/4"
M.F. agregado fino	2.97
P.U. compactado grueso	1594.50 kg/m ³
V. agregado grueso seco y compactado	0.60 m ³
P. agregado grueso	956.70 kg

Como aclaración, el peso del árido grueso, se calcula con ayuda de la **ecuación 2**.

$$P. \text{ agregado grueso} = V. \text{ AG seco y compactado} \times P. \text{ U. compactado}$$

$$P. \text{ agregado grueso} = 0.60 \times 1594.50$$

$$P. \text{ agregado grueso} = 956.70 \text{ kg}$$

H. Contenido de agregado fino

Para hallar el contenido de agregado fino, se procede por el método de volumen absoluto, de la siguiente manera: se determina los volúmenes de los elementos constitutivos del concreto, con la **ecuación 3**. Luego, se halla el volumen del árido fino con la **ecuación 4**. Posteriormente, se obtiene el peso seco del agregado fino con la **ecuación 5**. Como resultado, el peso del árido fino se presenta en la **tabla 34**.

Tabla 34*Peso del agregado fino*

Descripción	Peso seco	Peso específico	Volumen
Cemento	299.71 kg/m ³	3150kg/m ³	0.10 m ³
Agua	205 kg/m ³	1000kg/m ³	0.21 m ³
Aire	2.00 %		0.02 m ³
Agregado grueso	956.70 kg	2690.00kg/m ³	0.36 m ³
Sub total			0.68 m ³
Agregado fino		2820.00kg/m ³	0.32 m ³
Agregado fino	914.25 kg		

I. Ajuste por humedad de los agregados

En lo referente al ajuste por humedad de los áridos, procedemos de la manera siguiente: Se determina el peso húmedo del árido fino y del árido granular con la **ecuación 6**. Luego, se hallamos el agua que aportan los agregados a la mezcla con la **ecuación 7**. Después,

se halla el agua efectiva en la mezcla con la *ecuación 8*. Como resultado, se halla el agua efectiva en la composición del concreto fresco, la que se presenta en la *tabla 35*.

Tabla 35

Agua efectiva en la mezcla de concreto

Descripción	Agua	Agregado grueso	Agregado fino	Mezcla
Peso seco	205 kg/m ³	956.70 kg	914.25 kg	
Cont. humedad		0.18 %	6.16 %	
% absorción		0.59 %	3.73 %	
P. húmedo de agregado		958.42 kg	970.56 kg	
Agua en agregado		-3.96 kg	22.16 kg	
Agua efectiva				186.80 lt/m ³

J. Dosificación de proporciones en peso

Según los datos previamente obtenidos, las proporciones en peso utilizadas para la dosificación de un metro cúbico de mezcla cementicia fresca se presentan en la *tabla 36*.

Tabla 36

Dosificación de proporciones en peso

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	299.71	kg/m ³
Agregado fino	970.56	kg/m ³
Agregado grueso	958.42	kg/m ³
Agua efectiva	186.80	lt/m ³

K. Cantidad de material en peso, para 84 cilindros

La proporción de materiales, en peso, necesarios para un grupo de 21 cilindros de concreto, se halla de la siguiente manera: Se calcula el Volumen del molde cilíndrico, con la *ecuación 9*, donde el molde del cilindro tiene dimensiones de altura = 0.30 m., diámetro = 0.15 m. Luego, se halla el volumen total, para un grupo muestral, en este caso multiplicándolo por 21 cilindros. Después, se determina la cantidad de cada insumo, necesario para cada grupo muestral, a partir de la regla de tres simple, usando la *ecuación 10*. Luego, se determina los pesos de los AGCR respecto del AGN (según cantidad de sustitución), con la *ecuación 11*. Como resultado, la proporción de componentes en peso para los grupos de cilindros de concreto, se presenta en la *tabla 37*.

Tabla 37*Cantidad de materiales en peso para cilindros*

Descripción	Und.	Molde cilíndrico	Insumos para cada grupo de sustituciones diferentes			
			Con A.N.	Con A.G.C.R al 12%	Con A.G.C.R al 19%	Con A.G.C.R al 26%
Volumen	m3	0.0053				
Cantidad	und	21				
Volumen Total	m3	0.1113				
Volumen Total + 1%	m3	0.1124				
Cemento	kg		33.69	33.69	33.69	33.69
Agregado fino	kg		109.10	109.10	109.10	109.10
Agregado grueso	kg		107.74	94.81	87.27	79.73
A.G.C.R.	kg		-	12.93	20.47	28.01
Agua efectiva	lt		21.00	21.00	21.00	21.00

L. Cantidad de material en peso, para 84 prismas

La proporción de materiales, en peso, necesarios para un grupo de 21 prismas de concreto, se halla de la siguiente manera: Se calcula el Volumen del molde prismático, con la **ecuación 12**, donde el molde del prisma tiene dimensiones de altura = 0.15 m., base = 0.15 m., longitud = 0.50 m. Luego, se halla el volumen total, para un grupo muestral, en este caso multiplicándolo por 21 prismas. Después, se determina la cantidad de cada insumo, necesario para cada grupo muestral, a partir de la regla de tres simple, usando la **ecuación 10**. Luego, se determina los pesos de los AGCR respecto del AGN (según cantidad de sustitución), con la **ecuación 11**. Como resultado, la proporción de componentes en peso para los grupos de prismas de concreto, se presentan en la **tabla 38**.

Tabla 38*Cantidad de materiales en peso para prismas*

Descripción	Und.	Molde prismático	Insumos para cada grupo de sustituciones diferentes			
			Con A.N.	Con A.G.C.R al 12%	Con A.G.C.R al 19%	Con A.G.C.R al 26%
Volumen	m3	0.01125				
Cantidad	und.	21				
Volumen Total	m3	0.2363				
Volumen Total + 1%	m3	0.2386				
Cemento	kg		71.51	71.51	71.51	71.51
Agregado fino	kg		231.59	231.59	231.59	231.59
Agregado grueso	kg		228.69	201.25	185.24	169.23
A.G.C.R.	kg		-	27.44	43.45	59.46
Agua efectiva	lt		44.57	44.57	44.57	44.57

M. Cantidad de material en peso, para medir la consistencia

La cantidad de materiales, en peso, necesarios para un grupo de 01 cono truncado de concreto fresco, se halla de la siguiente manera: Se calcula el Volumen del molde cónico truncado, con la *ecuación 13*, donde el molde del cono truncado tiene dimensiones de altura = 0.30 m., diámetro mayor = 0.20 m., diámetro menor = 0.10 m. Luego, se halla el volumen total, para un grupo muestral, en este caso multiplicándolo por 1 cono truncado. Después, se determina la cantidad de cada insumo, necesario para cada grupo muestral, a partir de la regla de tres simple, usando la *ecuación 10*. Luego, se determina los pesos de los AGCR respecto del AGN (según cantidad de sustitución), con la *ecuación 11*. Por consiguiente, la proporción de componentes en peso para los grupos de cono truncado de concreto fresco, se presentan en la **tabla 39**.

Tabla 39*Cantidad de materiales en peso para los conos truncados*

Descripción	Und.	Molde Cónico	Insumos para cada grupo de sustituciones diferentes			
			Con A.N.	Con A.G.C.R al 12%	Con A.G.C.R al 19%	Con A.G.C.R al 26%
Volumen	m3	0.0055				
Cantidad	und.	1				
Volumen Total	m3	0.0055				
Volumen Total + 1%	m3	0.0056				
Cemento	kg		1.66	1.66	1.66	1.66
Agregado fino	kg		5.39	5.39	5.39	5.39
Agregado grueso	kg		5.32	4.68	4.31	3.94
A.G.C.R.	kg		-	0.64	1.01	1.38
Agua efectiva	lt		1.04	1.04	1.04	1.04

N. Trabajabilidad (asentamiento)

Se hace para determinar la consistencia del concreto fresco, se lleva a cabo después de elaborar la combinación de cada concreto, en la presente se establece con las directrices de la norma NTP 339.035. Primero, se toma la muestra de concreto. Una vez humedecido el molde, con la cuchara, se llena en tres capas, cada capa se compacta 25 veces con la varilla de metal. A continuación, se enraza y se retira el molde levantándolo. Seguidamente, el molde invertido se coloca junto al concreto en ensayo, y se toma la medida de la altura del revenimiento respecto de la altura del molde (el tiempo transcurrido desde el inicio del llenado del molde hasta su retiro no exceda los 2.5 minutos). El ensayo de asentamiento para los concretos, se presenta en la **tabla 40**.

Tabla 40*Asentamiento de cada concreto*

Tipo de mezcla de concreto	Asentamiento (mm)
concreto con AN	101
concreto con AGCR 12%	93
concreto con AGCR 19%	85
concreto con AGCR 26%	72

O. Elaboración del espécimen cilíndrico y su resistencia a compresión

Se elaboran 21 cilindros de concreto con árido virgen y 63 cilindros de concreto con agregado grueso de concreto reciclado (AGCR), distribuidos en sus diferentes proporciones de sustitución (12%, 19% y 26%); estas sustituciones se hacen respecto del árido grueso natural (medida en peso), la elaboración de los especímenes se hace siguiendo las directrices de la NTP 339.183. Los ensayos de resistencia a compresión f'_c de los cilindros de concreto se hacen a las edades de 7, 14 y 28 días, de acuerdo con la NTP 339.034.

Antes que nada, se aplica una capa de desmoldante a los cilindros. Seguidamente, se toma la muestra de concreto, para ser llenado en el molde en tres estratos de concreto. Cada estrato, varillar 25 veces (varilla de 5/8") distribuido en la sección. En cada estrato, golpear con el mazo de material flexible 10 - 15 veces el lado lateral del molde. Luego, se enraza y se le da una superficie lisa con una plancha. Para el curado inicial, los especímenes se trasladan a un ambiente adecuado, cubriéndolo con algún material no absorbente, la idea es mantener la humedad y la temperatura de 16°C – 27°C. Posteriormente, desmoldar los especímenes después de 24 ± 8 h. Para el curado final, se traslada a una poza de curado que esté a temperatura de 21°C – 25°C, dejarlo ahí para la edad de ensayo que corresponda.

Al alcanzar la edad requerida, se retira el espécimen de la poza de curado y se ensaya tan pronto, la idea es que no pierda humedad. Luego, se mide dos diámetros en ángulo ortogonales ubicados cerca de la altura media del cilindro, también se mide la altura del cilindro. Verificar que la perpendicularidad de cada base del cilindro no sea mayor a 0.5°. Se comprueba que las bases del cilindro sean planas dentro de un margen de 0.05mm, si no es así, entonces se cepillan. Seguidamente, se coloca el espécimen en la máquina de compresión; colocando los extremos del cilindro el bloque de apoyo inferior y superior, más el neopreno, asegurándose que esté centrado. A continuación, se administra la carga en forma constante y sin impacto hasta que ocurra la rotura del espécimen, se registra la carga como también el tipo

de fractura. El ensayo mecánico de esfuerzo a la compresión f'_c para los concretos, se muestra en la *tabla 41*, *figura 19*, *figura 20* y *figura 21*.

Tabla 41

Resistencia a compresión de los diferentes concretos

Edad (Días)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)			
	Cilindro con AN	Cilindro con AGCR al 12%	Cilindro con AGCR al 19%	Cilindro con AGCR al 26%
7	161.41	152.68	148.57	142.71
7	156.81	152.17	148.04	134.73
7	157.17	151.61	151.73	144.34
7	159.65	150.44	149.62	139.68
7	155.43	153.24	147.07	136.69
7	157.25	153.08	150.75	145.58
7	162.86	152.33	149.39	140.34
14	182.41	181.71	161.18	170.10
14	186.29	173.84	173.37	162.76
14	193.74	182.45	185.13	169.54
14	180.67	179.70	159.27	171.29
14	185.74	175.64	175.36	167.56
14	195.02	182.18	184.08	166.77
14	183.67	180.73	174.79	164.22
28	206.73	214.41	200.45	209.00
28	216.71	206.73	214.41	195.54
28	212.99	209.95	205.93	204.53
28	215.15	207.62	213.79	213.56
28	206.86	213.68	199.62	196.71
28	210.85	215.37	211.13	200.11
28	217.28	209.27	203.67	212.49

Figura 19*Varillado del concreto en el molde cilíndrico***Figura 20***Acabado liso e identificación del cilindro***Figura 21***Cilindros de concreto con AN y con AGCR****P. Elaboración del espécimen prismático y su resistencia a flexión***

Se elaboran 21 prismas de concreto con árido virgen y 63 prismas de concreto con árido granular de concreto reciclado (AGCR), distribuidos en sus diferentes proporciones de sustitución (12%, 19% y 26%); estas sustituciones se hacen respecto del árido grueso natural

(medida en peso), la elaboración de los especímenes se hace siguiendo los lineamientos de la NTP 339.183. Los ensayos de resistencia a flexión o módulo de rotura de los prismas de concreto se hacen a las edades de 7,14 y 28 días y de acuerdo con la NTP 339.078.

Antes que nada, se aplica una capa de desmoldante al interior del molde. A continuación, se toma la muestra de concreto, para ser llenado el molde en dos capas (molde de 15cm x 15cm x 50 cm). Cada capa se varilla 54 veces, distribuido en la sección. En cada estrato, golpear con el mazo de material flexible 10 - 15 veces los lados laterales del molde. Seguidamente, se enrasa el concreto y se le da una superficie lisa con una plancha. Para el curado inicial, los especímenes se trasladan a un ambiente adecuado, cubriéndolo con algún material no absorbente, la idea es mantener la humedad y la temperatura de 16°C - 27°C. Luego, desmoldar los especímenes después de 24 ± 8 h. Para el curado final, los prismas se trasladan a una poza de curado que esté a temperatura de 21°C - 25°C, dejarlo ahí para la edad de ensayo que corresponda.

Al alcanzar la edad requerida, se retira el espécimen de la poza de curado, y se ensaya tan pronto, la idea es que no pierda humedad. Seguidamente, la viga se centra sobre los bloques de carga, dejando una luz libre de 45 centímetros. Encima de la viga, se coloca los otros bloques de carga a los tercios de la luz libre. Verificar con un medidor de espesor tipo lámina si hay algún espacio entre cada bloque de carga y la superficie de contacto del prisma; si los espacios son menores a 0.40 mm, entonces se compensan usando cuñas de cuero (espesor 6 mm, ancho mínimo 25 mm, largo 150 mm), si los espacios son mayores o iguales a 0.40 mm, entonces se eliminan únicamente por refrentado o esmerilado. Seguidamente, se administra la carga a la viga de forma constante sin impactos a velocidad constante hasta que se produzca la falla. Luego del ensayo, para saber las dimensiones de la sección transversal de la viga, tomar medidas en una de las secciones fracturadas; para la altura y el ancho de la sección transversal, realizar mediciones en cada borde y en el centro de esa sección (esto nos

ayuda a definir el ancho y la altura media de la sección). Verificar si la ruptura se produce dentro del tercio medio de la luz, o fuera de este (esto determina que fórmula corresponde usar para el módulo de rotura). El ensayo de módulo de rotura para los concretos, se muestra en la *tabla 42, figura 22 y figura 23*.

Tabla 42

Módulo de rotura de los diferentes concretos

Edad (Días)	Módulo de rotura (kg/cm ²)			
	Prisma con AN	Prisma con AGCR al 12%	Prisma con AGCR al 19%	prisma con AGCR al 26%
7	25.90	21.16	20.12	15.31
7	25.04	22.25	19.39	16.64
7	23.52	20.45	20.29	18.67
7	26.99	19.85	22.22	13.28
7	24.91	23.77	17.42	14.63
7	22.47	19.58	21.27	20.54
7	25.28	22.22	18.77	19.12
14	28.71	26.18	23.16	19.74
14	27.26	27.40	24.21	20.17
14	28.20	25.57	23.51	20.48
14	29.72	23.45	21.15	17.60
14	25.50	29.65	26.53	21.18
14	30.59	24.57	22.37	19.56
14	26.43	28.16	24.67	22.31
28	34.96	31.21	29.65	24.75
28	32.63	30.31	25.68	22.47
28	33.23	30.09	27.94	23.05
28	35.64	33.59	30.76	26.79
28	29.51	32.78	24.85	20.52
28	30.38	29.31	26.83	21.10
28	34.57	27.89	28.80	25.17

Figura 22*Varillado del concreto y enrazado en el molde prismático***Figura 23***Vigas de concreto con AN y con AGCR*

4.6. Análisis de datos

Los datos obtenidos durante el progreso del estudio fueron tratados empleando herramientas informáticas como Microsoft Excel para la organización preliminar de los datos, y IBM SPSS Statistics V29 para realizar el análisis estadístico. Dado que el estudio es de tipo experimental, primero se procedió a comprobar la normalidad de los datos utilizando la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, la cual permite validar si los datos siguen una distribución normal. Posteriormente, para comparar las medias de los grupos, se aplicó la prueba ANOVA (Análisis de Varianza), que permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales. Seguidamente, se procedió con la prueba Post hoc de Tukey, el cual permite identificar específicamente qué grupos

presentaban diferencias significativas entre sí. Los resultados fueron presentados en forma de cuadros y gráficos, que permitan lograr los objetivos de la investigación.

4.7. Consideraciones Éticas

Los participantes en esta investigación han demostrado un firme compromiso con el estudio, reflejando su dedicación a través de rigurosos ensayos y cálculos. Además, se ha cumplido con las normativas establecidas, lo que se evidencia en la autenticidad y confiabilidad de los resultados obtenidos. Asimismo, se respeta las normas técnicas nacionales NTP, incluyendo el método ACI 211.1 para la elaboración del concreto fresco, como base para la validación de los procedimientos experimentales. La recopilación de datos y la ejecución de las pruebas estuvo bajo la tutela de profesionales idóneos, asegurando un manejo ético y técnico adecuado de cada etapa del proceso investigativo. La autenticidad y fiabilidad de los resultados están respaldadas por la supervisión continua de los maestros de la facultad comprometidos con la ética y la ciencia.

V. Resultado y Discusiones

5.1. Resultados

5.1.1. Resistencia a esfuerzos de compresión del concreto

Con lo que refiere a la determinación de la resistencia a la compresión f'_c del concreto, se llevaron a cabo pruebas a las edades de 7, 14 y 28 días. Se probaron muestras correspondientes a cada etapa de maduración y tipo de mezcla cementicia. Se debe tener en cuenta que el concreto tiene un diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con un $f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia característica requerida). Con base en la *tabla 41*, se determinó el promedio de resistencia a compresión (f'_c), presentado en la *tabla 43*, *figura 25* y *figura 26*.

Tabla 43

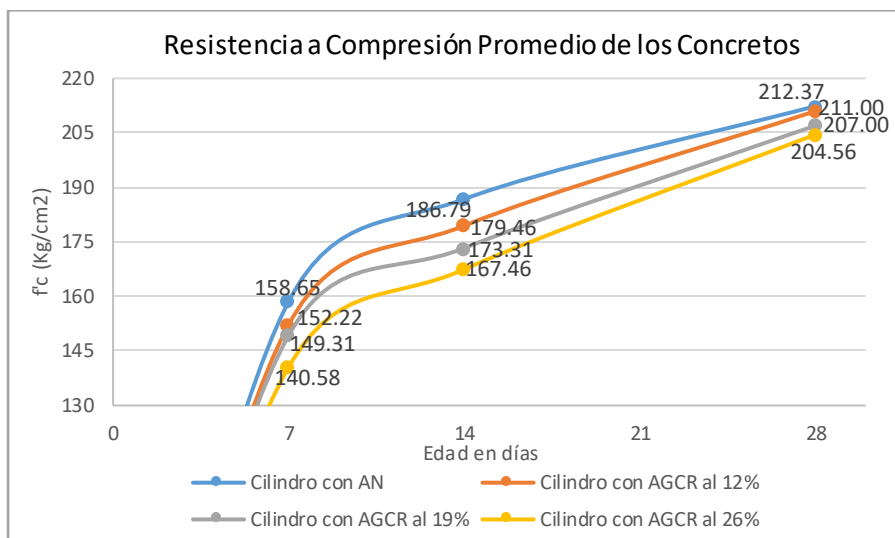
Resistencia promedio a compresión

Edad (días)	Resistencia promedio a compresión (kg/cm ²)			
	Cilindro con AN	Cilindro con AGCR al 12%	Cilindro con AGCR al 19%	Cilindro con AGCR al 26%
7	158.65	152.22	149.31	140.58
14	186.79	179.46	173.31	167.46
28	212.37	211.00	207.00	204.56

Los resultados indican una diferencia en el rendimiento de las mezclas cementicias con AGCR. Como se puede apreciar; el concreto con AN alcanza un esfuerzo f'_c de 212.37 kg/cm², logrando el 1.13% más del f'_c a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 12% logra un esfuerzo f'_c de 211.00 kg/cm², logrando el 0.48% más del f'_c a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 19% logra un esfuerzo f'_c de 207.00 kg/cm², logrando el 98.57% del f'_c a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 26% alcanza una resistencia f'_c de 204.56 kg/cm², logrando el 97.41% del f'_c a los 28 días.

Figura 24

Resistencia a compresión promedio de los concretos



La **figura 24** presenta una comparación de la resistencia $f'c$ promedio lograda a las edades de 7, 14 y 28 días, considerando como base al valor del $f'c$ (resistencia característica). Se puede deducir que, la presencia de AGCR en diferentes porcentajes tiene un hallazgo variado en el esfuerzo $f'c$ del hormigón (concreto). El concreto con AGCR al 12%, el concreto con AGCR al 19%, el concreto con AGCR al 26%, presentan respectivamente un decrecimiento en el esfuerzo $f'c$ en contraposición con el concreto con AN. Esto demuestra que a mayor sustitución con AGCR, van disminuyendo su resistencia, sin embargo, estas cantidades de sustitución aun cumplen con el $f'c$ (resistencia característica).

Figura 25

Rotura de cilindros de concreto



Figura 26*Identificación del tipo de fractura***5.1.2. Resistencia a esfuerzos de flexión o Módulo de rotura del concreto**

Con lo que refiere a la determinación del módulo de rotura MR del concreto, se llevaron a cabo pruebas a las edades de 7, 14 y 28 días. Se probaron muestras correspondientes a cada etapa de maduración y tipo de mezcla cementicia. Se debe tener en cuenta que el concreto tiene un diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con un $f'cr = 210 \text{ kg/cm}^2$ (resistencia característica requerida). Con base en la **tabla 42**, se determinó el promedio de resistencia a flexión (MR), presentado en la **tabla 44**, **figura 28** y **figura 29**.

Tabla 44*Módulo de rotura promedio*

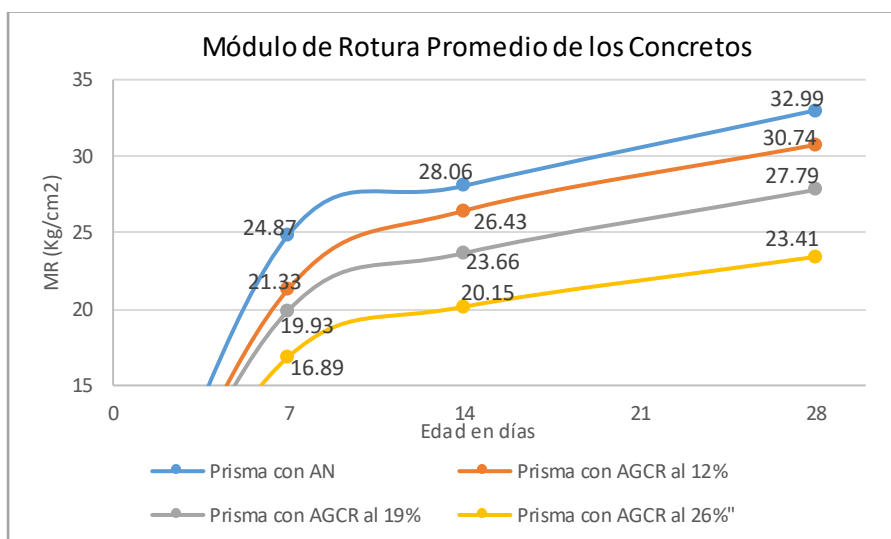
Edad (Días)	Módulo de rotura promedio (kg/cm ²)			
	Prisma con AN	Prisma con AGCR al 12%	Prisma con AGCR al 19%	Prisma con AGCR al 26%
7	24.87	21.33	19.93	16.89
14	28.06	26.43	23.66	20.15
28	32.99	30.74	27.79	23.41

Los resultados indican una diferencia en el rendimiento de las mezclas cementicias con árido granular de concreto reciclado (AGCR). Como se puede apreciar; el concreto con agregado natural (AN) alcanza una flexión (MR) de 32.99 kg/cm², logrando el 15.71% del $f'c$ a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 12% alcanza una resistencia a la flexión (MR) de 30.74 kg/cm², logrando el 93.18% del hormigón (concreto) con agregado

natural (AN) a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 19% alcanza una flexión (MR) de 27.79 kg/cm², logrando el 84.24% del hormigón (concreto) con agregado natural (AN) a los 28 días. El hormigón (concreto) con AGCR al 26% alcanza una flexión (MR) de 23.41 kg/cm², logrando el 70.96% del hormigón (concreto) con agregado natural (AN) a los 28 días.

Figura 27

Módulo de rotura promedio de los concretos



La **figura 27** muestra una comparación del módulo de rotura MR promedio lograda a las edades de 7, 14 y 28 días, considerando como punto referencial a la flexión (MR) del hormigón (concreto) con agregado natural (AN). Se puede deducir que, la presencia de árido granular de concreto ya usado o AGCR en diferentes porcentajes tiene un hallazgo variado en la resistencia a flexión (MR) del hormigón (concreto). El concreto con AGCR al 12%, el concreto con AGCR al 19%, el concreto con AGCR al 26%, presentan respectivamente una disminución en la resistencia a flexión (MR) en comparación con el hormigón (concreto) con AN. Esto demuestra que a mayor sustitución con AGCR, van disminuyendo su módulo de rotura, sin embargo, con estas cantidades de sustitución, los módulos de rotura que nos arroja los ensayos están dentro de lo recomendado por el ACI 363; $0.13f'c \leq MR \leq 0.22f'c$ (es decir, $MR = k\sqrt{f'c}$, $1.99 \leq k \leq 3.18$, para concreto con $f'c = 210$ kg/cm²).

Figura 28

Resistencia a flexión de los prismas

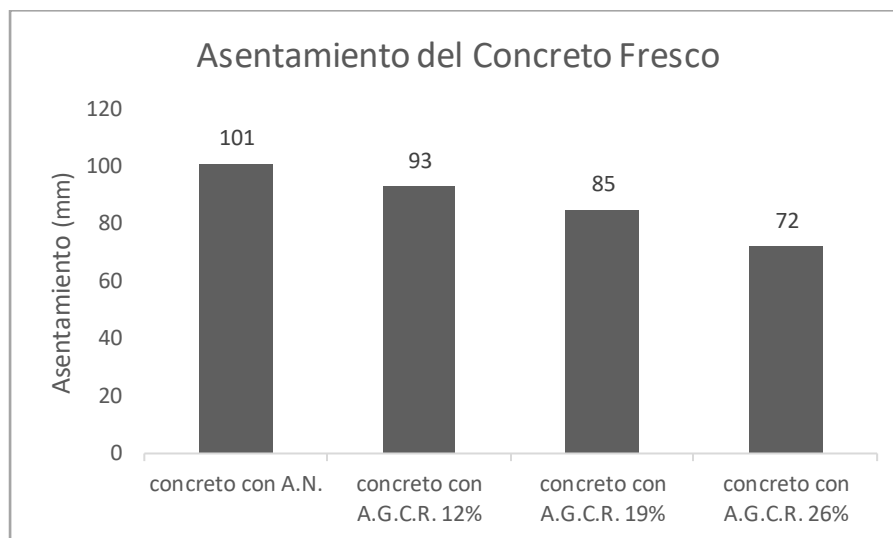
**Figura 29**

Ubicación de lugar de falla



5.1.3. Trabajabilidad o consistencia del concreto

Con lo que refiere a la determinación del revenimiento del hormigón (concreto), se llevaron a cabo pruebas de revenimiento en las mezclas de concreto fresco con sustituciones diferentes. Con base en la **tabla 40**, los resultados obtenidos se presentan o se muestran en la **figura 30** y **figura 31**.

Figura 30*Asentamiento del concreto fresco*

La **figura 30** muestra que, con el remplazo gradual de la cantidad de árido granular de concreto ya usado (AGCR) en el concreto fresco, se registra una disminución en el asentamiento; partiendo de una mezcla con agregado natural (AN) de asentamiento 101 mm, lo que indica una consistencia plástica; alcanza un menor valor en el hormigón (concreto) con AGCR al 26%, con un asentamiento de 72 mm, lo que indica que esa mezcla es de consistencia casi seco o semi plástica. Es decir, a mayor remplazo del árido virgen (AN) con AGCR produce un mayor impacto en la disminución del revenimiento del hormigón (concreto) fresco. Esto significa que; los concretos frescos con mayores cantidades de agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) son menos plásticos llegando a ser mezclas de consistencia seca, lo que puede entorpecer el trabajo de manipulación y vertido del concreto fresco en campo.

Figura 31*Ensayo de asentamiento de los concretos*

5.2. Comprobación de hipótesis

Para llegar a la comprobación de hipótesis se procede de la siguiente manera: Comprobación de distribución normal; partiendo de los hallazgos de los ensayos de esfuerzo mecánico $f'c$ del concreto y/o del ensayo de la resistencia a flexión (MR) del hormigón (concreto) a los 28 días; se busca saber si los datos son paramétricos o no. En la presente se usa el test de Shapiro-Wilk. Comprobación de diferencias significativas; luego de realizar la prueba de normalidad, nos lleva a usar la prueba ANOVA, ya que se tiene más de 2 grupos en el análisis de medias. Prueba post hoc de tukey, se realiza para identificar entre que grupos se encuentra las diferencias significativas.

Hipótesis específica 1: El agregado de concreto reciclado sí influye en la resistencia a compresión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

Para comprobar esta hipótesis se comparan los datos promedios del esfuerzo mecánico $f'c$ de cada elemento evaluado, mediante técnicas de estadística inferencial. Los datos que figuran en la **tabla 45** indican que se tomó como muestra los resultados a los 28 días de curado.

Tabla 45*Resultados de los ensayos de resistencia a compresión del concreto a los 28 días*

Tipo de concreto	Resistencia a compresión a los 28 días (kg/cm ²)						
Concreto con AN	206.73	216.71	212.99	215.15	206.86	210.85	217.28
Concreto con AGCR al 12%	214.41	206.73	209.95	207.62	213.68	215.37	209.27
Concreto con AGCR al 19%	200.45	214.41	205.93	213.79	199.62	211.13	203.67
Concreto con AGCR al 26%	209.00	195.54	204.53	213.56	196.71	200.11	212.49

Prueba de normalidad

La información fue cargada en el software SPSS v29 con el propósito de analizar su distribución, ya sea normal o no normal, y determinar la prueba estadística más apropiada para la comparación de medias (paramétrica o no paramétrica). Considerando que el tamaño de la muestra es inferior a 50, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95%. Para este análisis, se plantearon las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 : los datos presentan una distribución normal.
- H_1 : los datos no presentan una distribución normal.

En caso de que el p-valor calculado supere el umbral de 0.05, se considera válida la hipótesis nula (H_0). Los resultados generados por el análisis en SPSS están resumidos en la **tabla 46**.

Tabla 46*Prueba de normalidad de los ensayos de resistencia a compresión*

	Estadístico	gl	Sig.
concreto con A.N.	0.894	7	0.298
Concreto con A.G.C.R. al 12%	0.907	7	0.378
Concreto con A.G.C.R. al 19%	0.900	7	0.328
Concreto con A.G.C.R. al 26%	0.913	7	0.419

Los resultados muestran que, en todos los casos, el p-valor es mayor a 0,05, lo que corrobora la hipótesis de distribución normal. Esto indica que los datos son paramétricos, lo que nos permite utilizar la prueba ANOVA de una vía (al haber más de dos grupos de muestra), para evaluar si hay diferencias relevantes entre las medias de los diferentes grupos.

Prueba ANOVA

Se forman las hipótesis de investigación correspondientes:

- H_0 : no hay diferencias entre las medias obtenidas en los resultados para cada tipo de concreto.
- H_1 : existen diferencias en las medias obtenidas en los resultados de cada tipo de concreto.

En caso de que el p-valor calculado es inferior al umbral de 0.05, se considera rechazado la hipótesis nula H_0 .

Los resultados generados por el análisis en el software SPSS v29 están resumidos en la **tabla 47**.

Tabla 47

Comparación de medias de resistencia a compresión

	Suma de cuadrados	gl	Promedio de cuadrados	F	Sig
Entre grupos	271.314	3	90.438	2.928	0.054
Dentro de los grupos	741.251	24	30.885		
Total	1012.565	27			

Se obtiene un p-valor = 0.054, lo cual es mayor al nivel de significancia establecido de 0.05, en consecuencia, se acepta la hipótesis H_0 , y las medias de los grupos de estudio son similares, de esto puede inferirse que al usar AGCR, no hay diferencias en la resistencia a compresión de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Prueba post hoc de tukey

Aunado a ello, se aplica la prueba de post hoc de Tukey, con el fin de observar comparaciones por parejas entre los grupos, de los cuales los hallazgos se presentan en la **tabla 48**.

Tabla 48

Comparación múltiple. Variable dependiente: Resistencia a compresión

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Lim. Inferior	Lim. Superior
concreto con A.N.	Concreto con A.G.C.R. al 12%	1.363	2.101	0.967	-6.831	9.557
	Concreto con A.G.C.R. al 19%	5.367	2.101	0.295	-2.827	13.561
	Concreto con A.G.C.R. al 26%	7.804	2.101	0.066	-0.390	15.998

En el análisis, se contrastan simultáneamente los datos obtenidos de una muestra de concreto con agregado natural (AN) con los de otros grupos experimentales, paralelo al nivel de significancia alcanzado en cada situación. Los hallazgos indican que el p-valor en todas las situaciones supera el umbral de 0.05; lo que sugiere que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias obtenidas. Esto permite concluir que la sustitución del AGCR en los porcentajes evaluados es aceptable; además, no se encontraron diferencias entre las medias para cada grupo en la resistencia a la compresión del concreto al aplicar sustituciones de AGCR en los porcentajes del 12%, 19% y 26%, en comparación con la muestra que utilizó AN.

Hipótesis específica 2: El agregado de concreto reciclado sí influye en el módulo de rotura de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

Para comprobar esta hipótesis se comparan los valores promedios del módulo de rotura de cada elemento ensayado, mediante técnicas de estadística inferencial. Los datos que figuran en la **tabla 49** indican que se tomó como muestra los resultados a los 28 días de curado.

Tabla 49

Resultados de los ensayos de resistencia a flexión del concreto a los 28 días

Tipo de concreto	Módulo de rotura a los 28 días (kg/cm ²)							
Prisma con AN	34.96	32.63	33.23	35.64	29.51	30.38	34.57	
Prisma con AGCR al 12%	31.21	30.31	30.09	33.59	32.78	29.31	27.89	
Prisma con AGCR al 19%	29.65	25.68	27.94	30.76	24.85	26.83	28.80	
Prisma con AGCR al 26%	24.75	22.47	23.05	26.79	20.52	21.10	25.17	

Prueba de normalidad

La información fue cargada en el software SPSS v29 con el propósito de analizar su distribución, ya sea normal o no normal, y determinar la prueba estadística más apropiada para la comparación de medias (paramétrica o no paramétrica). Considerando que el tamaño de la muestra es inferior a 50, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de confianza del 95%. Para este análisis, se plantearon las siguientes hipótesis estadísticas:

- H_0 : los datos presentan una distribución normal.
- H_1 : los datos no presentan una distribución normal.

En caso de que el p-valor calculado supere el umbral de 0.05, se considera válida la hipótesis nula (H_0). Los resultados generados por el análisis en SPSS están resumidos en la *tabla 50*.

Tabla 50

Prueba de normalidad de los ensayos de resistencia a flexión

	Estadístico	gl	Sig.
Prisma con A.N.	0.924	7	0.502
Prisma con A.G.C.R. al 12%	0.974	7	0.924
Prisma con A.G.C.R. al 19%	0.975	7	0.933
Prisma con A.G.C.R. al 26%	0.962	7	0.834

Los resultados muestran que, en todos los casos, el p-valor es mayor a 0.05, lo que corrobora la hipótesis de distribución normal. Esto indica que los datos son paramétricos, lo que nos permite utilizar la prueba ANOVA de una vía (al haber más de dos grupos de muestra), para evaluar si existen diferencias relevantes entre las medias de los grupos.

Prueba ANOVA

Se forman las hipótesis de investigación correspondientes:

- H_0 : no hay diferencias entre las medias obtenidas en los resultados para cada tipo de concreto.
- H_1 : existen diferencias en las medias obtenidas en los resultados de cada tipo de concreto.

En caso de que el p-valor calculado es inferior al umbral de 0.05, se considera rechazado la hipótesis nula H_0 .

Los resultados generados por el análisis en el software SPSS v29 están resumidos en la **tabla 51**.

Tabla 51

Comparación de medias de resistencia a flexión

	Suma de cuadrados	gl	Promedio de cuadrados	F	Sig
Entre grupos	359.781	3	119.927	25.215	0.000
Dentro de los grupos	114.149	24	4.756		
Total	473.930	27			

Se obtiene un p-valor = 0.00, lo cual es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05, en consecuencia, se rechaza la hipótesis H_0 y se acepta la H_1 ; las medias de los grupos experimentales tienen diferencias, esto sugiere que al usar AGCR, tiene influencia en el módulo de rotura (MR) de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Prueba post hoc de tukey

A la vez, se aplica la evaluación de post hoc de Tukey, para ver comparaciones por parejas entre los grupos, de los cuales los hallazgos se presentan en la **tabla 52**.

Tabla 52

Comparación múltiple. Variable dependiente: Módulo de rotura

(I) Grupos	(J) Grupos	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Lim. Inferior	Lim. Superior
Prisma con A.N.	Prisma con A.G.C.R. al 12%	2.249	0.824	0.243	-0.967	5.464
	Prisma con A.G.C.R. al 19%	5.201	0.824	0.001	1.986	8.417
	Prisma con A.G.C.R. al 26%	9.581	0.824	0.000	6.366	12.797

En el análisis, se contrastan simultáneamente los datos obtenidos de una muestra de concreto con agregado natural (AN) con los de otros grupos experimentales, junto con el nivel de significancia alcanzado para cada situación. Se aprecia: El primer caso; “Prisma con AN - Prisma con AGCR al 12%”, el p-valor es mayor a 0.05, no hay diferencia significativa, por lo

que es aceptable sustituir AGCR al 12%; además, en el remplazo de AGCR al 12% no se encontraron diferencias entre las medias para cada grupo de concreto en el módulo de rotura respecto a la muestra con agregado natural. El segundo y tercer caso; “Prisma con AN - Prisma con AGCR al 19% y Prisma con AN - Prisma con AGCR al 26%”, el p-valor es menor a 0.05, sí hay diferencia significativa, por lo que no es aceptable sustituir agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) al 19% y al 26%; además, la sustitución de AGCR al 19% y al 26% influye en el módulo de rotura respecto a la muestra con agregado natural.

Hipótesis específica 3: El agregado de concreto reciclado sí influye en la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de Andahuaylas, Apurímac - 2024.

Según se detalla en la tabla 40, un aumento en el porcentaje de sustitución del árido virgen por el AGCR en el hormigón (concreto) fresco provoca una reducción progresiva en el revenimiento. Este fenómeno se refleja en una caída de 101 mm en la muestra con agregado natural (AN) a 72 mm en la muestra con un 26% de árido granular de concreto reciclado (AGCR). La reducción observada en el revenimiento señala una disminución de la fluidez y trabajabilidad de la mezcla cementicia. Los registros presentan una clara tendencia lineal decreciente, este hecho indica que, conforme se incrementa la proporción de AGCR en la mezcla cementicia, la consistencia y la manejabilidad del concreto fresco disminuyen. De este modo, la hipótesis planteada en el estudio se valida, ya que sustituir el agregado natural (AN) por AGCR influye en la trabajabilidad de un concreto fresco con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

5.3. Discusión

El presente estudio muestra resultados al sustituir el árido granular natural con el árido granular de concreto reciclado en diferentes proporciones en el concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se sometieron a ensayos con el fin de evaluar su influencia en la resistencia a compresión ($f'c$), en el módulo de rotura (MR) y en la trabajabilidad; que son características o propiedades mecánicas y físicas del concreto.

Discusión 1, En cuanto a la **resistencia a compresión**, en tanto que se aumente la proporción de sustitución con el AGCR, la resistencia a compresión del hormigón (concreto) se reduce. El concreto con AGCR al 12%, logra el 99.35% de la resistencia del concreto con agregado virgen (AN), el concreto con AGCR al 19%, logra el 97.47% de la resistencia del concreto con agregado virgen (AN), el concreto con AGCR al 26%, logra el 96.32% de la resistencia del concreto con árido virgen (AN). Como se ve, para sustituciones del 12%, 19% y 26% los resultados son similares, por lo que se afirma; no hay diferencia en la resistencia a compresión de un hormigón o concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Este resultado coincide con el reporte de Aragón et al. (2022), que señala de manera general una reducción en la resistencia del $f'c$ en tanto que se incrementa la proporción de agregado grueso reciclado, siendo los porcentajes evaluados del 15%, del 25%, del 50%, del 75% y del 100%; la menor resistencia se obtuvo con el uso del 100% de agregado reciclado, obteniendo el 82.71% de la resistencia del concreto patrón, evidenciando que el remplazo adecuado es hasta un 25%.

Contrariamente, los resultados de Pastor y Pérez (2020) difieren de la presente, donde utilizó árido de hormigón (concreto) reciclado en porcentajes del 5%, del 10% y del 15%; se observa que la mayor resistencia se alcanzó con el uso del agregado reciclado del 15%, logrando el 10.24% más que el concreto patrón. Esto indica que al usar árido de hormigón (concreto) ya usado hasta un 15% mejora la resistencia del concreto.

Discusión 2, En cuanto al **módulo de rotura**, en tanto que se aumente el porcentaje de sustitución con el AGCR, el módulo de rotura del hormigón (concreto) se reduce. El concreto con AGCR al 12%, logra el 93.18% del módulo de rotura (MR) del concreto con agregado natural (AN), el concreto con árido granular de concreto reciclado (AGCR) al 19%, logra el 84.24% del módulo de rotura (MR) del concreto con árido virgen (AN), el concreto con árido granular de concreto reciclado (AGCR) al 26%, logra el 70.96% del módulo de

rotura (MR) del concreto con árido virgen (AN). Estadísticamente; para la sustitución del 12%, no hay diferencia significativa, por lo que es aceptable sustituir AGCR al 12%; para la sustitución del 19% y 26%, sí hay diferencia significativa, por lo que no es recomendable sustituir AGCR al 19% y al 26%. Por lo que se afirma; sí hay una influencia en el módulo de rotura (MR) de un hormigón o concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Este resultado es consistente con el informe de Galván (2020), para el concreto con una preparación de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sin aditivo, señala que la resistencia a flexión (MR) disminuye al aumentar la proporción de árido granular de concreto ya usado; los porcentajes que usó fueron del 20%, del 50% y del 100%, observándose la menor flexión en el concreto con el 100% de sustitución, alcanzando el 75.46% respecto del concreto patrón, demostrando que el reemplazo adecuado es hasta un 20%.

Así mismo, concuerda con el estudio de Medina (2022), donde estudió concretos con árido granular de concreto ya usado en sustituciones del 25%, 50% y 75%; indica que la flexión se reduce con el incremento de la proporción de AGCR, la resistencia a flexión (MR) más baja se obtuvo en el hormigón (concreto) con 75% de sustitución, con un 87.98% respecto del concreto patrón; indicando que la sustitución del 25% tiene mayor similitud con la muestra patrón.

Discusión 3, En el análisis de la **trabajabilidad** del concreto, se evidencia que todos los concretos frescos experimentan una reducción en el revenimiento de la mezcla cementicia. El hormigón o concreto con agregado natural (AN) tiene un asentamiento de 101 mm; el concreto con AGCR al 12%, logra un asentamiento de 93 mm; el concreto con AGCR al 19%, logra un asentamiento de 85 mm; el concreto con AGCR al 26%, logra un asentamiento de 72 mm. Este decremento resulta ser inversamente proporcional a la sustitución de AGCR en la mezcla cementicia fresca, indicando que a mayor incremento en la proporción de AGCR,

hay una reducción en el asentamiento registrado. Por lo que se afirma; sí hay una influencia en la en la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Este hallazgo se alinea con el resultado reportado por Ramírez (2022), quien también evaluó concretos de 210 kg/cm^2 con sustituciones de árido granular de concreto (hormigón) ya usado al 30%, 50% y 100%; se observa que la trabajabilidad disminuye en tanto que aumenta el porcentaje de árido granular (grueso) reciclado, siendo que la menor trabajabilidad la tiene el concreto con un 100% de sustitución, obteniendo un asentamiento de 76 mm, sin olvidar que el concreto patrón posee 103 mm.

VI. Conclusiones

Del Objetivo General

En la presente investigación, se evidenció que hay influencia del árido de concreto reciclado en la propiedad de módulo de rotura en las sustituciones del 19% y del 26%; así mismo en la propiedad de trabajabilidad en la sustitución del 12%, del 19% y del 26%. En contraste, se determinó que no hay diferencias del árido de concreto reciclado en la propiedad de resistencia a compresión (f^c) en las sustituciones del 12%, del 19% y del 26%; así mismo en la propiedad de módulo de rotura (MR) en la sustitución del 12%.

Del Objetivo Específico 1

Se determinó que no hay diferencia del árido de concreto reciclado en la resistencia a compresión de un concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$; siendo que el concreto con AGCR al 12%, logra el 99.35% de la resistencia del concreto con agregado virgen (AN), el concreto con AGCR al 19%, logra el 97.47% de la resistencia del concreto con árido virgen (AN), el concreto con AGCR al 26%, logra el 96.32% de la resistencia del concreto con árido virgen (AN). De esto se deduce, a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución con el árido granular (grueso) de concreto reciclado (AGCR), la resistencia característica del concreto (hormigón) disminuye. Desde la inferencia, se observa que, en todos los casos, el p-valor es mayor a 0.05; no se encuentran diferencias significativas entre las medias halladas en los resultados, por lo que es aceptable remplazar AGCR en los porcentajes estudiados.

Del Objetivo Específico 2

Se determinó que hay una influencia del árido de concreto (hormigón) reciclado en el módulo de rotura (MR) de un concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$; siendo que el concreto con AGCR al 12%, logra el 93.18% del módulo de rotura (MR) del concreto con agregado natural (AN), el concreto con árido granular (grueso) de concreto reciclado (AGCR) al 19%, logra el 84.24% del módulo de rotura (MR) del concreto con agregado natural (AN), el concreto con

árido granular (grueso) de concreto reciclado (AGCR) al 26%, logra el 70.96% de la resistencia a flexión (MR) del concreto con agregado natural (AN). De esto se deduce, en tanto que se aumente el porcentaje de sustitución con el árido granular (grueso) de concreto reciclado (AGCR), el módulo de rotura del concreto (hormigón) disminuye. Desde la inferencia, se observa que, el concreto con AGCR al 12%, presenta un p-valor mayor a 0.05, es decir no hay diferencia significativa, por lo que es aceptable remplazar AGCR al 12%; el concreto con AGCR al 19% y el concreto con AGCR al 26%”, presentan un p-valor menor a 0.05, es decir sí hay diferencias significativas, por lo que no es aceptable sustituir AGCR al 19% y al 26%.

Del Objetivo Específico 3

Se determinó que hay una influencia del agregado de concreto (hormigón) reciclado en la trabajabilidad de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$; siendo que la mezcla con agregado natural (AN) tiene un asentamiento de 101 mm (consistencia plástica), la mezcla cementicia con árido granular (grueso) de concreto reciclado (AGCR) al 12% tiene un asentamiento de 93 mm (consistencia plástica), la mezcla cementicia con AGCR al 19% tiene un asentamiento de 85 mm (consistencia plástica), la mezcla cementicia con árido granular de concreto ya usado AGCR al 26% tiene un asentamiento de 72 mm (consistencia casi seca). Este decremento resulta ser inversamente proporcional a la sustitución de árido granular de concreto (hormigón) reciclado en la mezcla cementicia.

VII. Recomendaciones

Del Objetivo General

Según los hallazgos obtenidos, y en función del porcentaje de sustitución de árido granular (grueso) de concreto ya usado o AGCR, se recomienda emplear AGCR en diversas estructuras de la siguiente manera: Si se considera estructuras que estén sometidos a mayor compresión: concretos con sustitución del 12%, del 19% y del 26%, adecuados para columnas, placas y vigas; Si se considera estructuras que estén sometidos a mayor flexión: concretos con sustitución del 12%, adecuados para puentes, pavimentos rígidos y canales, concretos con sustitución del 19% y 26%, adecuados para veredas, sardineles y cunetas.

Del objetivo específico 1

En las obras que involucren elementos estructurales, si se optara por utilizar árido granular de concreto ya usado o AGCR, los resultados estadísticos sugieren, según el p-valor, es viable realizar sustituciones del 12%, del 19%, y del 26%. Por otro lado, para al alcanzar la resistencia característica deseada, se adquiera agregado grueso de concreto reciclado y/o agregado grueso natural denominados por usos y no únicamente por su granulometría, además de procurar saber el peso específico de estos.

Del objetivo específico 2

En las obras que involucren a losas, vías o esfuerzos horizontales, si se decide utilizar agregado grueso de concreto reciclado, se debe prestar especial atención a las sustituciones del 19% y 26%, ya que los resultados estadísticos, según el p-valor, indican diferencias significativas.

Del objetivo específico 3

En cada obra de construcción es imperativo, si se decidiera entre el uso de concreto con árido granular (grueso) reciclado (AGCR) o con árido virgen (AN), incorporar aditivos plastificantes en el diseño de las mezclas cementicias, para garantizar que el hormigón

(concreto) fresco mantenga una apropiada fluidez y manipulación, permitiendo su colocación adecuada en las diversas formas del encofrado.

VIII. Referencias

Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del Concreto* (2 ed.). San Marcos.

<https://es.scribd.com/doc/306087568/Tecnologia-Del-Concreto-Flavio-Abanto>

Agencia Internacional de Energía AIE, Agencia Internacional de Energías Renovables

IRENA, Organización de las Naciones Unidas ONU. (2023). *Informe Sobre la Agenda Innovadora 2023*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/d7e6b848-6e96-4c27-846e-07bd3aef5654/THEBREAKTHROUGHAGENDAREPORT2023.pdf>

Aguilar, E., Hernández, E., & Espinoza, P. (2021). Concreto reciclado a partir de escombros de mampostería de bloque de cemento. *Nexo Revista Científica*, 34(05), 7–19.

<https://doi.org/10.5377/nexo.v34i05.13099>

Anampa, M., & Bernaola, E. (2019). Influencia del material reciclado proveniente del pavimento deteriorado en el Jr. Puno y Av. Abancay de la ciudad de Abancay para la elaboración de concreto nuevo a ser reutilizado en pavimentos. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Tecnológica de los Andes., Abancay. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/212>

ANDORRA. (2021). Observatorio La Rábida de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático para Iberoamérica. *II Informe Del Observatorio La Rábida de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático Para Iberoamérica En*, 142. <https://www.segib.org/?document=ii-informe-del-observatorio-de-desarrollo-sostenible-y-cambio-climatico-para-iberoamerica-innovacion-para-el-desarrollo-sostenible-en-iberoamerica-2021%0Ahttps://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiat>

Aragón Cáceres, S. A., & Montoya Maldonado, L. R. (2022). *Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto Reciclado para Construcciones Ecoeficientes en la ciudad de Tacna, 2022 [Tesis para optar el Título Profesional de*

- Ingeniero Civil, Universidad Privada de Tacna*]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2376>
- Arequipa, A. (2020). *Características del concreto*.
<https://www.acerosarequipa.com/manuales/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra/caracteristicas-del-concreto>
- Balmaceda Castillo, H. A. (2021). Análisis de Ciclo de Vida Comparativo Entre el Uso de Concreto Convencional y Alternativas de Concreto Reciclado. (*Tesis de licenciatura*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/19561>
- Bazalar, L., & Cadenillas, M. (2019). Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280$ kg/cm² en estructuras aperticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas*, 197.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628103/Bazalar_LPL.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Becerra Duitama, J. A., Echeverría Avella, J. A., & Galvis Echeverría, P. A. (2022). Evaluación de las Propiedades Físico-Mecánicas de Adoquines de Hormigón Fabricados con Residuos de Construcción y Demolición. *Politécnica*, 18(36).
<https://doi.org/doi.org/10.33571/rpolitec.v18n36a1>
- Bidabadi, S., Akbari, M., & Panahi, O. (2020). Optimum mix design of recycled concrete based on the fresh and hardened properties of concrete. *Journal of Building Engineering*, 32(May), 101483. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101483>
- Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica*. Chiclayo, Perú.

- Bucio, R. (2023). *Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición: Influencia de los agregados reciclados en la elaboración de adoquines para su uso en pavimentos*. 145.
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000846625/3/0846625.pdf>
- Caballero, A. (2023). Desarrollo sostenible: definición, objetivos y ejemplos. *Climate CONSULTING*. <https://climate.selectra.com/es/que-es/desarrollo-sostenible>
- Carlemany, U. (2021). *5 ejemplos de desarrollo sostenible ambiental*.
<https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/5-ejemplos-de-desarrollo-sostenible-ambiental/>
- Chapia Fernandez, C. M. (2022). Evaluación del Concreto para Adoquines de Uso Peatonal Empleando Agregados Obtenidos de Residuos de Construcción y Demolición en el Distrito de José Leonardo Ortiz, departamento de Lambayeque, 2020. [*Tesis para Optar el Título profesional de Ingeniero Civil*]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo. <hdl.handle.net/20.500.12423/5745>
- Cobeñas, K., & Valenzuela, A. (2022). *Análisis Comparativo Del Efecto Del Agregado De Concreto Reciclado En La Resistencia A La Compresión Del Concreto Auto compactante, Trujillo 2022*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2024). *Panorama de los Recursos Naturales en América Latina y el Caribe*. <hdl.handle.net/11362/69138>
- CONAMA. (2024). *Agregado de Concreto Reciclado*.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-reciclados-que-y-para-que/>
- Decreto Supremo N° 001-2022 [PRODUCE]. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en

- General. *Diario Oficial El Peruano*. 21 de enero de 2022.
<https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/2713757-001-2022-produce>
- Diogo, P., de Brito, J., & Evangelista, L. (2015). Performance of Concrete Made With Aggregates Recycled From Precasting Industry Waste: Influence of The Crushing Process. *Materials and Structures*, 48, 3965-3978.
<https://doi.org/doi.org/10.1617/s11527-014-0456-7>
- Elansary, A. A., Ashmawy, M. M., & Abdalla, H. A. (2020). Efecto del Agregado Grueso Reciclado sobre las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto. *Advances in Structural Engineering*, 24(3). <https://doi.org/doi.org/10.1177/1369433220963792>
- Elizabeth Perez. (2020). Propiedades físico-mecánicas del concreto f'c 210 kg/cm² con la adición de fibras de maguey, bambú y cáñamo, Lima 2021 PEBD reciclado con un concreto tradicional, Lima Norte. *Universidad Privada Del Norte*, 0–116.
[https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27782/Perez Alarcon%2C Elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27782/Perez%20Elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fernandez, C. (2021). Análisis del diseño de mortero estructural F'c=210Kg/cm² con arena de cantera Breu y fibra de polipropileno, según N.T.P. 339.034:2015 - Ucayali. *Universidad Cesar Vallejo*, 59.
- Galvan, E. (2020). *Uso del Concreto Reciclado en la Construcción de Viviendas Básicas en la Provincia de Huancayo – 2018*. 1–20.
<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/1592>
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros Materiales para la Construcción*.
<https://es.scribd.com/doc/111693000/El-concreto-y-otros-materiales-para-la-construccion-Libro>

- Gutiérrez, M., Sánchez, A., Mungaray, A., & Salazar, C. (2020). Prospectiva de Sustentabilidad para los recursos hídricos en el noreste de México: Uso del concreto reciclado para el abastecimiento de agua con fines agrícolas. *INTERCIENCIA*, 45(8), 370-377. <https://www.redalyc.org/journal/339/33964324008/movil/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW W-HILL.
- Hurtado Principe, R. J. (2024). Influencia del uso de residuos de cáscara de arroz y vidrio en las propiedades del concreto, Av. Prolongación Naranjal, Lima, 2023. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
<https://doi.org/repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/136609>
- Ibarrias González, J. F., & Jalomo Aguirre, F. (2024). Gestión de Residuos de la Construcción y la Demolición en Brasil y México: Ideas de regulación, cambios, procesos e innovación. *Revista Tecnogestión*, 21(1), 29-53.
<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tecges/article/view/22390/20076>
- Kisku, N., Joshi, H. C., Ansari, M., Panda, S. K., Nayak, S., & Dutta, S. C. (2016). A critical review and assessment for usage of recycled aggregate. *Construction and Building Materials*, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
- Mamani, J., & Tipiana, L. (2019). Uso del concreto reciclado como agregado y su comportamiento en la resistencia, en adoquines de uso peatonal, Lima 2019. *Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Cesar Vallejo, Lima. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46518>
- Matallana Rodríguez, R. (2019). *El Concreto. Fundamentos y Nuevas Tecnologías*. Compañía Colombiana de Cerámica. <https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf>

- Medalith, C., Fernandez, C., Augusto, H., & Uceda, G. (2022). *Análisis del aprovechamiento de agregados obtenidos de residuos de construcción y demolición para la utilización en adoquines de concreto, años 2014 a 2020*. 1–24.
www.scribd.com
- Medina Lázaro, G. J., & Ramos Arana, M. P. (2021). *Análisis de las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto Adicionando Dosificaciones de Viruta de Acero Tratada con Criba Vibratoria*, Lima, 2021. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28427>
- Medina, A. (2022). *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*. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil*. Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/342>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2023). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos - I Entregable*.
cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5177859/PLANRES%20ENT1-14.09.pdf?v=1695651269
- Naciones Unidas. (2021). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. *Naciones Unidas*. <https://www.google.com/search?q=e-ISBN%3A+978-92-1-005610-6&oeq=e-ISBN%3A+978-92-1-005610-6&aqs=chrome..69i57j69i58.812j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2024, 30 de septiembre). *Resolución N° 00103-2024-OEFA/DSIS*.
cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7036844/6057224-resolucion-00103-2024-oeфа-dsis.pdf?v=1727974026

- Ortiz Rojas, A. E., & Flores Carmona, C. J. (2023). Análisis de resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² reemplazando el agregado grueso con concreto reciclado en porcentajes 10%, 15% y 25% y el agregado fino con escoria de acero y vidrio al 5%, 8% y 10%, Cajamarca, 2023. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Privada del Norte, Cajamarca. <https://hdl.handle.net/11537/37146>
- Pacheco, J., de Brito, J., & Lamperti Tornaghi, M. (2023). Use of Recycled Aggregates in Concrete: Opportunities For Upscaling in Europe. *Publications Office of the European Union*, 1-79. <https://doi.org/doi.org/10.2760/144802>
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú, Concejo Nacional.
- Pastor Gallo, G., & Pérez Díaz, R. J. (2020). Diseño de Concreto $f'c$ 210 kg/cm² Empleando Concreto Reciclado para Mejorar su Resistencia a la Compresión, Tarapoto 2020. [*Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil*]. Universidad César Vallejo, Tarapoto. <hdl.handle.net/20.500.12692/66755>
- Paucar, F., & Gilmar, B. (2023). Evaluación de agregados de diferentes procedencias y diseño de mezcla sobre la resistencia del concreto. *Revista de Investigación Científica Siglo XXI*, 3(2), 15–23. <https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v3i2.345>
- Pérez, G. (2019). Separación del concreto presente en los residuos de construcción y demolición para su reciclaje y reutilización in situ como agregado grueso. *Tesis de Grado*. Universidad de los Andes, Bogotá. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/62443/Separacion-del-concreto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Principe, H., & Jhon, R. (2024). *Influencia del uso de residuos de cáscara de arroz y vidrio en las propiedades del concreto*, Av. Prolongación Naranjal, Lima, 2023.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/136609>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). *Informe Sobre la Situación Mundial de los Edificios y la Construcción*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45095/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Ramírez, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. *Métodos & Materiales*, 12, 12.
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/48029/49920>
- Ramos Pompa, M. M. (2021). Influencia Del Porcelanato Reciclado Como Reemplazo De Los Agregados Sobre Asentamiento, Compresión, Absorción, Densidad Y Porosidad En El Concreto, Trujillo 2021. *UPN*, 0–116.
- Reina, O., Vera, C., & Coello, D. (2023). La gestión integral de residuos de construcción y demolición, un enfoque hacia la sostenibilidad de las ciudades. *South Florida Journal of Development*, 4(6), 2254–2277. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-004>
- Rivera, G. (2011). Concreto Simple. *Cauca, Universidad*.
https://www.academia.edu/13569512/CONCRETO_SIMPLE
- Rivva López, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Capítulo Peruano ACI.
- Rivva López, E. (2012). *Diseño de Mezclas*. Lima, Perú: Williams.
- Rodríguez, F., & Flores, E. (2022). Desarrollo sostenible desde la educación ambiental en Latinoamérica: Una revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(3), 1981–2000. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i3.2348

- Sánchez Carranza, W. A. (2019). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Reciclado para el Diseño de Mezclas ($f'c=175\text{kg/Cm}^2$) distrito José Leonardo Ortiz - Chiclayo - Lambayeque [Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio institucional.
hdl.handle.net/20.500.12692/37983
- Santiago, R., & Carlos, R. (2019). *Estudio del impacto de la inclusión de los agregados reciclados de concreto en las propiedades mecánicas e hidráulicas de una mezcla drenante. Trabajo de Investigación. Universidad Católica de Colombia, Bogotá*. 1–10.
- SENCICO. (2014). *Manual de Preparación, Colocación y Cuidados del Concreto. Servicio Nacional de Capacitación Para La Industria de La Construcción –*.
<https://xdoc.mx/preview/manual-de-preparacion-colocacion-y-cuidados-del-concreto-604ede1d02165>
- Shirani Bidabadi, M., Akbari, M., & Panahi, O. (2020). Optimum mix design of recycled concrete based on the fresh and hardened. *Journal of Building Engineering*, 32, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101483>
- Tamboli, S., Imam, A., Mishra, U., Kumar, K., Mishra, S., Ray, M. R., . . . Yadav, N. (2024). Investigación sobre Concreto Reciclado Fresco y Endurecido con Sustitución Parcial de Áridos Gruesos Reciclados Obtenidos de Residuos de Demolición y Construcción. *International Journal of Experimental Research and Review*, 42, 343-350. <https://doi.org/doi.org/10.52756/ijerr.2024.v42.030>
- UNAM. (2022). *En El Puesto Cinco En La Categoría De Proyección Social Según Reporte De Sostenibilidad Ambiental En Universidades 2022*. <https://unam.edu.pe/elementor-62519/>

Vargas, E. (2020). *El Reciclaje de Residuos por Demolición de Edificaciones Menores en el Desarrollo Sostenible*. 133. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4154>

Zapata Hidalgo, J. J. (2021). Implementación de los Residuos de Construcción y Demolición en las Propiedades del Concreto Poroso en Pavimentos Expuestos a Lluvias Piura, 2021. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Cesar Vallejo, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84210>

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