

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**“INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GLOBAL
EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO
F’C=210 Kg/Cm²”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Bach. MENDOZA LINARES, César Augusto

ASESOR:

Dr. Ing. MAURO CENTURIÓN VARGAS

Cajamarca – Perú, 2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA

1. Investigador: MENDOZA LINARES CESAR AUGUSTO
DNI: 45361784
Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL
2. Asesor: DR. ING. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
"INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GLOBAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO F'C=210 Kg/Cm²"
6. Fecha de evaluación: 30/05/2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 22 %
9. Código Documento: oid:3117:463439641
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 06/06/2025

 <hr/> <p>FIRMA DEL ASESOR Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas DNI: 26604421</p>	 <p>Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofía FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 06/06/2025 21:03:16-0500</p> <hr/> <p>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</p>
---	---



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GLOBAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO F'C= 210 Kg/Cm².*

ASESOR : *Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0296-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 10 de junio de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **dieciocho días del mes de junio de 2025**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Vocal : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario : M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GLOBAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO F'C= 210 Kg/Cm²*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil CÉSAR AUGUSTO MENDOZA LINARES, asesorado por el Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA :⁰⁷..... PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA :¹⁰..... PTS.
EVALUACIÓN FINAL :¹⁷..... PTS *Diecisiete* (En letras)

En consecuencia, se lo declara *aprobado* con el calificativo de *17 (diecisiete)* acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las *10:00 am* horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.


Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente


Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Vocal


M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario


Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: CÉSAR AUGUSTO MENDOZA LINARES.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	03
2.2. Dominio del tema	03
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	02
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	02
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	10

Cajamarca, 18 de junio de 2025


Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente


Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Vocal


M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario


Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: CÉSAR AUGUSTO MENDOZA LINARES.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	07
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	10
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	17
EN LETRAS (A + B)	Distorsión
- Excelente 20 - 19	Muy Bueno
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 18 de junio de 2025


Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Presidente


Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Vocal


M.Cs. Ing. Manuel Lincoln Minchán Pajares.
Secretario


Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios mi gran ayudador y consolador, quien me provee de gratitud y su amor, por guiarme por sus sendas de entereza.

A la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca y docentes que me brindaron su conocimiento y apoyo para seguir adelante día a día y de manera especial a mi asesor: Dr. Ing. Mauro Centurión Vargas, por su apoyo durante el desarrollo de la tesis.

A mis padres José y Teodosia, por su incomparable sacrificio, por enseñarme a soñar, a sonreír en las dificultades, por haberme inculcado sus valores, por su ejemplo de perseverancia y extenderme siempre su apoyo absoluto.

A mis hermanos Wilmer y Luis, mis primeros amigos, gracias por ser mi fortaleza en los momentos que flaqueo.

A mi esposa Elizabeth, quien se ha convertido en un pilar fundamental en mi vida, por su paciencia y amor incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres José Dolores y Teodosia quienes son mi guía y sostén, a mis hijos Josué y Gabriela que me enseñan e inspiran a seguir soñando con un mundo mejor.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA	iii
INDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1.Planteamiento del problema	12
1.2.Formulación del problema	13
1.3.Hipótesis de investigación	13
1.4.Variables	14
1.5.Justificación e importancia de la investigación	14
1.6.Alcances y delimitación de la investigación	15
1.7.Limitaciones	16
1.8.Objetivos de la investigación	16
1.9.Descripción de contenido de los capítulos	17
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1.Antecedentes de la investigación	19
2.2.Bases teóricas	23
2.3.Definición de términos básicos	37
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
3.1.Ubicación geográfica de la investigación.....	38
3.2.Época de la investigación	40
3.3.Materiales	40
3.4 Metodología de la investigación	42
3.5.Población de estudio	43
3.6.Muestra	43
3.7.Unidad de análisis	44
3.8.Procedimiento de la investigación	45

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	69
4.1.Análisis y discusión de resultados.....	69
4.2.Corroboración de hipótesis	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1.Conclusiones	72
5.2.Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÉNDICES	76
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes principales del cemento	26
Tabla 2 Óxidos que intervienen en el cemento portland	26
Tabla 3 Requerimiento de granulometría para agregado fino	28
Tabla 4 Ubicación del laboratorio de ensayo de materiales - UNC	38
Tabla 5 Coordenadas de la cantera Doña Ramona	40
Tabla 6 Número de especímenes por grupo	44
Tabla 7 Relación consistencia - asentamiento	52
Tabla 8 Volumen unitario de agua	53
Tabla 9 Contenido de aire atrapado	53
Tabla 10 Relación agua - cemento por resistencia	54
Tabla 11 Propiedades físicas del agregado natural fino y grueso	65
Tabla 12 Resumen de los materiales de concreto con agregados naturales para un metro cúbico	66
Tabla 13 Resumen de los materiales de concreto con agregados reciclados para un metro cúbico	66
Tabla 14 Resultados de resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días y según el tipo de concreto	67
Tabla 15 Cálculo del peso específico del agua	76
Tabla 16 Cálculo del factor f	76
Tabla 17 Peso unitario suelto del agregado fino natural	77
Tabla 18 Peso unitario compactado del agregado fino natural	77
Tabla 19 Peso específico del agregado fino natural	78
Tabla 20 Absorción del agregado fino natural (%)	79
Tabla 21 Contenido de humedad del agregado fino natural (%)	79
Tabla 22 Ensayo partículas < N° 200 para el agregado fino natural	80
Tabla 23 Ensayo N° 01 de granulometría de agregado fino natural	80
Tabla 24 Ensayo N° 02 de granulometría del agregado fino natural	82
Tabla 25 Ensayo N° 03 de granulometría del agregado fino natural	84
Tabla 26 Peso unitario suelto del agregado grueso natural	86
Tabla 27 Peso unitario compactado del agregado grueso natural	86
Tabla 28 Peso específico del agregado grueso natural	87
Tabla 29 Absorción (%) del agregado grueso natural	87

Tabla 30 Contenido de humedad (%) del agregado grueso natural	88
Tabla 31 Ensayo Partículas < N° 200 para el agregado grueso natural	88
Tabla 32 Ensayo granulométrico del agregado global natural	89
Tabla 33 Ensayo N° 01 de granulometría del agregado grueso natural	90
Tabla 34 Ensayo N° 02 de Granulometría del agregado grueso	92
Tabla 35 Ensayo N° 03 de granulometría del agregado grueso natural	94
Tabla 55 Resistencia a la compresión a los 7 días, del concreto con agregados naturales.	99
Tabla 56 Resistencia a la compresión a los 14 días, del concreto con agregados naturales.	100
Tabla 57 Resistencia a la compresión a los 28 días, del concreto con agregados naturales.	101
Tabla 58 Resistencia a la compresión a los 7 días, del concreto con agregados reciclados.	102
Tabla 59 Resistencia a la compresión a los 14 días, del concreto experimental con agregados reciclados.	103
Tabla 60 Resistencia a la compresión a los 28 días, del concreto con agregados reciclados.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del departamento de Cajamarca en el Perú	38
Figura 2: Ubicación de la provincia de Cajamarca en el departamento de Cajamarca	39
Figura 3: Ubicación de la Universidad Nacional de Cajamarca en el distrito de Cajamarca.	39
Figura 4: Vista satelital de la Cantera Doña Ramona	40
Figura 5: Control del asentamiento (Slump)	60
Figura 6: Comparación de la resistencia a la compresión del concreto con agregado natural y reciclado	68
Figura 7: Evolución de la resistencia a la compresión del concreto según tipo de agregado.	68
Figura 8 Curva granulométrica del ensayo N° 01 del agregado fino natural	81
Figura 9 Curva granulométrica del ensayo N° 02 del agregado fino natural	83
Figura 10 Curva granulométrica del ensayo N° 03 del agregado fino natural	85
Figura 11 Curva granulométrica del agregado global natural	90
Figura 12 Curva granulométrica del ensayo N° 01 del agregado grueso natural.....	91
Figura 13 Curva granulométrica del ensayo N° 02 del agregado grueso	93
Figura 14 Curva granulométrica del ensayo N° 03 del agregado grueso natural.....	95
Figura 22:Ensayo de granulometría de los agregados.	106
Figura 23: Ensayo del peso unitario suelto del agregado fino.	106
Figura 24: Ensayo del peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.....	107
Figura 25: Control de pesos de materiales.	107
Figura 26: Habilitación de moldes para vaciado.	108
Figura 27: Preparación de la mezcla.	108
Figura 28: Ensayo del SLUMP.....	109

Figura 29: Vaciado de concreto en moldes.....	109
Figura 30: Determinación del peso unitario del concreto fresco.....	110
Figura 31: Curado del concreto.....	110
Figura 32: Medidas de los especímenes a ensayar.....	111
Figura 33: Peso unitario del concreto endurecido.....	111
Figura 34: Ensayo a la compresión a los 14 días.....	112
Figura 35: Ensayo a la compresión a los 28 días con apoyo del técnico de laboratorio.....	112

RESUMEN

En la presente investigación se investigó la influencia del concreto reciclado, utilizado como agregado global, en la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con una resistencia de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Para ello, se empleó un único diseño de mezcla en el que se reemplazó en su totalidad el agregado natural por agregado reciclado, manteniéndose constantes las proporciones de los demás materiales. La resistencia a la compresión fue evaluada a las edades de 7, 14 y 28 días, utilizando veinte probetas por tipo de concreto y por edad. Los resultados mostraron que el concreto con agregado natural alcanzó resistencias promedio de 179.20, 220.78 y 242.24 kg/cm^2 , mientras que el concreto con agregado reciclado obtuvo 159.56, 202.61 y 235.07 kg/cm^2 , respectivamente. A pesar de las diferencias, ambos tipos de concreto superaron la resistencia de diseño a los 28 días, cumpliendo con los requisitos establecidos. Se concluye que el uso de concreto reciclado como agregado global sí influye en la resistencia a la compresión, especialmente en edades tempranas, pero no impide alcanzar los valores estructurales necesarios, lo que valida su uso bajo condiciones de dosificación controlada.

Palabras clave: Concreto Reciclado, Concreto hidráulico, Resistencia a la compresión, agregados reciclados.

ABSTRACT

The present investigation investigated the influence of recycled concrete, used as a global aggregate, on the compressive strength of a hydraulic concrete with a design strength of $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. For this purpose, a single mix design was used in which all the natural aggregate was replaced by recycled aggregate, keeping the proportions of the other materials constant. The compressive strength was evaluated at ages 7, 14 and 28 days, using twenty specimens per type of concrete and per age. The results showed that the concrete with natural aggregate achieved average strengths of 179.20, 220.78 and 242.24 kg/cm^2 , while the concrete with recycled aggregate obtained 159.56, 202.61 and 235.07 kg/cm^2 , respectively. Despite the differences, both types of concrete exceeded the design strength at 28 days, meeting the established requirements. It is concluded that the use of recycled concrete as a global aggregate does influence the compressive strength, especially at early ages, but does not prevent reaching the required structural values, which validates its use under controlled dosage conditions.

Keywords: Recycled Concrete, Hydraulic Concrete, Compressive Strength, Recycled Aggregates.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la ingeniería civil, el concreto hidráulico es uno de los materiales más utilizados debido a su resistencia, durabilidad y facilidad de conformación. Un parámetro crítico para su diseño estructural es la resistencia a la compresión, ya que define su capacidad para soportar cargas verticales sin fallar (Neville, 2012). Esta propiedad está estrechamente ligada a la calidad, forma y textura de los agregados empleados en la mezcla.

Actualmente, el uso de agregados reciclados provenientes de concreto demolido se presenta como una alternativa técnica para sustituir los agregados naturales. Sin embargo, la influencia de esta sustitución en la resistencia mecánica del concreto sigue siendo motivo de estudio. En particular, cuando se reemplaza totalmente el agregado natural por concreto reciclado, existen dudas sobre si la mezcla puede alcanzar o superar una resistencia de diseño específica, como $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, común en obras de edificación y pavimentos urbanos (Mindess et al., 2023).

Estudios previos han reportado comportamientos variables. Por ejemplo, Peñafiel et al. (2023) observaron que al utilizar agregados reciclados en proporciones moderadas (hasta 30 %) la resistencia a la compresión del concreto puede mantenerse dentro de los parámetros estructurales requeridos. Por otro lado, investigaciones como las de Castillo, Tacilla y Alva (2024) y Huangol (2025) indican que incluso con sustituciones totales, el concreto puede alcanzar resistencias superiores a los 210 kg/cm^2 , aunque con una reducción porcentual respecto al

concreto convencional.

A nivel técnico, persiste la necesidad de comprobar si un concreto con agregado global reciclado, elaborado bajo un único diseño de mezcla sin modificaciones en la relación agua/cemento ni en la dosificación de los demás componentes, logra cumplir los estándares de resistencia establecidos por la normativa vigente. También se requiere verificar cómo varía esta resistencia en el tiempo, especialmente a edades de 7, 14 y 28 días, y si es viable utilizar este tipo de concreto sin comprometer la calidad estructural de las obras.

En ese marco, la presente investigación busca determinar la influencia del concreto reciclado como agregado global en la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, mediante una comparación experimental con concreto elaborado con agregados naturales.

1.2. Formulación del problema

¿En cuánto influye el uso de concreto reciclado como agregado global en la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. Hipótesis de investigación

La resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es mayor en un 5% a la del concreto con agregado natural, que cumple con la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

- Tipo de agregado (Agregado reciclado, Agregado natural).

1.4.2. Variable dependiente

- Resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

El concreto hidráulico con una resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ es uno de los más empleados en edificaciones de pequeña y mediana envergadura. En este contexto, surge la necesidad técnica de estudiar la posibilidad de reemplazar los agregados naturales por agregados reciclados procedentes de concreto demolido, sin modificar el diseño de mezcla base, para comprobar su desempeño estructural.

El presente estudio se justifica por su aporte al conocimiento sobre el comportamiento mecánico del concreto con agregado global reciclado, particularmente en relación con la resistencia a la compresión, propiedad que define la capacidad del material para cumplir con exigencias normativas y de seguridad estructural (Neville, 2012).

1.6. Alcances y delimitación de la investigación

Los alcances y limitaciones considerados en esta investigación fueron los siguientes:

- ✓ Se analizó únicamente la propiedad mecánica de resistencia a la compresión, sin considerar otras características como trabajabilidad, durabilidad o comportamiento ante agentes químicos o ambientales.
- ✓ El cemento utilizado en todas las mezclas fue Cemento Portland Tipo I marca Pacasmayo, conforme a lo establecido por la NTP 334.009 y la norma ASTM C150.
- ✓ Los agregados naturales empleados fueron de origen fluvial, extraídos de la cantera Doña Ramona, ubicada en el río Huamachuquino.
- ✓ Los agregados reciclados provinieron de la demolición de pavimento rígido urbano en la ciudad de Cajamarca. Dichos materiales fueron procesados y utilizados en su totalidad como sustituto del agregado natural.
- ✓ La separación entre el agregado fino y grueso reciclado se realizó únicamente mediante tamizado con una malla de 3/8", sin procesos adicionales de clasificación o trituración.
- ✓ Todos los procedimientos experimentales, incluida la preparación de las mezclas, el curado de los especímenes y los ensayos de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.7. Limitaciones

- ✓ Se trabajó con un solo diseño de mezcla, con una resistencia de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en el que el agregado natural fue reemplazado en su totalidad (100%) por agregado reciclado. No se evaluaron distintas proporciones de reemplazo ni otras resistencias de diseño.
- ✓ No se realizó un análisis químico comparativo entre el concreto reciclado, proveniente de la demolición de pavimentos rígidos, y los materiales constituyentes del nuevo concreto.

1.8. Objetivos de la investigación

1.8.1. Objetivo general

- ✓ Determinar en cuanto influye el uso de concreto reciclado como agregado global en la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.8.2. Objetivos específicos

- ✓ Comparar la resistencia a la compresión entre el concreto hidráulico fabricado con agregados reciclados y aquel elaborado con agregados naturales, bajo un mismo diseño de mezcla.
- ✓ Evaluar si el concreto con agregado reciclado cumple o supera la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

1.9. Descripción de contenido de los capítulos

La presente investigación se estructura en los siguientes capítulos, cuyo contenido se detalla a continuación:

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como propósito fundamental ofrecer una visión general de la investigación. Incluye el planteamiento y formulación del problema, la hipótesis, la justificación, los alcances, los objetivos de la investigación, así como la descripción general de su contenido.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el fundamento conceptual y teórico que respalda la investigación. Se desarrollan y analizan las teorías pertinentes, los antecedentes teóricos, las bases conceptuales y la definición de los términos clave relacionados con el estudio.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo Incluye la ubicación geográfica donde se desarrolló el estudio, periodo de la investigación, metodología utilizada en la investigación, los procedimientos realizados para la recopilación de datos en laboratorio y la forma en que estos fueron organizados para su presentación.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizó un examen de los resultados de las pruebas de laboratorio y se incluyó un comentario basado en información procedente de la literatura científica pertinente.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo resume los hallazgos más significativos del estudio, ofreciendo conclusiones específicas para cada objetivo planteado. Además, se formulan recomendaciones prácticas basadas en los resultados obtenidos, cerrando con una síntesis precisa de las implicaciones y aportes de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Incluye todas las fuentes bibliográficas utilizadas como apoyo durante el desarrollo del estudio.

APÉNDICE

ANEXOS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Varios autores han realizado investigaciones sobre el uso de concreto reciclado como agregado en la producción de concreto. Los siguientes son algunos de ellos:

2.1.1. Antecedentes internacionales

- **Cruz y Ramírez (2022), “Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos” - Costa Rica.**

En esta investigación estudiaron las características del agregado grueso para la construcción proveniente de escombros de obras civiles y comparó con los agregados vírgenes tradicionales para valorar su posible utilización, En las mezclas se utilizaron tres diferentes porcentajes de agregado grueso reciclado sustituyendo al natural. Los resultados arrojaron pequeñas variaciones respecto al comportamiento del agregado virgen, en especial en la absorción, peso unitario y desgaste. Se obtuvieron resultados muy favorables en cuanto a la resistencia a la compresión de los concretos con agregado grueso reciclado, contemplando siempre un diseño de mezcla que se ajustara a sus características. Entre las limitaciones está que no se estudió la durabilidad del concreto fabricado; tampoco se trabajó con agregado fino reciclado; ambos fenómenos serán abordados en futuras investigaciones. Al finalizar la investigación se concluye que el reciclaje de agregado grueso es técnicamente factible.

- **De Souza et al. (2022), “Evaluación técnica de hormigón estructural elaborado con árido grueso procedente de residuos de construcción y demolición” – Brasil.**

Este estudio se enfoca en el uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como agregado grueso reciclado (RCA) en concreto estructural, y

analizar la efectividad del diseño de mezclas con RCA. La metodología consistió en mantener constante la cantidad de agua y arena, y se varió el porcentaje de cemento en las proporciones de 0%, 10% y 20%. Los resultados del Slump Test mostraron que el uso de un aditivo superplastificante mejoró la trabajabilidad de las mezclas con RCA. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días, solo la mezcla con un 20% de adición de cemento mostró un valor cercano a la mezcla de referencia. Las demás mezclas presentaron una resistencia más baja, con una reducción significativa de hasta el 21,60% (mezcla con 0% de cemento). Sin embargo, todas las mezclas cumplen con los requisitos para ser consideradas hormigón estructural, ya que la resistencia mínima obtenida fue de 25,34 MPa. La mezcla con un 20% de adición de cemento presentó propiedades de resistencia similares al hormigón convencional. Estos resultados sugieren que el uso de RCD como RCA en el concreto estructural puede ser una alternativa viable, pero es importante considerar cuidadosamente el diseño de las mezclas y el porcentaje de adición de cemento para obtener los mejores resultados en cuanto a resistencia y calidad del concreto.

- **Bermúdez (2021), “Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición como agregado grueso” – Colombia.**

Este estudio evaluó la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición (RCD) como agregado grueso. Se seleccionó el RCD más adecuado, proveniente de la demolición de un pavimento, y se realizaron cinco diseños de mezclas con diferentes proporciones de RCD y canto rodado (CR) como agregado grueso. El diseño de mezcla que tuvo una proporción de 75% de RCD y 25% de CR obtuvo la mayor resistencia a la compresión, con un resultado de 4604 psi a los 28 días. Se concluyó que es posible fabricar un concreto de alta resistencia utilizando RCD como agregado grueso, lo cual puede ser aplicado en la construcción de pavimentos y muros de contención de gravedad.

- **Pacheco et al. (2021), “Evaluación de la resistencia de hormigones producidos con áridos RCD reciclados provenientes de un proyecto habitacional ubicado en Pernambuco, Brasil”.**

En este estudio analizan la viabilidad de utilizar Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como áridos gruesos reciclados en la producción de hormigón. Se realizaron pruebas reemplazando el agregado grueso en diferentes proporciones (0, 10, 20, 30, 40, 50 y 100%) y se evaluaron las propiedades del hormigón en diferentes estados (anhidro, fresco y endurecido). Los resultados mostraron que la adición de RCD en forma de árido en las proporciones de 10% y 20% no afectó la resistencia a la compresión del hormigón. Esto indica que utilizar RCD como alternativa sostenible en la construcción puede ser una buena opción para reducir la acumulación de residuos y minimizar el impacto ambiental.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- **Carbonel y Quinteros (2020), “Uso de agregados reciclados proveniente del concreto de edificaciones en Lima Metropolitana para su aplicación en veredas con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ ”.**

En esta investigación evalúan y analizan las propiedades físicas y mecánicas del uso de agregado grueso reciclado obtenido de la reutilización de concreto eliminado en una obra, con el objetivo de elaborar una nueva mezcla que cumpla con la norma técnica peruana y estándares de calidad. Se realizaron ensayos en laboratorio con diferentes porcentajes (25%, 50 % y 100 %) de remplazo del agregado grueso para seleccionar la mezcla óptima, a partir de estos diseños y luego de realizar los ensayos en concreto fresco y endurecido, se determinó que el diseño óptimo fue de 50% de reemplazo de AGR.

- **Rodrich y Silva (2018), “Influencia del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional, Trujillo 2018”.**

En su investigación reemplazaron el agregado grueso de un concreto

convencional por agregado de concreto reciclado procedente de la demolición de una vereda en la ciudad de Trujillo, en diferentes cantidades y variando las relaciones agua/cemento, diseñando las mezclas de acuerdo a la norma ACI 211. Llegando a determinar que la mejor opción para la fabricación de concreto estructural es utilizar una $R a/c = 0.65$ con 30% de agregado de concreto reciclado y para la fabricación de concreto no estructural se recomienda utilizar una $R a/c = 0.70$ con 15% de agregado de concreto reciclado.

- **Meléndez (2016), “Utilización del concreto reciclado como agregado (grueso y fino) para un diseño de mezcla $f'c=210$ Kg/cm² en la ciudad de Huaraz-2016”.**

La investigación concluye que; para poder analizar las propiedades del agregado de concreto reciclado se debe quitar los desperdicios de fierro, alambres y clavos para que quede solo el bloque de concreto, además en otra conclusión precisa que se ha logrado resistencias mayores a 199.70 kg/cm² y se puede lograr mayores resistencias agregando una cantidad adecuada de agua y un mayor tiempo de curado.

2.1.3. Antecedentes locales

- **Alarcón (2019), “Estudio del comportamiento del concreto de alta resistencia $f'c=420$ kg/cm² elaborado con agregados reciclados”.**

En este estudio se evaluaron mezclas de concreto de alta resistencia que incluían agregados reciclados en diferentes proporciones, junto con el aditivo sikament-290N. Se comparó la resistencia a la compresión de estas mezclas con la de mezclas de concreto de alta resistencia que utilizaban agregados naturales. Los resultados mostraron que una mezcla con un 10% de agregado reciclado tenía una resistencia a la compresión de 451.51 kg/cm², un 5.06% más alta que una mezcla con agregados naturales. De manera similar, una mezcla con un 20% de agregado reciclado tenía una resistencia de 443.19 kg/cm², un 3.11% más alta que una mezcla con agregados naturales. Sin embargo, una mezcla con un 30% de agregado reciclado presentó una resistencia ligeramente inferior, con 428.80 kg/cm²,

un 0.24% menos que una mezcla con agregados naturales. Además, se observó que los agregados reciclados cumplían con los estándares establecidos en las Normas Técnicas Peruanas, aunque tenían una alta absorción y un alto contenido de finos que pasaban la malla N° 200.

- **Tafur (2015), “Estudio del comportamiento Físico-Mecánico del concreto diseñado y elaborado con agregado grueso reciclado en la ciudad de Cajamarca”**, La investigación concluye que el concreto elaborado con agregado grueso reciclado tiene una resistencia a la compresión 4.15% mayor que el concreto elaborado con agregado natural, y presenta características similares. Además, se encontró que el módulo de elasticidad del concreto con agregado natural es menor en 5.30 Kg/cm² a los 28 días. También se observó que el diseño del concreto con agregado grueso reciclado tiene una menor cantidad de agregado fino y un incremento del 5.1% en el contenido de cemento. En cuanto a las propiedades de los agregados, se concluyó que el agregado grueso reciclado mantiene propiedades físicas y mecánicas similares al agregado grueso natural.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es un material compuesto artificial que consiste en una pasta de cemento (mezcla de agua y cemento) que une partículas de agregados de diferentes tamaños. Es el material de construcción más utilizado en el mundo, ya que se puede utilizar en todo tipo de estructuras y en los climas más variados. La mezcla de concreto debe ser adecuadamente dosificada, con una proporción de agregados de entre el 60% y el 75%, agua de 15 a 22%, cemento de 7 a 15% y aire atrapado de 1 a 3%. En casos especiales, se pueden incorporar aditivos, fibra o aire para mejorar su ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado (McCormac y Brown, 2018).

Borges (2020) sostiene que el comportamiento mecánico del concreto y su durabilidad en servicio dependen de tres factores básicos:

- Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento.
- La calidad de los agregados.
- La afinidad de la pasta con los agregados.

También es crucial tener en cuenta que el concreto utilizado en los pavimentos se conoce como concreto hidráulico, y es una sustancia utilizada en edificios y pavimentos que está hecha para resistir fuertes presiones de compresión, como las producidas por los coches grandes y pesados que circulan por una carretera. Debido a esta característica, requiere menos mantenimiento y puede soportar el tráfico pesado de peatones y vehículos. A diferencia del asfalto, que se fabrica a partir de compuestos derivados del petróleo, el hormigón hidráulico tiene la capacidad de solidificarse incluso cuando está húmedo. Para absorber y dispersar las tensiones hacia el suelo, las losas se conectan mediante dovelas que forman parte de un sistema de transferencia de cargas (Cementos Torices, s.f.).

2.2.2. Componentes del concreto

A continuación, se describe cada uno de los componentes principales que forman el concreto:

2.2.2.1. Cemento

El cemento es un material aglomerante de origen mineral que, al mezclarse con agua, forma una pasta que fragua y endurece, adquiriendo resistencia con el tiempo. Su evolución se remonta a la época romana con el uso de la puzolana,

combinada con cal viva, arena y grava, generando un precursor del concreto actual. Sin embargo, el desarrollo del cemento moderno ocurrió en 1824 cuando Joseph Aspdin patentó el cemento Portland, llamado así por su similitud con la piedra de la isla de Portland, en Inglaterra. Este material, compuesto principalmente por clinker de cemento y yeso, se consolidó como el más utilizado en la construcción debido a su alta resistencia y durabilidad, siendo clave en la fabricación de concreto y morteros (McCormac y Brown, 2018).

Borges (2020), asevera que el cemento es el componente más importante y activo del concreto, y como las propiedades del concreto dependen tanto de la calidad y cantidad de sus componentes por lo que la selección y empleo adecuado del cemento es fundamental para lograr una mezcla con las propiedades deseadas.

Usualmente, el cemento hidráulico empleado para la producción del concreto debe ser cemento Portland (compuesto resultante de la molienda conjunta a alta finura de Clinker y yeso) el cual requiere aproximadamente dos semanas para adquirir una resistencia suficiente que permita retirar el encofrado y aplicar cargas moderadas, tales concretos alcanzan sus resistencias de diseño después de aproximadamente 28 días y después continúan ganando resistencia a un menor ritmo. Sin embargo, actualmente se desarrollan diversos tipos de cemento y materiales cementantes, existiendo fuerte tendencia al empleo de cementos adicionados con cenizas, microsilíce, escorias pulverizadas, y puzolanas para mejorar las características de durabilidad del concreto frente a ciertos agentes externos, mejora en la resistencia y cuidado al medio ambiente (McCormac y Brown, 2018).

Tabla 1**Componentes principales del cemento**

	Componente Químico	Procedencia Usual
95%	Óxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Óxido de Sílice (SiO ₂)	Cuarcita y Areniscas
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxidos de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5%	Óxidos de Magnesio, Sodio,	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre,	
	Fósforo y Manganeso	

Fuente: Pasquel, 1998.

De los óxidos mencionados en la tabla anterior, los porcentajes típicos intervinientes en el cemento Portland son:

Tabla 2**Óxidos que intervienen en el cemento portland**

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	

Fuente: Pasquel, 1998.

2.2.2.2. Agregados

Los agregados son materiales granulares inertes como arena, grava o piedra triturada que, junto con el agua y el cemento portland, son un ingrediente esencial

del hormigón. Para obtener una buena mezcla de concreto, los agregados deben ser partículas limpias, duras y resistentes, libres de productos químicos absorbidos o recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que puedan causar el deterioro del concreto. Los agregados, que representan entre el 60 y el 75 por ciento del volumen total del hormigón, se dividen en dos categorías distintas: finos y gruesos (Vivanco, 2019).

2.2.2.2.1. Agregado fino

La NTP 400.011, define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200); además de cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o la norma ASTM C – 33.

Las propiedades de los agregados finos tienen un impacto significativo en las propiedades del concreto. El tamaño y la forma de las partículas de agregado fino afectan a la trabajabilidad del concreto, mientras que el contenido de finos afecta a la resistencia del concreto. La calidad del agregado fino y su densidad también son factores importantes a tener en cuenta en la producción de concreto (Vivanco, 2019).

2.2.2.2.2. Agregado grueso

La NTP 400.011, define como agregado grueso al material retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) y cumple los límites establecidos por la NTP 400.037. Dicho agregado deberá de proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas: sus fragmentos deben de ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, además estará exento de

polvo, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar la calidad de la mezcla de concreto.

2.2.2.2.3. Propiedades de los agregados

Las propiedades de los agregados utilizados en el concreto desempeñan un papel crucial en la determinación de las características del concreto resultante. Algunas de las propiedades clave para los agregados son:

1. **Granulometría:** La granulometría es la distribución porcentual de los distintos tamaños de agregado en una muestra, determinada por el material retenido o que pasa a través de una serie de tamices. Esta propiedad influye en el diseño de mezclas, la demanda de agua y cemento, y en características clave del concreto como trabajabilidad, bombeabilidad y durabilidad. Una granulometría uniforme minimiza los vacíos entre partículas, optimizando la cantidad de pasta de cemento necesaria y evitando su uso excesivo (Toirac, 2019).

Tabla 3

Requerimiento de granulometría para agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,50 mm (3/8")	100
4,75 mm (Nº 4)	95 a 100
2,36 mm (Nº 8)	80 a 100
1,18 mm (Nº 16)	50 a 85
600 um (Nº 30)	25 a 60
300 um (Nº 50)	5 a 30
150 um (Nº 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037.

- 2. Perfil y textura superficial:** La textura y forma de los agregados afectan la resistencia del concreto. Los rugosos mejoran la adherencia y resistencia, mientras que los de superficie alterada deben evitarse. Los redondeados facilitan la trabajabilidad y reducen el agua requerida, pero los angulares y planos aumentan la resistencia. Sin embargo, los elongados o laminados pueden generar segregación y exudación (Paredes y Guillen, 2021).
- 3. Absorción y humedad superficial:** Estas propiedades son fundamentales en el diseño del concreto, ya que afectan la cantidad de agua efectiva en la mezcla y, en consecuencia, la relación agua-cemento, lo que influye directamente en su trabajabilidad, resistencia y durabilidad.
- 4. Peso específico:** El peso específico y la densidad de los agregados afectan directamente las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido, influyendo en su resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Los agregados más densos pueden mejorar la robustez del concreto, aunque también pueden requerir mayor esfuerzo en su manejo y colocación (Paredes y Guillen, 2021).
- 5. Peso unitario:** El peso unitario de los agregados, calculado al dividir su masa entre el volumen ocupado, puede ser suelto o compactado según sus condiciones. El peso unitario suelto se obtiene sin compactación, con más espacios vacíos, siendo útil para su manejo y almacenamiento. En contraste, el peso unitario compactado resulta de procesos como varillado o sacudido, logrando una mayor densidad. Este último es esencial en el diseño de mezclas

de concreto hidráulico, ya que permite estimar con precisión la cantidad de material requerida en función de su masa y volumen (Laiza y Saavedra, 2022).

6. Presencia de material más fino que el tamiz N° 200: La proporción de material que atraviesa el tamiz # 200 presente en los agregados resulta perjudicial para el rendimiento del concreto. En términos generales, esta fracción fina está compuesta por limos y arcillas, los cuales inciden en la interacción del cemento con el agua y son responsables de la formación de grietas (Garavito, s.f.).

2.2.2.3. Concreto reciclado

El concreto reciclado es aquel que se obtiene a partir de la trituración y procesamiento de estructuras de concreto previamente utilizadas, generalmente demolidas, con el propósito de reutilizar sus componentes pétreos como agregados en la fabricación de nuevo concreto. Este tipo de material se conoce como agregado grueso reciclado (AGR) o agregado fino reciclado (AFR), dependiendo del tamaño de las partículas obtenidas tras el proceso de cribado y separación (Muñoz-Pérez et al., 2022).

Desde el punto de vista técnico, el concreto reciclado conserva parte del mortero adherido del concreto original, lo que le otorga una porosidad y una capacidad de absorción superiores a las del agregado natural. Esto influye directamente en propiedades como la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad de la mezcla. Según Machaca (2018), el concreto reciclado se define como concreto antiguo que será triturado para producir partículas con características de agregados. Esta afirmación es respaldada por Elías et al. (2020), quienes sostienen que, aunque no

se pueden recuperar los materiales constituyentes originales ni su forma, el concreto demolido puede ser reintroducido en nuevas mezclas como insumo alternativo.

2.2.2.4. Agregados de concreto reciclado

Los agregados reciclados de concreto (RCA, por sus siglas en inglés) se obtienen principalmente de residuos sólidos generados por la demolición de estructuras de concreto. Su origen se encuentra en la fragmentación de elementos de concreto previamente utilizados, como pavimentos, columnas o losas, que tras un proceso de tratamiento mecánico son transformados en materiales reutilizables. Este proceso implica varias etapas técnicas como la remoción de contaminantes (acero, madera, plásticos), la trituración mecánica mediante equipos de mandíbula o impacto, el cribado para clasificación por tamaños y, en ocasiones, el lavado para reducir impurezas adheridas, tales como mortero viejo o partículas finas (Etxeberria et al., 2022).

Una vez procesado, el agregado reciclado puede ser dividido en agregado grueso y agregado fino usando la malla de 3/8" (9.5 mm). Estas fracciones, dependiendo de su calidad, pueden emplearse parcial o totalmente como sustitutos de los agregados naturales en nuevas mezclas de concreto. La utilización de RCA contribuye a la sostenibilidad del sector construcción, al disminuir la extracción de recursos naturales no renovables y al reducir la cantidad de escombros depositados en vertederos (Zega y Sosa, 2023).

Sin embargo, las propiedades físico-mecánicas de estos agregados reciclados pueden presentar variaciones significativas en comparación con los agregados vírgenes. Factores como el contenido de mortero adherido, la porosidad, la absorción de agua y la resistencia original del concreto proveniente pueden influir de forma directa en el comportamiento del nuevo concreto. Por ello, se recomienda establecer controles rigurosos sobre la calidad del agregado reciclado y ajustar las dosificaciones de mezcla cuando se emplea este tipo de material (Pacheco y De Brito, 2023).

Diversos estudios recientes han demostrado que es técnicamente viable incorporar agregados reciclados en el concreto estructural, especialmente cuando el reemplazo no supera el 30 % del agregado grueso total. En estos casos, el concreto resultante puede alcanzar resistencias mecánicas comparables al concreto convencional, siempre que se garantice una adecuada selección, procesamiento y caracterización del RCA (Pacheco y De Brito, 2023).

2.2.2.5. Agua

El agua es un elemento esencial en la producción de concreto, ya que su calidad y composición química son cruciales para lograr una mezcla adecuada. Cuando no se conoce la calidad del agua utilizada, surgen riesgos, ya que no se puede determinar si el agua de los agregados tendrá efectos favorables o perjudiciales en el concreto. Las impurezas en el agua, ya sean disueltas o suspendidas, incluso en bajas concentraciones, pueden afectar negativamente las características del concreto, incluso después de haber alcanzado su resistencia máxima. Aunque el agua potable es la mejor opción para la mezcla de concreto, su disponibilidad

limitada puede aumentar los costos. Muchas aguas no potables pueden ser aptas para este fin, pero su calidad suele ser incierta, por lo que es necesario realizar pruebas de laboratorio para verificar las impurezas y garantizar que estén dentro de los límites permitidos por las normativas vigentes (Rodríguez, 2021).

2.2.2.5.1. Criterios de calidad

La Norma Técnica Peruana **NTP 339.088** especifica que el agua para la mezcla de concreto debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Limpieza: No debe contener partículas sólidas en suspensión que puedan afectar la trabajabilidad o durabilidad del concreto.
2. Inercia: No debe reaccionar químicamente con los componentes del concreto.
3. Equilibrio de pH: El pH del agua debe estar entre 5,5 y 8, evitando niveles demasiado ácidos o alcalinos.
4. Baja concentración de sales disueltas: Las sales disueltas pueden afectar la resistencia y durabilidad del concreto.

Además, la NTP 339.088 establece los siguientes límites para el contenido de sólidos disueltos en el agua de mezcla:

- Residuo sólido total: No debe exceder los 5000 ppm.
- Residuo sólido sedimentable: No debe exceder los 1000 ppm.

Es importante destacar que el uso de agua de mar no se recomienda para la fabricación de concreto, debido a su alta concentración de sales disueltas.

2.2.2.5.2. Agua de curado

Según la norma NTP 339.088, el agua empleada en el proceso de curado debe

estar libre de sustancias que puedan afectar negativamente al concreto ya endurecido o a las armaduras, sobre todo en las primeras fases cuando el concreto es muy permeable. Se debe evitar el uso de agua con niveles elevados de cloruros en estructuras con refuerzos, así como de sustancias que puedan ocasionar manchas o alteraciones en la apariencia superficial. Además, es importante que exista una diferencia de temperatura mínima entre el agua de curado y el concreto para evitar la aparición de fisuras. El objetivo principal del agua de curado es mantener el concreto en condiciones de saturación para prevenir la pérdida de agua, principalmente por evaporación, lo cual es esencial para que el concreto fragüe de forma adecuada y completa, alcanzando así sus máximas propiedades de resistencia y durabilidad a lo largo del tiempo. Este proceso exige asegurar que la mezcla mantenga su humedad hasta que se complete la reacción de endurecimiento (Marín, 2018).

2.2.3. Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión simple es una de las propiedades mecánicas más relevantes del concreto, ya que define su capacidad para resistir cargas y tensiones. Esta resistencia se refiere a la habilidad del material para soportar una carga externa sin sufrir deformaciones permanentes. Se mide en unidades de esfuerzo como kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), megapascuales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (psi). El método más comúnmente utilizado para medir esta propiedad en los materiales de construcción es el ensayo sobre cilindros elaborados con precisión en moldes especiales, los cuales tienen un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm. Este procedimiento es crucial para determinar la capacidad de los materiales para resistir cargas de compresión, lo que es esencial

para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras. Las normas técnicas peruanas NTP 339.183 y NTP 339.034 regulan los métodos y especificaciones para la fabricación de estos cilindros en la industria de la construcción, así como para la realización del ensayo de resistencia a la compresión de los mismos (Osorio, 2024).

Los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión son fundamentales, ya que permiten verificar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requisitos de resistencia especificados para la estructura (f'_c) en un proyecto determinado. Estas pruebas, realizadas a través de la elaboración de cilindros de concreto, tienen múltiples aplicaciones, como el control de calidad del material, la validación del concreto utilizado en la obra o la estimación de la resistencia que el concreto tendrá en las estructuras. Esto último resulta esencial para planificar actividades de construcción, como la remoción de encofrados, y para evaluar si los procesos de curado y protección de la estructura han sido adecuados. Los cilindros utilizados en los ensayos de aceptación y control de calidad se preparan y curan estrictamente según las directrices establecidas en la norma ASTM C31, conocida como Práctica Estándar para la Preparación y Curado de Probetas de Ensayo de Concreto in Situ, equivalente a la NTP 339.033. Esta norma también describe los procedimientos para realizar pruebas de curado en el sitio, lo que permite evaluar la resistencia del concreto en su ubicación original (Cemex, 2019).

2.2.4. Teoría del diseño de mezclas

El diseño de mezcla es el proceso de determinar las proporciones adecuadas de los materiales que conforman una unidad cúbica de concreto por lo que implica

seleccionar los componentes más apropiados y combinarlos de manera eficiente y económica con el objetivo de lograr una mezcla que en estado fresco garantice la trabajabilidad y consistencia requeridas y que al endurecerse cumpla con las especificaciones del diseñador o los requisitos del proyecto aunque existen diversas metodologías para su desarrollo muchas de ellas son complejas debido a la influencia de múltiples variables que afectan los resultados sin embargo a pesar de no existir un método que garantice resultados perfectos es posible seleccionar la metodología más adecuada según las necesidades de cada caso específico (Bejar, 2018).

Las mezclas de concreto deben cumplir con los siguientes requisitos fundamentales

- En estado fresco deben contar con la trabajabilidad consistencia y cohesión necesarias para ser colocadas correctamente en los encofrados evitando la segregación y reduciendo la exudación
- Una vez endurecidas deben alcanzar las propiedades requeridas según el uso previsto de la estructura
- El costo por unidad cúbica de concreto endurecido debe ser el más bajo posible siempre que se mantenga la calidad deseada

Según Barzola (2019), existen múltiples enfoques para el diseño de mezclas de concreto, destacando entre ellos el método del Agregado Global. Este procedimiento se basa en combinar proporciones específicas de agregado fino y grueso con el propósito de encontrar la mezcla óptima que permita alcanzar el mayor peso unitario compactado. En esta investigación, se utilizó este método para el desarrollo del estudio.

2.3. Definición de términos básicos

✓ **Agregado de concreto reciclado**

Material derivado del concreto de estructuras demolidas, procesado mediante trituración y selección, y reutilizado como componente en nuevas construcciones. (Tarazona, 2019).

✓ **Agregado fino**

Material granular compuesto por partículas minerales que pasa por el tamiz de 9.5 mm y queda retenido en el tamiz de 0.075 mm, cumpliendo con la NTP 400.037.

✓ **Agregado global**

Mezcla de agregado fino y agregado grueso, regulada por una granulometría (NTP 400.011.2020).

✓ **Agregado grueso**

Material pétreo proveniente de la desintegración natural o artificial de rocas, retenido en un tamiz de 9.5 mm (3/8 de pulgada) y conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 400.037.

✓ **Concreto hidráulico**

Es una mezcla de cemento, agua, agregados y, ocasionalmente, aditivos, que utiliza cemento hidráulico como el Portland, capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua, siendo apta para aplicaciones generales y en condiciones de humedad (PROLASA, 2023).

✓ **Resistencia a la compresión**

Capacidad de un material para soportar una carga aplicada sin sufrir deformaciones permanentes. Se expresa en unidades como kg/cm², MPa o psi (CEMEX, 2019).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica de la investigación

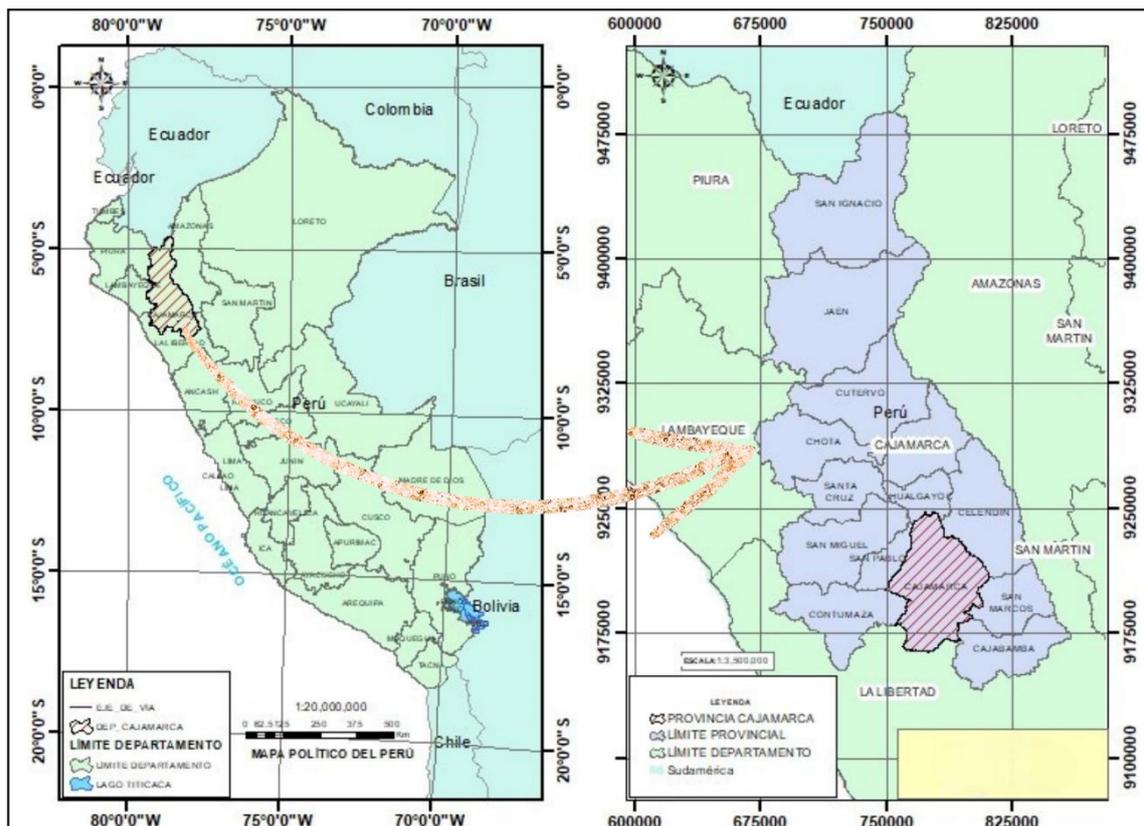
Este estudio experimental se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, ubicado en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca. Dicha institución se encuentra en la Av. Atahualpa N°1050, en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en las coordenadas correspondientes:

Tabla 4

Ubicación del laboratorio de ensayo de materiales - UNC

Coordenadas Geográficas (grados, minutos, segundos)		Coordenadas UTM 17S	
Latitud	Longitud	Este	Norte
7°10'1.89"S	78°29'43.83"O	776610	9207014

Figura 1: Ubicación del departamento de Cajamarca en el Perú



3.2. Época de la investigación

La investigación se realizó el periodo de enero a mayo del año 2024.

3.3. Materiales

3.3.1. Agregados

3.3.1.1. Agregados naturales

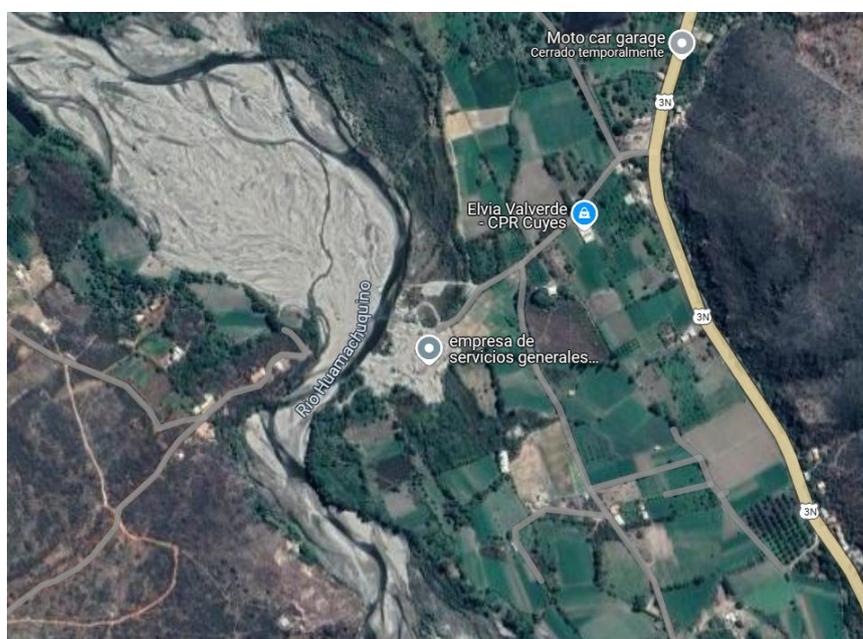
Los materiales naturales empleados en el estudio fueron obtenidos de la cantera Doña Ramona, ubicada a 400 metros al costado izquierdo de la carretera nacional PE-3N, en el punto kilométrico 1209+370, dentro de la provincia de Cajabamba, en la región de Cajamarca.

Tabla 5

Coordenadas de la cantera Doña Ramona

Coordenadas Geográficas (grados, minutos, segundos)		Coordenadas UTM	
Latitud	Longitud	Este	Norte
7°34'24.74"S	78° 8'35.08"O	815276	9161811

Figura 4: Vista satelital de la Cantera Doña Ramona



Fuente: Imagen capturada de Google Earth en el año 2024.

3.3.1.2. Agregados Reciclados

Los agregados reciclados utilizados en el estudio se generaron mediante la trituración de concreto reciclado, el cual se obtuvo de la demolición de pavimentos rígidos de la ciudad de Cajamarca.

3.3.2. Cemento

El cemento empleado en el estudio corresponde al Tipo I de la marca Pacasmayo, el cual se ajusta a los estándares establecidos en las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150. Este material presenta características como:

- ✓ Mayor resistencia en etapas iniciales.
- ✓ Tiempos de fraguado más reducidos.

En los anexos del documento se incluye la ficha técnica correspondiente al para mayor referencia.

3.3.3. Agua

El agua empleada en la preparación y curado de las muestras cilíndricas de concreto fue suministrada por la red hídrica del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca. Esta agua se obtiene de fuentes subterráneas y cumple con los parámetros máximos y mínimos establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, conforme al DS N° 031-2010-SA. De esta forma, se asegura que el agua utilizada satisface los estándares de calidad requeridos para la adecuada fabricación y curado del concreto, tal como lo establece la Norma Técnica Peruana NTP 339.088.

3.4. Metodología de la investigación

3.4.1. Enfoque de la investigación

- ✓ El estudio se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, ya que la resistencia a la compresión axial, propiedad central del concreto analizada en esta investigación, es una variable que puede ser medida y expresada numéricamente.

3.4.2. Diseño de la investigación

- ✓ El diseño metodológico de la investigación es de tipo cuasiexperimental comparativo. Este modelo permite analizar las variaciones en la resistencia a la compresión entre dos grupos: uno de concreto hidráulico fabricado con agregado global reciclado y otro de concreto producido con agregados naturales. El estudio se enfoca en evaluar las diferencias en la resistencia, establecida en $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Para ello, se emplea un grupo experimental (concreto con agregado reciclado) y un grupo de control (concreto con agregados naturales), lo que permite una comparación directa entre ambos.

3.4.3. Tipo de la investigación

- ✓ La investigación es de tipo aplicada, ya que se centró en resolver un problema práctico vinculado a la ingeniería civil. Su objetivo principal fue evaluar la resistencia a la compresión de un concreto hidráulico, con el fin de generar conocimientos que permitan optimizar el uso de materiales reciclados en la construcción y fomentar prácticas más sostenibles en este ámbito.

3.5. Población de estudio

La población está conformada por especímenes cilíndricos de concreto de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, diseñados para alcanzar una resistencia $f'c=210$ kg/cm². Este conjunto representa el universo de muestras que serán analizadas para evaluar las propiedades de resistencia a la compresión del concreto.

3.6. Muestra

Dado que nuestro estudio es comparativo entre dos grupos independientes (concreto con agregados naturales y concreto con agregados reciclados), y cuya variable dependiente ($F'c$) es cuantitativa continua, para el cálculo de nuestra muestra utilizamos la fórmula estadística comparación de dos medias:

$$n = \frac{2 \cdot (Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}$$

Donde:

- ✓ n : Tamaño de muestra.
- ✓ $Z_{\alpha/2}$: Valor crítico de la distribución normal para el nivel de confianza.
- ✓ Z_{β} : Valor crítico de la distribución normal para el poder estadístico.
- ✓ σ^2 = Varianza de la población.
- ✓ Δ = Diferencia mínima esperada entre los grupos.

Definimos nuestros parámetros:

Nivel de confianza ($1 - \alpha$): 95% $\rightarrow \alpha=0.05$, $Z_{\alpha/2}=1.96$.

Poder estadístico ($1 - \beta$):80% $\rightarrow \beta=0.20$, $Z_{\beta}=0.84$.

Diferencia mínima detectable (Δ): 10% de $f'c=210$ kg/cm² $\rightarrow \Delta=21$ kg/cm².

Desviación estándar (σ): Estimamos $\sigma=23$ kg/cm².

Reemplazando en la formula tenemos:

$$n = \frac{2 \cdot (1.96 + 0.84)^2 \cdot 23^2}{21^2}$$

$$n = \frac{2 \cdot (2.8)^2 \cdot 529}{441}$$

$$n = \frac{8294.72}{441}$$

$$n = 18,80 \approx 19$$

De acuerdo con los resultados, sería necesario contar con 19 especímenes por grupo. No obstante, se ha decidido fabricar 20 especímenes por grupo, lo que da un total de 120 especímenes cilíndricos (60 correspondientes al concreto con agregados naturales y 60 al concreto con agregados reciclados). Estas serán sometidas a ensayo según lo indicado en la Tabla 6.

Tabla 6

Número de especímenes por grupo

Descripción	Diseño F'c kg/cm ²	Número de especímenes por edad			Total
		07 días	14 días	28 días	
Concreto con agregados naturales (CAN)	210	20	20	20	60
Concreto con agregados reciclados (CAR)	210	20	20	20	60
			Σ		120

Fuente. Elaboración propia.

3.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis o elemento básico que se estudia en esta investigación son las probetas de concreto de 150 mm x 300 mm con una resistencia F'c=210 Kg/cm².

3.8. Procedimiento de la investigación

3.8.1. Elección de los agregados

Para la elaboración del concreto, se seleccionaron agregados del río Huamachuquino, extraídos de la cantera Doña Ramona (Condebamba, Cajabamba). Estos agregados, libres de impurezas orgánicas, cumplen con los requisitos de la NTP. Como agregado reciclado, se empleó concreto proveniente de la demolición de pavimento rígido en Cajamarca, el cual presentó una resistencia promedio de 206 kg/cm² según ensayos de esclerometría.

3.8.2. Determinación de propiedades físico mecánicas de los agregados

Luego de la obtención de los agregados y con el fin de preservar su integridad para los ensayos se procedió a su traslado al Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz" para lo cual se emplearon bolsas de nailon ya que de esta forma se previnieron tanto pérdidas como cualquier tipo de contaminación y así se aseguró que los agregados llegaran en condiciones óptimas para la realización de los ensayos pertinentes cuyos detalles se describen a continuación

a. Peso específico y absorción

- **Para el agregado fino**

El ensayo fue realizado cumpliendo estrictamente con los lineamientos establecidos en las normativas NTP 400.022 y ASTM C128, las cuales definen el procedimiento estandarizado para determinar tanto el peso específico como la absorción de los agregados finos. Estos parámetros son esenciales para evaluar la calidad de los agregados empleados en la elaboración de mezclas de concreto, asegurando su desempeño adecuado en la construcción.

Para obtener los resultados, se emplearon las siguientes ecuaciones:

- ✓ Peso Específico de Masa:

$$Pe = \frac{w}{V - Va}$$

- ✓ Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca:

$$Pe_{SSS} = \frac{500}{V - Va}$$

- ✓ Peso Específico Aparente:

$$Pea = \frac{w}{(V - Va) - (500 - w)}$$

- ✓ Porcentaje de Absorción:

$$Ab (\%) = \frac{500 - w}{w}$$

donde:

w=Masa de muestra secada en estufa en g.

V=Volumen del frasco , cm³

Va=Peso del agua añadida al frasco en g.

- **Para el agregado grueso**

Este ensayo se realizó de acuerdo con lo establecido en las normas NTP 400.021 y ASTM C127, las cuales especifican el procedimiento estándar para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso. Dichas normativas definen el método para medir parámetros como el peso específico aparente, el peso específico de masa, el peso específico en estado saturado superficialmente seco y el porcentaje de absorción. Estos valores son esenciales para evaluar las características y garantizar la calidad de los agregados gruesos utilizados en la producción de concreto.

Para obtener los resultados, se emplearon las siguientes ecuaciones:

- ✓ Peso Específico de Masa:

$$Pe = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

- ✓ Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca:

$$P_{esss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

- ✓ Peso Específico Aparente:

$$Pea = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

- ✓ Porcentaje de Absorción:

$$Ab (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

b. Peso unitario.

El estudio fue realizado bajo los lineamientos especificados en la norma NTP 400.017, en conjunto con los criterios de la norma ASTM C 29. Este método de ensayo tiene como objetivo principal determinar la densidad a granel o el peso unitario de los agregados, ya sea en estado compactado o suelto. Este procedimiento es aplicable a agregados con un tamaño máximo nominal que no supere las 5 pulgadas (125 mm).

La medición de la densidad a granel es un factor esencial para evaluar las propiedades y la calidad de los agregados utilizados en la fabricación de mezclas de concreto, siendo un parámetro clave en el diseño de mezclas y en la construcción de estructuras de concreto.

Para obtener los resultados, primero se calculó el peso específico del agua mediante la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{A - B}{C}$$

donde:

A = Peso del picnómetro con agua (kg).

B = Peso del picnómetro vacío (kg).

C = Volumen del Picnómetro (m³)

Luego, obtuvimos el factor del recipiente mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{Pe}{W - M}$$

donde:

Pe = Peso específico del agua (kg/m³).

W = Peso del recipiente lleno de agua (kg).

M = Peso del recipiente vacío (kg).

Finalmente obtenemos el resultado, haciendo uso de la siguiente ecuación:

✓ Peso unitario:

$$PU = (G - M) \times f$$

donde:

f = factor del recipiente (1/m³)

G = Peso del recipiente con agregado (kg).

c. Contenido de humedad.

Este estudio se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en las normativas NTP 339.185 y ASTM C566, las cuales especifican la metodología para calcular el porcentaje de humedad evaporable presente en agregados tanto finos como gruesos, utilizando el método de secado. La determinación del contenido de humedad en estos materiales es un aspecto crucial para valorar su calidad y garantizar proporciones adecuadas en la preparación de mezclas de concreto. Dado su influencia directa en las características y el desempeño del concreto, la exactitud en esta medición resulta fundamental dentro del ámbito de la construcción.

Para el cálculo de los datos, se emplearon las ecuaciones que se detallan a continuación:

✓ Contenido de Humedad (%):

$$w = \frac{M - S}{S} \times 100$$

donde:

$M = \text{Masadela muestra húmeda (gramos)}$.

$S = \text{Masadela muestra seca (gramos)}$.

d. Análisis granulométrico.

El análisis se llevó a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP-400.012 y ASTM C 136, la cual especifica el método para determinar la distribución granulométrica de agregados finos, gruesos y globales mediante tamizado. El procedimiento incluye el secado de la muestra a peso constante a una temperatura de $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, la selección de tamices adecuados

según las especificaciones del material, y su disposición en orden decreciente de abertura. La muestra se coloca en el tamiz superior y se somete a un proceso de agitación manual durante un tiempo suficiente, asegurando que no más del 1% de la masa retenida en cada tamiz pase a través de él en un minuto de tamizado manual. Finalmente, se calculan los porcentajes que pasan, los retenidos totales o los porcentajes sobre cada tamiz, redondeando al 0.1% más cercano respecto a la masa inicial de la muestra.

e. Módulo de finura

Este parámetro se deriva del análisis granulométrico, el cual se fundamenta en la Norma Técnica Peruana NTP-400.012-2013 (Revisión 2018), según el tipo de agregado evaluado.

En el caso del agregado fino, su cálculo se realiza sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, y dividiendo el resultado entre 100. La fórmula empleada es:

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ RET. ACUM. TAMICES (N}^{\circ} 4, \text{N}^{\circ} 8, \text{N}^{\circ} 16, \text{N}^{\circ} 30, \text{N}^{\circ} 50, \text{N}^{\circ} 100)}{100}$$

Para el agregado grueso, el cálculo implica sumar los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de 1", 3/4", 3/8" y N°4, añadir 500 a esta suma, y luego dividir el total entre 100. La expresión matemática utilizada es:

$$MG = \frac{\Sigma \% \text{ RET. ACUM. TAMICES (1", 3/4", 3/8", \text{N}^{\circ} 4) + 500}{100}$$

f. Determinación del Tamaño Máximo Nominal (TMN):

Este parámetro se obtuvo mediante el análisis granulométrico, según la Norma Técnica Peruana NTP 400.037. El TMN corresponde al tamiz más pequeño de la serie que registra un primer retenido acumulado entre el 5% y el 10%. Este valor es clave para asegurar que los agregados cumplan con las especificaciones en mezclas de concreto, influyendo en su trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Además, garantiza que el tamaño de las partículas sea compatible con el espaciamiento entre refuerzos y las dimensiones de los encofrados.

g. Material más fino que el tamiz N°200.

El análisis se efectuó de acuerdo con las normas NTP 400.018 y ASTM 117, que especifican el método estandarizado para detectar partículas muy finas que logran pasar a través del tamiz de 75 micrómetros (N°200) utilizando el lavado de agregados. Este procedimiento garantiza que los agregados cumplan con los estándares de tamaño de partícula establecidos en las normativas vigentes. Para determinar el contenido de material fino, se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de material fino} = \left(\frac{M1 - M2}{M1} \right) \times 100$$

donde M1 es la masa inicial de la muestra seca y M2 es la masa de la muestra después del lavado y secado.

3.8.3. Diseño de mezclas.

Para el diseño de mezclas se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Determinación de la resistencia especificada: $F'c$

Para nuestra investigación, se ha considerado un $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$, ya que esta resistencia es ampliamente utilizada en estructuras de concreto.

2. Determinación de la resistencia requerida promedio: $f'cr$

3. Cálculo del tamaño máximo nominal: Encontrado en el análisis granulométrico.

4. Determinación del asentamiento: El asentamiento utilizado está definido de acuerdo al tipo de consistencia del concreto, y se determina según la siguiente tabla:

Tabla 7

Relación consistencia - asentamiento

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Húmeda	$\geq 5"$

Fuente: Comité 211 – ACI

5. Determinación del volumen de agua de mezcla.

El volumen unitario de agua se determina considerando la consistencia, el tamaño máximo nominal del agregado y su perfil. Los valores de la siguiente tabla son aplicables a concretos sin aire incorporado, y el agua finalmente debe ajustarse según el porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados fino y grueso.

Tabla 8**Volumen unitario de agua**

Tamaño Máx. del agregado	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular	Agregado redondeado	Agregado angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	197	216
1 1/2"	155	170	170	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente: Comité 211 – ACI

6. Contenido del Aire atrapado

Se obtuvo de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 9**Contenido de aire atrapado**

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Comité 211 – ACI

7. Determinación de la relación agua – cemento: a/c

La proporción de agua y cemento es un factor determinante en la resistencia a la compresión que el concreto alcanza a los 28 días.

Tabla 10**Relación agua - cemento por resistencia**

f'cr (28 días) Kg/cm²	Relación agua/cemento	
	Cemento sin aire incorporado	Cemento con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Comité 211 – ACI

8. Cálculo de la cantidad de cemento.

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua – cemento, se puede determinar el factor cemento por unidad cubica de concreto mediante la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{\text{Volúmen agua}}{\text{Relación a/c}}$$

la unidad del FC esta dada en kg/m³

9. Determinación de las cantidades de agregado fino y grueso:

Después del cálculo de los materiales de la mezcla, mediante volúmenes absolutos, calculamos el volumen absoluto de los agregados, mediante la relación:

$$V_{abs}(\text{agregados}) = 1 - V_{abs}(\text{cemento} + \text{agua} + \text{aire})$$

Utilizando el método del agregado global, se determinará la cantidad de agregado grueso y agregado fino.

Mediante las ecuaciones:

$$(x)MF Af + (y)MF Ag = Mc \dots\dots\dots (a)$$

$$x + y = 1 \dots\dots\dots (b)$$

Despejando:

$$x = a \% \text{ Arena}$$

$$y = b \% \text{ Piedra}$$

donde:

MF Arena: Modulo de fineza del agregado Fino.

MF Ag: Modulo de fineza del agregado grueso.

Mc: Módulo de fineza de la combinación de agregados

a, b: Son los porcentajes de agregado fino y grueso respectivamente obtenido de las ecuaciones (a) y (b).

10. Ajuste del diseño por humedad.

El ajuste del diseño por humedad se lleva a cabo considerando la contribución de humedad y absorción de los agregados.

Datos obtenidos de las propiedades de los agregados:

Humedad del agregado grueso : $\%w_g$

Absorción del agregado grueso : $\%Ab_g$

Humedad del agregado fino : $\%w_f$

Absorción del agregado fino : $\%Ab_f$

Por lo tanto:

$$\text{Peso húmedo } AG = \text{Peso seco } AG \times \%w_g$$

$$\text{Peso húmedo } AF = \text{Peso seco } AF \times \%w_f$$

El aporte de agua a la mezcla está dado por:

$$\text{Agua en } AG (X) = \text{Peso seco } AG \times (\%w_g - \%Ab_g)$$

$$\text{Agua en } AF (Y) = \text{Peso seco } AF \times (\%w_f - \%Ab_f)$$

$$\text{Agua Neta o Efectiva} = \text{Agua de diseño} - (X + Y)$$

11. Proporcionamiento final de la mezcla:

El proporcionamiento final de la mezcla se determinará en términos de peso de diseño, considerando tanto los materiales corregidos por humedad como los no corregidos. Estos pesos estarán referidos al peso del cemento, en función de la cantidad equivalente a una bolsa del mismo.

Para llevar a cabo este proceso, se utilizará un software adecuado, específicamente Microsoft Office Excel 2019. (Apéndice A: Propiedades físicas de los agregados, Apéndice B: Diseño de mezclas según el método del agregado global).

3.8.4. Elaboración de especímenes de concreto

La preparación de las muestras se llevó a cabo siguiendo las normativas ASTM C192 y NTP 339.183, que detallan el proceso de fabricación y curado de especímenes de concreto. Estas normas se aplican a la preparación y curado de muestras directamente en el lugar, utilizando moldes cilíndricos de 15 x 30 cm.

a. Utilización de materiales.

- Moldes cilíndricos: Utilizados para la conformación de especímenes de concreto con dimensiones estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.
- Varilla de compactación: De acero, con un diámetro de 1.6 cm y una longitud de 60 cm, utilizada para compactar el concreto fresco en los moldes.
- Martillo de goma: Con un peso aproximado de 0.5 kg, empleado para asegurar una correcta asentación del molde sobre la superficie y facilitar la compactación del concreto.
- Probetas graduadas de vidrio: Utilizadas para medir con precisión los volúmenes de agua durante el diseño de mezcla.
- Herramientas menores: Incluyen palanas, baldes, cucharones, badilejo, guantes, reglas metálicas y recipientes auxiliares para la manipulación y transporte de materiales.
- Carretilla: Empleada como superficie de trabajo móvil y para recibir el concreto de la mezcladora para facilitar el vertido en los moldes.
- Balanza digital: Con precisión de 0.1 kg, utilizada para el pesaje exacto de agregados, cemento y agua.
- Cono de Abrams: Instrumento estandarizado para la determinación del asentamiento del concreto fresco.
- Mezcladora de concreto: Equipo mecánico utilizado para garantizar una mezcla homogénea de todos los componentes del concreto.
- Elementos de protección personal (EPP).

b. Procedimiento.

b.1. Mezclado.

Una vez definidas las proporciones de diseño de mezcla, se realizó el proceso de mezclado siguiendo los pasos detallados a continuación:

Pesado de materiales:

- Se pesaron con precisión los agregados (grueso y fino) y el cemento utilizando una balanza electrónica.
- El agua de mezcla se midió utilizando una probeta graduada de vidrio, conforme a la cantidad establecida en el diseño.

Preparación de la mezcladora:

- Se humedeció la mezcladora con agua limpia, asegurando condiciones óptimas para evitar la absorción inicial del agua de mezcla por las paredes metálicas.

Secuencia de adición de materiales:

- Se colocó en la mezcladora el agregado grueso junto con aproximadamente el 40 % del agua de mezcla.
- Se activó la mezcladora para dar inicio al proceso mecánico de homogeneización.
- Se incorporó el agregado fino, seguido del cemento.
- Se mezcló la combinación durante 3 minutos continuos, asegurando una distribución uniforme de los materiales.
- Se detuvo la mezcladora y se dejó reposar por 3 minutos, cubriéndola para evitar la pérdida de humedad.
- Se reactivó la mezcladora y se añadió el resto del agua de mezcla, completando un segundo ciclo de mezclado por 2 minutos adicionales.

Descarga de la mezcla:

- Con la mezcladora aún en funcionamiento, se procedió a descargar la mezcla sobre una carretilla metálica limpia, para su posterior ensayo de asentamiento y moldeo de especímenes.

b.2. Medición del asentamiento.

La medición del asentamiento se realizó mediante el ensayo del cono de Abrams, en conformidad con lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 339.035, siguiendo el procedimiento detallado:

Preparación del equipo:

- Se humedeció previamente el cono de Abrams y la placa base metálica, con el fin de evitar la adherencia del concreto fresco y asegurar una medición precisa.
- Se colocó el cono de forma vertical y firme sobre una superficie rígida, asegurándolo contra desplazamientos.

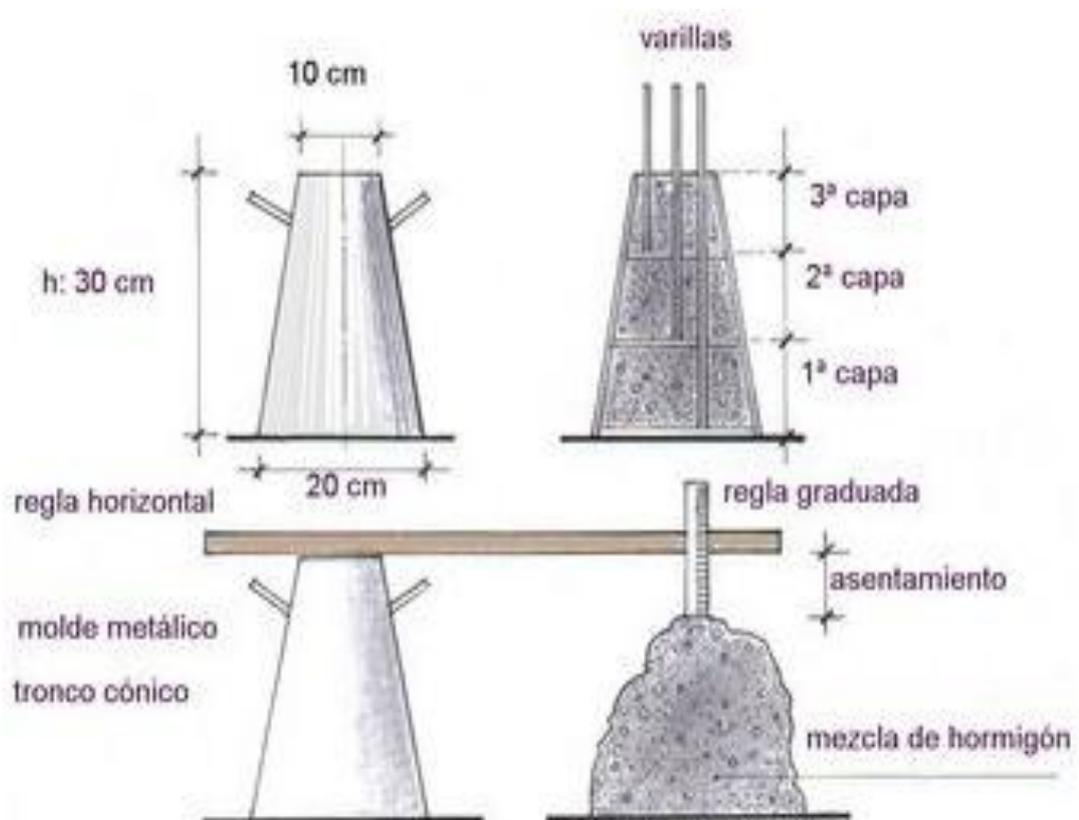
Llenado del cono (en tres capas):

- Se llenó aproximadamente $1/3$ de la altura total del cono utilizando un cucharón.
- Se compactó esta capa con 25 golpes uniformemente distribuidos empleando una varilla metálica de compactación.
- Se añadió la segunda capa hasta completar $2/3$ de la altura.
- Se repitió la compactación con 25 golpes adicionales.
- Finalmente, se llenó el cono hasta el rebose, formando la tercera capa.
- Se aplicaron 25 golpes de compactación y se enrasó la superficie superior con la varilla.

Retiro del molde y medición:

- Se retiró el cono verticalmente en un solo movimiento, sin inclinación ni movimiento lateral, colocándolo boca abajo junto al espécimen.
- Se colocó la varilla de forma horizontal sobre la parte superior del concreto y, con la ayuda de una regla graduada, se midió la diferencia vertical entre la altura original del molde y el punto más alto de la mezcla.
- El valor obtenido se registró como el asentamiento (slump) del concreto fresco, expresado en centímetros (cm).

Figura 5: Control del asentamiento (Slump)



Fuente: (Mayta, 2019).

b.3. Llenado de moldes.

De acuerdo con la NTP 339.183:2020, los moldes cilíndricos se llenaron rápidamente para la creación de especímenes una vez finalizada la medición del asentamiento. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

Preparación previa:

- Para facilitar el desencofrado posterior y evitar daños en las muestras, los moldes cilíndricos se limpiaron primero, se ajustaron y se lubricaron internamente con aceite mineral.

Llenado en tres capas:

1. La primera capa (1/3 de la altura):

Utilizando un cucharón, se vertió el hormigón hasta llenar un tercio del molde.

- Se compactó con 25 golpes de varilla metálica uniformemente espaciados.
- Para eliminar las burbujas de aire, se utilizó un martillo de goma para golpear la pared exterior del molde doce veces.

2. Segunda capa (2/3 de la altura):

- Se añadió más mezcla hasta los dos tercios del molde.
- Una vez más se aplicaron 25 golpes con la barra compactadora y las paredes exteriores recibieron 12 golpes con el martillo de goma.

3. Tercera capa (hasta el borde):

- El molde se llenó un poco más del borde superior.
- El material se compactó con 25 golpes de varilla y 12 golpes de martillo de goma dados externamente.
- Con la varilla, se enrasó cuidadosamente la parte superior del

concreto, se retiró el material sobrante y se pulió la superficie con una plancha metálica.

Pesado del espécimen fresco:

- El peso del espécimen fresco se determinó colocando el molde lleno sobre la balanza y calculando su peso total, necesario para determinar el peso unitario del hormigón fresco.

b.4. Curado de especímenes.

El proceso de curado de especímenes se realizó de acuerdo a los lineamientos especificados en la Norma Técnica Peruana NTP 339.183:2020 con el fin de asegurar el correcto desarrollo de las cualidades mecánicas del concreto. A continuación, se explican las fases en su totalidad:

Curado inicial:

- Tras el llenado y alisado de los moldes, los especímenes fueron protegidos con bolsas de plástico, protegiéndolos de la pérdida de humedad y de la exposición directa al ambiente.
- Los moldes se ubicaron sobre una superficie plana y nivelada, libre de vibraciones y bajo sombra, permaneciendo allí durante las primeras 24 horas para permitir el fraguado inicial del concreto.

Codificación y registro:

- Cada molde fue etiquetado con un código único que incluía la fecha de elaboración, tipo de agregado utilizado y edad de rotura programada (7, 14 o 28 días).

Traslado al pozo de curado:

- Pasadas las 24 horas, los moldes fueron desencofrados cuidadosamente, evitando dañar las superficies del cilindro de concreto.
- Los especímenes fueron introducidos completamente en un pozo de curado con agua potable, según lo estipulado por la norma.

Mantenimiento en el curado:

- Los especímenes permanecieron totalmente sumergidos en agua, hasta alcanzar las edades establecidas para el ensayo a compresión: 7, 14 y 28 días.

3.8.5. Prueba de especímenes a la compresión

Para determinar la resistencia mecánica del concreto a diferentes edades (7, 14 y 28 días), se realizó el experimento de compresión de acuerdo a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.034:2020 - Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. A continuación, se detalla el proceso utilizado:

a. Preparación previa al ensayo:

- Se verificó que los especímenes hayan cumplido el tiempo de curado correspondiente.
- Se extrajeron los especímenes del pozo de curado al menos 30 minutos antes del ensayo, para permitir que se escurriera el exceso de agua superficial.
- Se limpiaron las superficies de apoyo de los cilindros, eliminando residuos o irregularidades.

b. Verificación dimensional:

- Se midió el diámetro y la altura de cada cilindro, con el fin de calcular el área de carga efectiva.

c. Colocación en la máquina de ensayo:

- Cada espécimen fue centrado cuidadosamente entre las placas de compresión de la máquina.
- Se verificó el alineamiento vertical del eje del cilindro con el eje de carga de la máquina.
- Se aplicó una carga axial uniforme mediante la máquina hidráulica, sin choques ni interrupciones.

d. Cálculo de la resistencia a la compresión:

- La resistencia a la compresión ($f'c$) se calculó mediante la fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Donde:

$f'c$: resistencia a la compresión (Kg/cm²).

P: carga máxima aplicada (Kg).

A: área de la base del cilindro (cm²).

3.8.6. Técnica de recolección de datos y resultados

Para garantizar la validez y fiabilidad de los datos recogidos para este estudio, se emplearon técnicas rigurosas de recolección y análisis de acuerdo con las normas técnicas y la metodología establecidas. Se realizaron pruebas de laboratorio, documentándose mediante cuadernos de campo, registros fotográficos y formatos digitales. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

1. Propiedades físicas de los agregados naturales:

Para evaluar los áridos naturales se realizaron las siguientes pruebas: análisis granulométrico, determinación del peso específico, contenido de humedad, peso volumétrico (en estado suelto y compactado) y porcentaje de absorción. Cada prueba se detalla en el Apéndice A.

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 11

Propiedades físicas del agregado natural fino y grueso

Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Perfil	-	Angular
Peso específico de masa	2.62 g/cm ³	2.56 g/cm ³
Peso unitario suelto	1601 kg/m ³	1385 kg/m ³
Peso unitario compactado	1732 kg/m ³	1514 kg/m ³
Contenido de humedad (%)	5.46 %	0.43 %
Absorción (%)	1.26 %	2.11 %
Módulo de finura	3.14	6.86
Porcentaje que pasa malla N° 200 (%)	1.51 %	0.29%
Módulo de finura del agregado global	Mc = 5.202	

Fuente. Elaboración propia.

2. Diseño de mezclas

En este estudio, para la elaboración del concreto con resistencia característica $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, se empleó el método del agregado global. Las proporciones de los materiales fueron ajustadas considerando los objetivos estructurales del diseño, así como las propiedades físicas de los agregados.

Los criterios de dosificación y especificaciones técnicas completas se detallan en el Apéndice B. A continuación, se presenta un resumen de la dosificación por metro cúbico (m^3), para agregados naturales y agregados reciclados:

Tabla 12

Resumen de los materiales de concreto con agregados naturales para un metro cúbico

Cemento	:	298.25 kg/m^3
Agua	:	187.00 l/m^3
Agregado fino	:	837.35 kg/m^3
Agregado grueso	:	969.15 kg/m^3
Aire total (%)	:	2.00

Fuente. Elaboración propia.

Con el fin de analizar su influencia del concreto reciclado en la resistencia a la compresión del concreto, en la elaboración del concreto experimental se hizo el reemplazo de los agregados naturales.

Tabla 13

Resumen de los materiales de concreto con agregados reciclados para un metro cúbico

Cemento	:	298.25 kg/m^3
Agua	:	187.00 l/m^3
Agregado fino reciclado	:	837.35 kg/m^3
Agregado grueso reciclado	:	969.15 kg/m^3
Aire total (%)	:	2.00

Fuente. Elaboración propia.

3. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto se evaluó a las edades de 7, 14 y 28 días, empleando especímenes cilíndricos, debidamente elaborados y curados según la NTP 339.183 y ensayados conforme a la NTP 339.034.

Para cada edad de ensayo (7, 14 y 28 días), se sometieron a compresión un total de veinte probetas por tipo de concreto. Los resultados individuales se consignan en el Apéndice C, mientras que los valores promedio obtenidos se resumen en la Tabla 14.

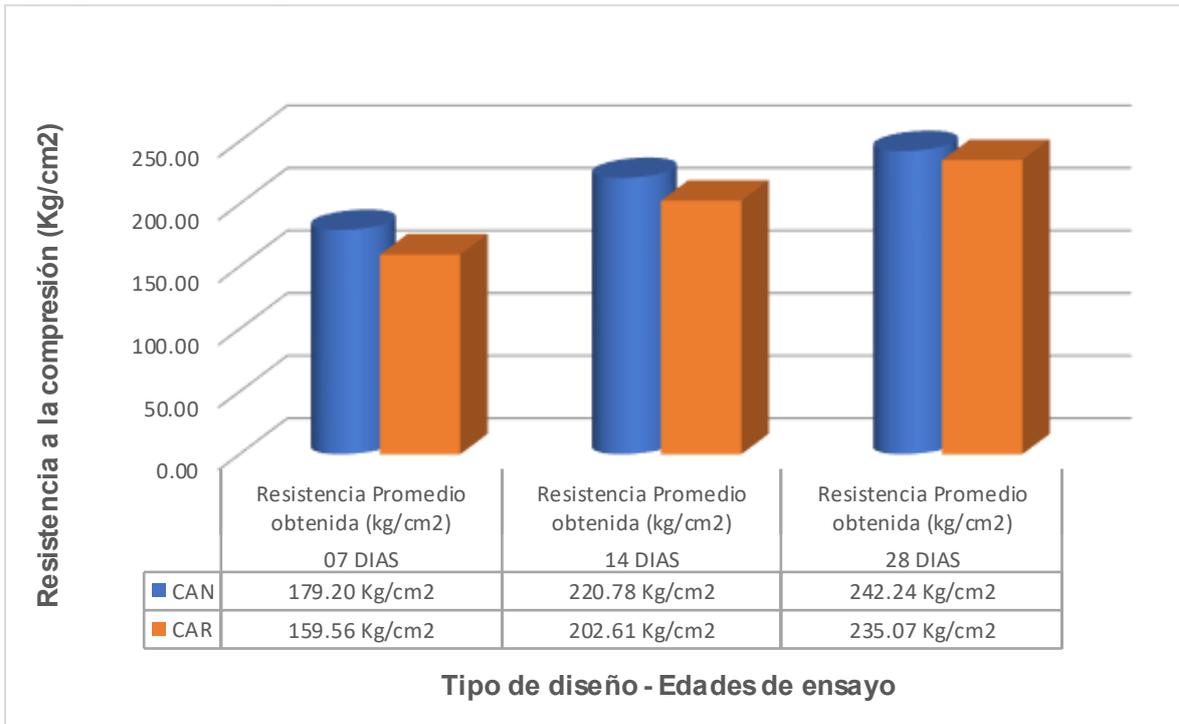
Tabla 14

Resultados de resistencia a compresión a los 7,14 y 28 días y según el tipo de concreto

Edad (días)	Tipo de concreto	Resistencia promedio (kg/cm ²)	% respecto a f'c = 210 kg/cm ²
7	Agregado natural (CAN)	179.20	85.33%
	Agregado reciclado (CAR)	159.56	75.98 %
14	Agregado natural (CAN)	220.78	105.13%
	Agregado reciclado (CAR)	202.61	96.48%
28	Agregado natural (CAN)	242.24	115.35%
	Agregado reciclado (CAR)	235.07	111.94%

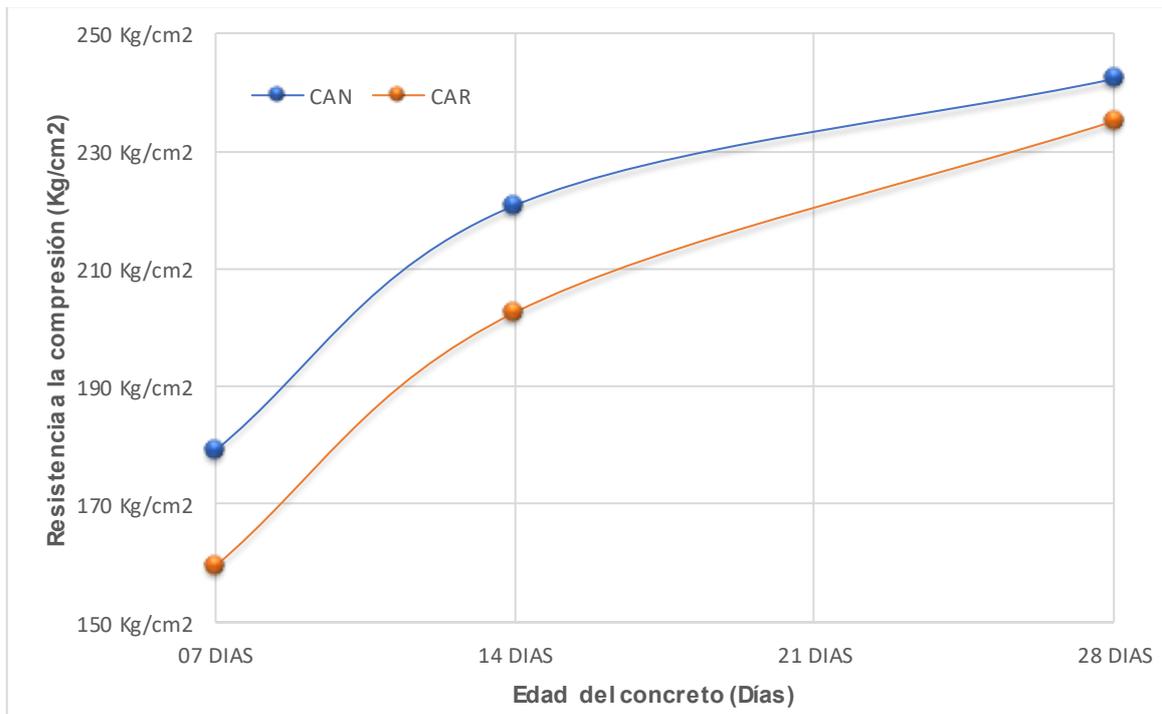
Fuente. Elaboración propia.

Figura 6: Comparación de la resistencia a la compresión del concreto con agregado natural y reciclado



Fuente. Elaboración propia.

Figura 7: Evolución de la resistencia a la compresión del concreto según tipo de agregado.



Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión de resultados

4.1.1 De las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Las características físicas más relevantes de los agregados naturales extraídos de la cantera Doña Ramona se muestran en la Tabla 11. De acuerdo a los resultados obtenidos, estos materiales son aptos para ser utilizados en el diseño de la mezcla estándar de concreto, ya que satisfacen los requerimientos señalados en las Normas Técnicas Peruanas NTP 400.011 y NTP 400.037.

4.1.2 Del diseño de mezcla

Las Tabla 12 y Tabla 13, presentan las proporciones de los componentes empleados en la elaboración del concreto experimental, tanto en el caso del concreto con agregado naturales (CAN) como en el concreto con agregados reciclados (CAR). Dado que ambas mezclas se elaboraron siguiendo el mismo patrón de dosificación, permitió evaluar la influencia del concreto reciclado en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico $f'c=210$ kg/cm².

4.1.3 De la resistencia a la compresión

La Tabla 14, junto con las Figuras 6 y 7, permite visualizar de manera integral la evolución de la resistencia a la compresión de los concretos evaluados. Se observa que el concreto con agregados reciclados presenta un desempeño mecánico ligeramente inferior en las primeras edades, debido a

las características físicas del agregado como su mayor absorción y textura superficial irregular. No obstante, conforme avanza el curado, este concreto desarrolla resistencias progresivamente mayores, acercándose e incluso superando el valor de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

La comparación directa con el concreto convencional evidencia que:

- A los 7 días, el concreto con agregado natural (CAN) alcanza 179.20 kg/cm^2 (85.33% de $f'c$), mientras que el concreto reciclado (CAR) llega a 159.56 kg/cm^2 (75.98%). Este resultado evidencia una mayor velocidad de ganancia inicial en el concreto convencional.
- A los 14 días, el CAN supera el $f'c$ con 220.78 kg/cm^2 (105.13%) y el CAR se acerca a ese valor con 202.61 kg/cm^2 (96.48%). Aquí se reduce la brecha de desempeño entre ambos concretos.
- A los 28 días, ambos concretos superan ampliamente el $f'c$; CAN con 242.24 kg/cm^2 (115.35%) y CAR con 235.07 kg/cm^2 (111.94%). La diferencia se reduce a solo 3.41%, lo que valida la eficiencia del concreto reciclado en estado endurecido.

Si bien el agregado reciclado introduce una adversidad inicial en la resistencia, esta diferencia disminuye significativamente a los 28 días. Esto confirma que, bajo un diseño adecuado y condiciones de curado controladas, el concreto con agregado reciclado puede cumplir satisfactoriamente con los requisitos estructurales establecidos.

4.2. Corroboración de hipótesis

- La resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es mayor en un 5% a la del concreto con agregado natural, que cumple con la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado.

Tras la realización de los ensayos experimentales, se obtuvo que el concreto con agregado reciclado alcanzó una resistencia promedio de 235.07 kg/cm^2 , mientras que el concreto con agregado natural obtuvo un valor promedio de 242.24 kg/cm^2 a los 28 días de curado. Esta diferencia representa una variación relativa de aproximadamente -3.41% , lo que indica que el concreto con agregado reciclado no superó al concreto con agregados naturales en términos de resistencia a la compresión, sin embargo, ambos tipos de concreto cumplen con la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al finalizar esta investigación, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Se determinó que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es menor en 3.41% a la del concreto con agregado natural, que cumple con la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días de curado.
- ✓ En comparación con el concreto convencional de agregados naturales, el concreto con agregados reciclados presentó resistencias menores en todas las edades evaluadas bajo el mismo diseño de mezcla. A los 7 días, la resistencia del concreto reciclado fue aproximadamente un 9.35% inferior a la del concreto natural; esta diferencia se redujo a un 3.41% a los 28 días ($235.07 \text{ vs } 242.24 \text{ kg/cm}^2$). Esto indica que el uso de agregados reciclados reduce un poco el crecimiento temprano de la resistencia, pero que a medida que avanza el periodo de curado, la diferencia de resistencia entre los dos concretos se reduce.
- ✓ Se verificó que el concreto con agregados reciclados cumple con la resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, al alcanzar 235.07 kg/cm^2 a los 28 días (111.94% de $f'c$). La hipótesis planteada queda confirmada, ya que, a pesar de la menor resistencia del concreto reciclado con respecto al convencional, dicho concreto logró alcanzar y superar la resistencia requerida al término de los 28 días de curado.

5.2. Recomendaciones

Al concluir esta investigación, se establecieron las siguientes recomendaciones, las cuales se describen a continuación:

- ✓ Se recomienda realizar investigaciones evaluando otros porcentajes de reemplazo parcial (por ejemplo, 25%, 50% o 75%) de agregados naturales por reciclados, con el fin de identificar el punto óptimo de la resistencia mecánica.
- ✓ Dado que se observó que el concreto con agregados reciclados fragua rápidamente durante su preparación, se sugiere realizar investigaciones que incluyan el uso de aditivos retardantes de fragua para controlar este comportamiento.
- ✓ Se recomienda realizar un análisis químico comparativo entre los componentes del concreto reciclado proveniente de estructuras demolidas y los materiales constituyentes del nuevo concreto, con el fin de identificar posibles reacciones químicas, presencia de contaminantes, o compuestos residuales que puedan influir en la durabilidad o compatibilidad de la mezcla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barzola Gastelú, C. (2019). Método del agregado global para el diseño de mezclas de concreto. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
2. Bermúdez Hernández, R. D. (2021). Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición como agregado grueso. Universidad de la Costa, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, Barranquilla, Colombia.
3. Carbonel Macedo, R. A., & Quinteros Vásquez, B. M. (2020). Uso de agregados reciclados proveniente del concreto de edificaciones en Lima Metropolitana para su aplicación en veredas con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Civil. Lima. Perú.
4. CEMEX. (2019). ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? Recuperado de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->.
5. Cruz Zúñiga, N., & Ramírez Picado, D. (2022). Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
6. De Souza Maia, P., Da Silva Júnior, L. A., Valle Salles, P., & Silva Carvalho, M. V. (2022). Evaluación técnica de hormigón estructural elaborado con árido grueso procedente de residuos de construcción y demolición. Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil.

7. Marín, L. (2018). La importancia del curado del concreto y distintos métodos para hacerlo correctamente. Recuperado de <https://es.linkedin.com/pulse/la-importancia-del-curado-concreto-y-distintos-m%C3%A9todos-luis-marin>.
8. McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2018). Diseño de concreto reforzado (10.^a ed.). Alfaomega Grupo Editor. México.

NORMAS:

1. NTP 339.088. (2021): HORMIGON (CONCRETO). Agua para morteros y hormigones de cementos Portland. Requisitos.
2. NTP 339.185 (2021): AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido total de humedad evaporable en agregados por secado.
3. NTP 400.010 (2020): AGREGADOS. Extracción y Preparación de muestras.
4. NTP 400.017. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.
5. NTP 400.018. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (N° 200) por lavado en agregados.
6. NTP 400.021. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso. Lima. Perú.
7. NTP 400.037. (2021). AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). Lima. Perú.
8. NTP 400.011:2020. (2020). Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.

APÉNDICES

Apéndice A. Ensayo de los agregados

La siguiente información ha sido recopilada mediante pruebas de laboratorio que proporcionan datos precisos y fiables.

A.1. Propiedades del agregado fino natural

Tabla 15

Cálculo del peso específico del agua

Peso de la fiola en (g) =	168
Peso de la fiola + Agua en (g) =	666.3
Volumen de la fiola (cm ³) =	500.00
Peso específico (g/cm ³) =	0.99660
P.e en (Kg/m ³) =	996.60

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16

Cálculo del factor f

Peso del Molde (g)	3876.00
Peso del Molde +Agua (g) =	6850.00
Peso Agua (Kg) =	2.9740
f (1/m ³) =	335.104

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 17**Peso unitario suelto del agregado fino natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	3876.00	3876.00	3876.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	8657.00	8658.00	8648.00	
Peso de la muestra suelta	g	4781.00	4782.00	4772.00	
Factor (f)		335.104	335.104	335.104	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.60	1.60	1.60	1.60
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1602	1602	1599	1601

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18**Peso unitario compactado del agregado fino natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	3876.00	3876.00	3876.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	9055.00	9041.00	9038.00	
Peso de la muestra suelta	g	5179.00	5165.00	5162.00	
Factor (f)		335.104	335.104	335.104	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.74	1.73	1.73	1.73
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1735.50	1730.81	1729.81	1732

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 19**Peso específico del agregado fino natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de fiola	g	168.0	168.0	168.0	
Peso de la fiola +agua hasta menisco	g	666.3	666.3	666.3	
peso de la fiola +agua + muestra	g	979.7	979.8	979.6	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	493.70	493.80	493.80	
volumen de agua añadida al frasco (g)	g	311.70	311.80	311.60	
Peso Específico de Masa	g/m ³	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/m ³	2.66	2.66	2.65	2.66
Peso Específico de Aparente	g/m ³	2.71	2.71	2.71	2.71

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20**Absorción del agregado fino natural (%)**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	493.70	493.80	493.80	
Absorción (%)	%	1.276	1.256	1.256	1.26

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21**Contenido de humedad del agregado fino natural (%)**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente	g	93.50	95.40	89.90	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1542.00	1642.00	1477.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	1468.00	1561.00	1405.00	
Contenido de Humedad	W%	5.38	5.53	5.47	5.46

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 22**Ensayo partículas < N° 200 para el agregado fino natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	500.00	500.00	500.00	
Peso de la muestra Lavada	g	492.10	492.80	492.50	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	7.90	7.20	7.50	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	1.580%	1.440%	1.500%	1.51%

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 23**Ensayo N° 01 de granulometría de agregado fino natural**

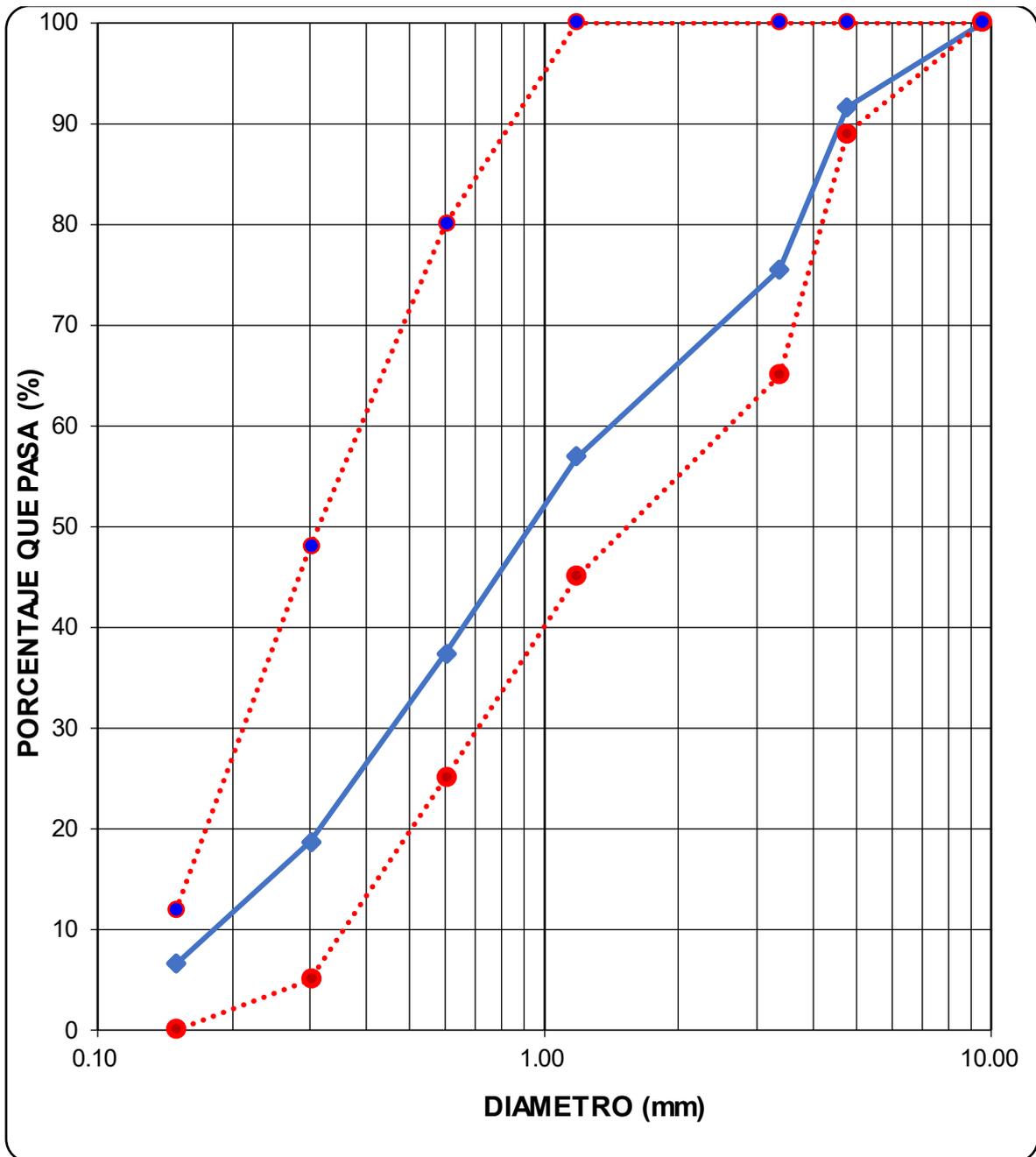
Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	101.00	8.42	8.42	91.58
N°8	3.36	193.00	16.08	24.50	75.50
N 16	1.18	223.00	18.58	43.08	56.92
N 30	0.60	235.00	19.58	62.67	37.33
N 50	0.30	224.00	18.67	81.33	18.67
N 100	0.15	145.00	12.08	93.42	6.58
N 200	0.075	70.00	5.83	99.25	0.75
Cazoleta	--	9	0.75	100.00	0.00
TOTAL		1200.00			

MÓDULO DE FINURA = 3.13

Fuente. Elaboración propia.

Figura 8

Curva granulométrica del ensayo N° 01 del agregado fino natural



D60 =	1.30	D30 =	0.46	D10 =	0.16
	Cu =	8.13	Cc =	1.02	

Fuente. Elaboración propia.

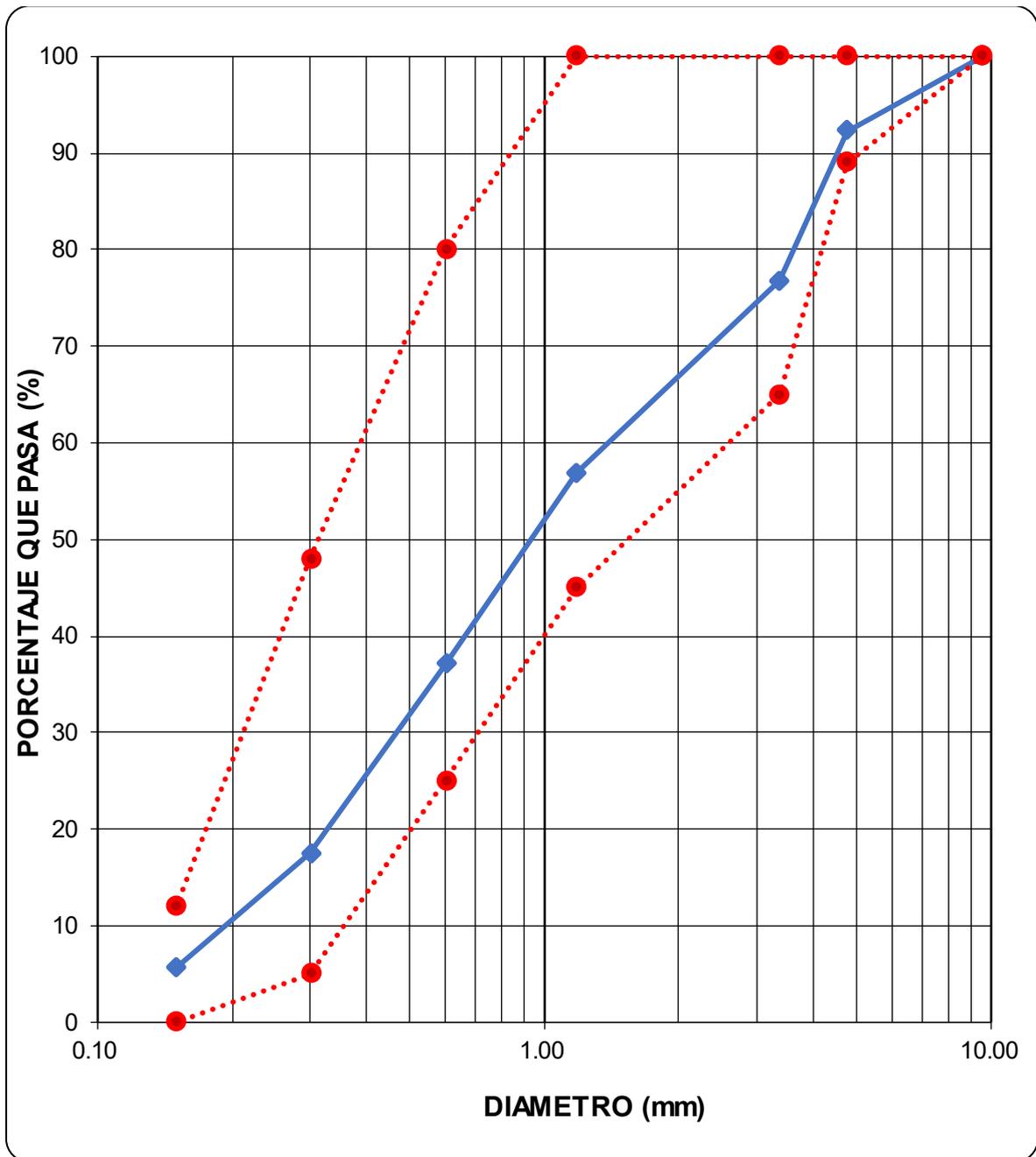
Tabla 24**Ensayo N° 02 de granulometría del agregado fino natural**

Peso Seco Inicial =		1200.00			
Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	93.00	7.75	7.75	92.25
N°8	3.36	186.00	15.50	23.25	76.75
N 16	1.18	239.00	19.92	43.17	56.83
N 30	0.60	237.00	19.75	62.92	37.08
N 50	0.30	235.00	19.58	82.50	17.50
N 100	0.15	142.00	11.83	94.33	5.67
N 200	0.075	60.00	5.00	99.33	0.67
Cazoleta	--	8	0.67	100.00	0.00
TOTAL		1200.00			
MÓDULO DE FINURA = 3.14					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 9

Curva granulométrica del ensayo N° 02 del agregado fino natural



D60 =	1.30	D30 =	0.49	D10 =	0.18
	Cu =	7.22	Cc =	1.03	

Fuente. Elaboración propia.

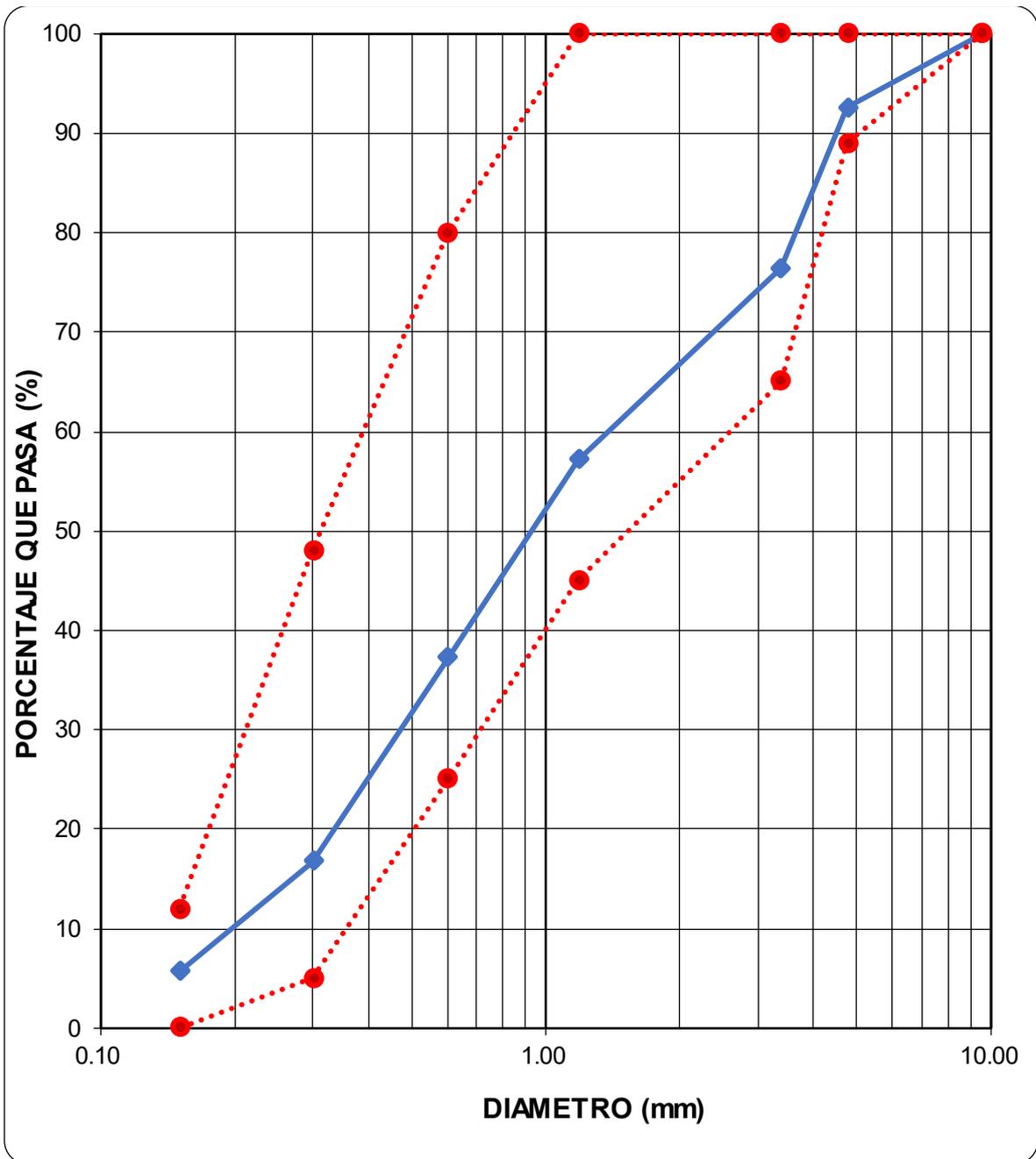
Tabla 25**Ensayo N° 03 de granulometría del agregado fino natural**

Peso Seco Inicial =		1200.00			
Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	89.00	7.42	7.42	92.58
N°8	3.36	194.00	16.17	23.58	76.42
N 16	1.18	231.00	19.25	42.83	57.17
N 30	0.60	239.00	19.92	62.75	37.25
N 50	0.30	246.00	20.50	83.25	16.75
N 100	0.15	133.00	11.08	94.33	5.67
N 200	0.075	61.00	5.08	99.42	0.58
Cazoleta	--	7	0.58	100.00	0.00
TOTAL		1200.00			
MÓDULO DE FINURA = 3.14					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 10

Curva granulométrica del ensayo N° 03 del agregado fino natural



D60 =	1.30	D30 =	0.49	D10 =	0.19
	Cu =	6.84	Cc =	0.97	

Fuente. Elaboración propia.

A.2. Propiedades del agregado grueso natural

Tabla 26

Peso unitario suelto del agregado grueso natural

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4201.00	4201.00	4201.00	
Peso de muestra suelta + recipiente	g	17488.00	17473.00	17484.00	
Peso de la muestra suelta	g	13287.00	13272.00	13283.00	
Factor (f)		104.258	104.258	104.258	
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.385	1.384	1.385	
Peso Unitario Suelto	Kg/m ³	1385	1384	1385	1385

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 27

Peso unitario compactado del agregado grueso natural

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del recipiente	g	4201	4201.00	4201.00	
Peso de muestra Compactada + recipiente	g	18722	18711	18732	
Peso de la muestra compactada	g	14521	14510	14531	
Factor (f)		104.258	104.258	104.258	
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.514	1.513	1.515	1.51
Peso Unitario Compactado	Kg/m ³	1514	1513	1515	1514

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28**Peso específico del agregado grueso natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	4388.60	4388.80	4389.20	
Peso de canastilla sumergida	g	2538.00	2538.00	2538.00	
Peso de la muestra superficialmente Seca	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra secada al horno	g	2933.20	2943.40	2937.80	
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1850.60	1850.80	1851.20	
Peso Especifico de Masa	g/cm ³	2.55	2.56	2.56	2.56
Peso Especifico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm ³	2.61	2.61	2.61	2.61
Peso Especifico de Aparente	g/cm ³	2.71	2.69	2.70	2.70

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 29**Absorción (%) del agregado grueso natural**

Descripción	Unid	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de la muestra Superficialmente Seca	g	3000	3000	3000	
Peso de la muestra secada al horno	g	2933.2	2943.4	2937.8	
Absorción (%)	%	2.277	1.923	2.117	2.11

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 30**Contenido de humedad (%) del agregado grueso natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso del Recipiente	g	360.60	364.00	361.30	
Peso del Recipiente + muestra Húmeda	g	1548.00	1563.00	1491.00	
Peso del Recipiente + muestra seca	g	1544.00	1558.00	1485.00	
Contenido de Humedad	W %	0.338	0.419	0.534	0.43

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 31**Ensayo Partículas < N° 200 para el agregado grueso natural**

Descripción	Unid.	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso de Muestra Original	g	3000.00	3000.00	3000.00	
Peso de la muestra Lavada	g	2991.00	2992.10	2991.20	
Peso del Material que pasa el Tamiz N° 200	g	9.00	7.90	8.80	
% de Material que Pasa el Tamiz N° 200	%	0.300%	0.263%	0.293%	0.29%

Fuente. Elaboración propia.

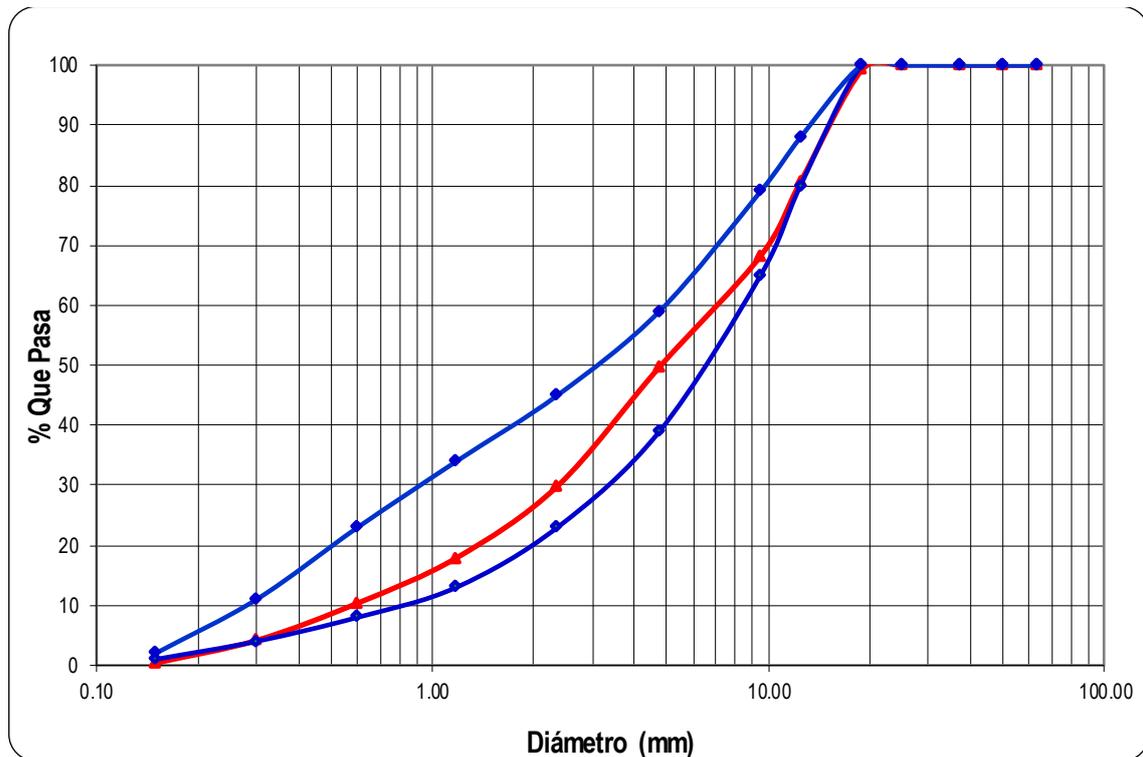
Tabla 32**Ensayo granulométrico del agregado global natural**

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm.)	Peso retenido (g.)	Porcentaje retenido		(% Que pasa	DIN 1045	
			Parcial (%)	Retenido acumulado (%)		A32	B32
3/4"	19.00	66.00	0.83	0.83	99.18	100	100
1/2"	12.50	1488.00	18.60	19.43	80.58	80	88
3/8"	9.50	988.00	12.35	31.78	68.23	65	79
N°4	4.75	1480.00	18.50	50.28	49.73	39	59
N°8	2.36	1588.00	19.85	70.13	29.88	23	45
N°16	1.18	958.00	11.98	82.10	17.90	13	34
N°30	0.60	602.00	7.53	89.63	10.38	8	23
N°50	0.30	497.00	6.21	95.84	4.16	4	11
N°100	0.15	302.00	3.78	99.61	0.39	1	2
Cazoleta		31.00	0.39	100.00	0.00	-	-
PESO TOTAL DE MUESTRA		8000.00			MC =	5.202	

Fuente. Elaboración propia.

Figura 11

Curva granulométrica del agregado global natural



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 33

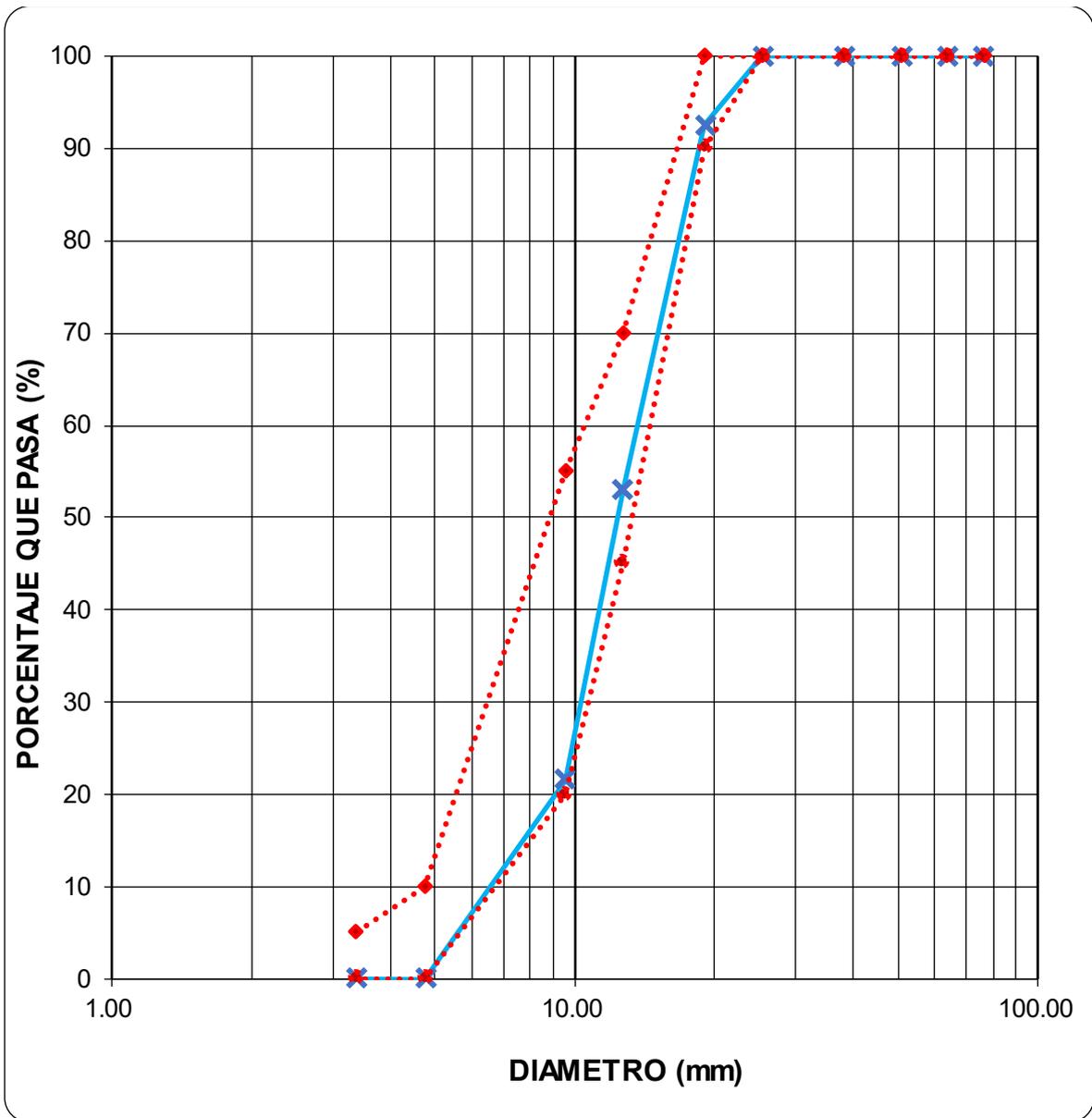
Ensayo N° 01 de granulometría del agregado grueso natural

Peso Seco Inicial =		8000.00			
N°	Tamiz Abertura (mm)	Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
3/4"	19.05	600.00	7.49	7.49	92.51
1/2"	12.70	3171.00	39.58	47.07	52.93
3/8"	9.53	2514.00	31.38	78.44	21.56
N°4	4.75	1725.00	21.53	99.98	0.02
Cazoleta	--	2	0.03	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA = 6.84					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 12

Curva granulométrica del ensayo N° 01 del agregado grueso natural



D60 =	14.00	D30 =	11.00	D10 =	6.20
	Cu =	2.26	Cc =	1.39	

Fuente. Elaboración propia.

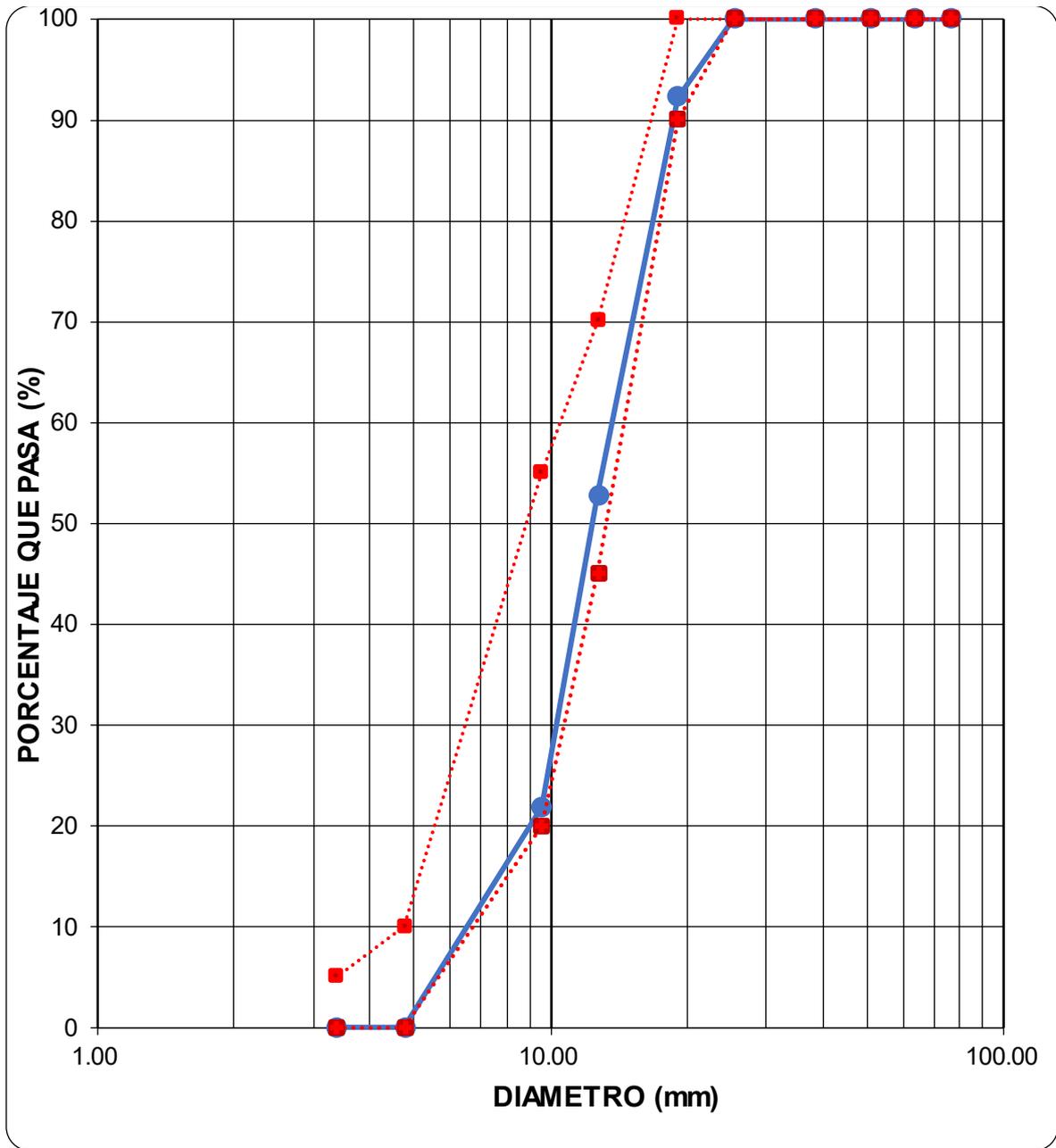
Tabla 34**Ensayo N° 02 de Granulometría del agregado grueso**

		Peso Seco Inicial =		8000.00	
N°	Tamiz	Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje Que Pasa
	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	
3/4"	19.05	622.00	7.78	7.78	92.23
1/2"	12.70	3156.00	39.45	47.23	52.78
3/8"	9.53	2470.00	30.88	78.10	21.90
N°4	4.75	1749.00	21.86	99.96	0.04
Cazoleta	--	3	0.04	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA			=	6.86	

Fuente. Elaboración propia.

Figura 13

Curva granulométrica del ensayo N° 02 del agregado grueso



D60 =	14.00	D30 =	11.00	D10 =	6.20
	Cu =	2.26	Cc =	1.39	

Fuente. Elaboración propia.

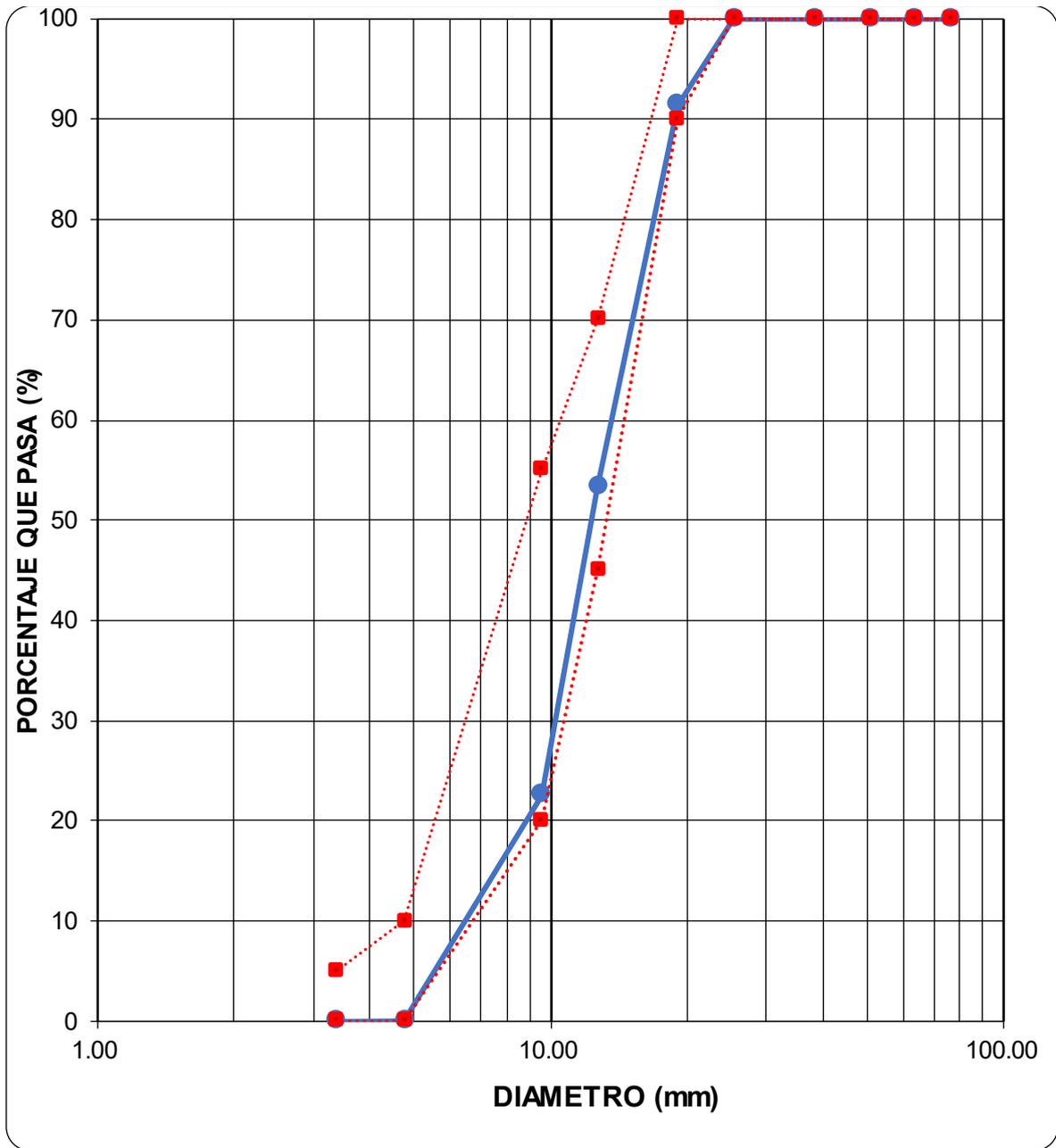
Tabla 35**Ensayo N° 03 de granulometría del agregado grueso natural**

Tamiz		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje
N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Que Pasa
3/4"	19.05	687.00	8.59	8.59	91.41
1/2"	12.70	3045.00	38.06	46.65	53.35
3/8"	9.53	2459.00	30.74	77.39	22.61
N°4	4.75	1806.00	22.58	99.96	0.04
Cazoleta	--	3	0.04	100.00	0.00
MÓDULO DE FINURA =				6.858	

Fuente. Elaboración propia.

Figura 14

Curva granulométrica del ensayo N° 03 del agregado grueso natural



D60 =	13.00	D30 =	10.00	D10 =	6.20
	Cu =	2.10	Cc =	1.24	

Fuente. Elaboración propia.

Apéndice B. DISEÑO DE MEZCLAS

A continuación, se presenta el procedimiento seguido para el diseño de mezclas, para lo cual se tuvo en cuenta las propiedades obtenidas de los agregados de la cantera Doña Ramona:

Descripción	A. Fino	A. Grueso
P. Unitario suelto seco	1601.00 Kg/m ³	1385.00 Kg/m ³
P. Unitario Compactado seco	1732.00 Kg/m ³	1514.00 Kg/m ³
P. Específico Masa	2.62 gr/cm ³	2.56 gr/cm ³
Contenido de Humedad	5.46 %	0.43 %
% de Absorción	1.26 %	2.11 %
Módulo de fineza	3.14	6.86
Tamaño Máximo nominal		3/4 "
Módulo de finura del agregado global	Mc = 5.202	

El cemento usado para la fabricación del concreto es el Cemento Portland Pacasmayo Tipo I, cuyo peso específico es 3.11 gr/cm³.

1. Resistencia de diseño

Se proyectó un concreto con una resistencia a la compresión de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

De acuerdo con los datos granulométricos y las características del concreto a producir, se seleccionó un tamaño máximo nominal del agregado de 3/4".

3. Consistencia y asentamiento

Se eligió una mezcla con consistencia plástica, correspondiente a un asentamiento entre 3" y 4", adecuada para la elaboración de probetas en condiciones de laboratorio.

4. Volumen unitario de agua

Según el ACI, para un agregado angular de 3/4" y asentamiento de 3"-4", el volumen unitario de agua requerido es de 204 litros/m³.

5. Contenido de aire atrapado

Para el mismo tamaño de agregado, el contenido de aire atrapado estimado es de 2%, de acuerdo con las recomendaciones del ACI.

6. Relación agua/cemento

Usando la tabla del ACI para concreto sin aire incorporado y con $f'c = 210$ kg/cm², se seleccionó una relación agua/cemento de 0.684.

7. Determinación del contenido de cemento

Se calculó el contenido de cemento mediante la fórmula:

$$F. C. = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{Relación } \frac{a}{c}}$$

$$F. C. = \frac{204}{0.684}$$

$$F. C. = 298.25 \text{ kg/m}^3$$

8. Cálculo del volumen absoluto de materiales

- Cemento: $298.25 / 3110 = 0.096 \text{ m}^3$
- Agua: $204 / 1000 = 0.204 \text{ m}^3$
- Aire: $2 / 100 = 0.020 \text{ m}^3$

Suma parcial: 0.320 m^3

Volumen restante para agregados: **0.680 m^3**

9. Distribución porcentual de agregados

Con un módulo de combinación de agregados de $M_c=5.202$ y mediante el método del agregado global, se determinó el porcentaje de agregados:

- Agregado fino: **44.57%**
- Agregado grueso: **55.43%**

$$(x)MF Af + (y)MF Ag = M_c \dots\dots\dots (a)$$

$$x + y = 1 \dots\dots\dots (b)$$

10. Cálculo de agregados en seco

- Agregado fino: **794.00 kg/m³**
- Agregado grueso: **965.00 kg/m³**

11. Corrección por humedad y absorción

- Agua corregida: **187 l/m³**
- Agregado fino corregido: **837.35 kg/m³**
- Agregado grueso corregido: **969.15 kg/m³**

12. Dosificación final:

- En peso: **1: 2.81: 3.25**
- En volumen: **1: 2.50: 3.51**
- Agua por bolsa de cemento: **26.6 litros**

13. Dosificación por probeta (volumen: 0.00548 m³)

- Cemento: 1.716 kg
- Agua: 1.075 L
- Agregado fino: 4.818 kg
- Agregado grueso: 5.577 kg

14. Materiales para 60 probetas

- Cemento: 108.116 kg
- Agua: 67.739 L
- Agregado fino: 303.545 kg
- Agregado grueso: 351.322 kg

Apéndice C. RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

C.1. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados naturales.

Tabla 36

Resistencia a la compresión a los 7 días, del concreto con agregados naturales.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
1.0	CAN - 01	181.70	32500.00	178.87
2.0	CAN - 02	181.46	33000.00	181.86
3.0	CAN - 03	181.94	31500.00	173.14
4.0	CAN - 04	182.18	32500.00	178.40
5.0	CAN - 05	180.03	31500.00	174.97
6.0	CAN - 06	184.09	33000.00	179.26
7.0	CAN - 07	184.58	33500.00	181.50
8.0	CAN - 08	185.06	34000.00	183.73
9.0	CAN - 09	183.85	33000.00	179.49
10.0	CAN - 10	182.41	32000.00	175.42
11.0	CAN - 11	181.94	33000.00	181.38
12.0	CAN - 12	179.79	33500.00	186.33
13.0	CAN - 13	180.98	32500.00	179.58
14.0	CAN - 14	180.74	31000.00	171.51
15.0	CAN - 15	181.70	32000.00	176.12
16.0	CAN - 16	182.65	33000.00	180.67
17.0	CAN - 17	180.98	32500.00	179.58
18.0	CAN - 18	183.85	33000.00	179.49
19.0	CAN - 19	180.98	33000.00	182.34
20.0	CAN - 20	180.27	32500.00	180.29

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 179.196
- Desviación Estándar: 3.557
- Coeficiente de Variación (%): 1.985

Tabla 37

Resistencia a la compresión a los 14 días, del concreto con agregados naturales.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
1.0	CAN - 01	176.71	38500.00	217.87
2.0	CAN - 02	184.33	40500.00	219.71
3.0	CAN - 03	179.55	39500.00	219.99
4.0	CAN - 04	179.55	39000.00	217.21
5.0	CAN - 05	181.70	40000.00	220.15
6.0	CAN - 06	180.03	39000.00	216.63
7.0	CAN - 07	181.46	40000.00	220.44
8.0	CAN - 08	180.03	40500.00	224.96
9.0	CAN - 09	180.03	39500.00	219.41
10.0	CAN - 10	179.55	40000.00	222.78
11.0	CAN - 11	182.41	40500.00	222.02
12.0	CAN - 12	179.32	40000.00	223.07
13.0	CAN - 13	184.33	41000.00	222.42
14.0	CAN - 14	180.03	40000.00	222.19
15.0	CAN - 15	176.71	38500.00	217.87
16.0	CAN - 16	179.55	39500.00	219.99
17.0	CAN - 17	181.46	40500.00	223.19
18.0	CAN - 18	181.46	40000.00	220.44
19.0	CAN - 19	177.89	39500.00	222.04
20.0	CAN - 20	181.46	40500.00	223.19

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 220.778
- Desviación Estándar: 2.27
- Coeficiente de Variación (%): 1.028

Tabla 38

Resistencia a la compresión a los 28 días, del concreto con agregados naturales.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
1.0	CAN - 01	176.71	42500.00	240.50
2.0	CAN - 02	182.41	44000.00	241.21
3.0	CAN - 03	179.08	41000.00	228.95
4.0	CAN - 04	182.18	42250.00	231.92
5.0	CAN - 05	181.46	42500.00	234.21
6.0	CAN - 06	180.03	44000.00	244.41
7.0	CAN - 07	179.08	44500.00	248.49
8.0	CAN - 08	180.03	43250.00	240.24
9.0	CAN - 09	180.03	44000.00	244.41
10.0	CAN - 10	182.41	44000.00	241.21
11.0	CAN - 11	181.46	45000.00	247.99
12.0	CAN - 12	184.33	44500.00	241.41
13.0	CAN - 13	182.89	45500.00	248.78
14.0	CAN - 14	183.85	45000.00	244.76
15.0	CAN - 15	180.98	44000.00	243.12
16.0	CAN - 16	184.82	45200.00	244.57
17.0	CAN - 17	180.03	44500.00	247.18
18.0	CAN - 18	182.41	43500.00	238.47
19.0	CAN - 19	180.03	44500.00	247.18
20.0	CAN - 20	180.03	44250.00	245.79

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 242.24
- Desviación Estándar: 5.477
- Coeficiente de Variación (%): 2.261

C.2. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados reciclados.

Tabla 39

Resistencia a la compresión a los 7 días, del concreto con agregados reciclados.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
21.0	CAR - 01	180.27	28000.00	155.33
22.0	CAR - 02	179.55	29000.00	161.51
23.0	CAR - 03	180.27	28000.00	155.33
24.0	CAR - 04	179.55	29000.00	161.51
25.0	CAR - 05	179.08	29500.00	164.73
26.0	CAR - 06	181.46	28500.00	157.06
27.0	CAR - 07	182.18	29000.00	159.19
28.0	CAR - 08	180.27	28000.00	155.33
29.0	CAR - 09	179.55	28500.00	158.73
30.0	CAR - 10	179.32	29000.00	161.73
31.0	CAR - 11	179.55	29500.00	164.30
32.0	CAR - 12	179.55	28500.00	158.73
33.0	CAR - 13	177.89	28500.00	160.21
34.0	CAR - 14	177.89	29000.00	163.02
35.0	CAR - 15	181.46	29000.00	159.82
36.0	CAR - 16	180.27	28000.00	155.33
37.0	CAR - 17	179.32	28500.00	158.94
38.0	CAR - 18	179.55	28500.00	158.73
39.0	CAR - 19	180.27	29000.00	160.87
40.0	CAR - 20	177.19	28500.00	160.85

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 159.562
- Desviación Estándar: 2.882
- Coeficiente de Variación (%): 1.806

Tabla 40

Resistencia a la compresión a los 14 días, del concreto experimental con agregados reciclados.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
21.0	CAR - 01	179.32	35500.00	197.97
22.0	CAR - 02	179.55	36500.00	203.28
23.0	CAR - 03	180.27	37500.00	208.03
24.0	CAR - 04	176.71	35500.00	200.89
25.0	CAR - 05	179.55	36500.00	203.28
26.0	CAR - 06	179.55	36500.00	203.28
27.0	CAR - 07	179.55	35000.00	194.93
28.0	CAR - 08	180.74	36000.00	199.18
29.0	CAR - 09	180.27	36500.00	202.48
30.0	CAR - 10	181.46	36000.00	198.39
31.0	CAR - 11	179.55	36000.00	200.50
32.0	CAR - 12	180.50	37500.00	207.75
33.0	CAR - 13	181.46	37000.00	203.90
34.0	CAR - 14	180.98	37500.00	207.20
35.0	CAR - 15	181.70	37000.00	203.64
36.0	CAR - 16	179.55	36500.00	203.28
37.0	CAR - 17	179.55	37000.00	206.07
38.0	CAR - 18	181.94	37000.00	203.37
39.0	CAR - 19	180.03	37000.00	205.52
40.0	CAR - 20	180.74	36000.00	199.18

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 202.606
- Desviación Estándar: 3.492
- Coeficiente de Variación (%): 1.724

Tabla 41

Resistencia a la compresión a los 28 días, del concreto con agregados reciclados.

N° de Ensayo	Código	Área (cm ²)	Carga Última (Kg)	Resistencia Máxima (Kg/cm ²)
21.0	CAR - 01	181.94	42000.00	230.85
22.0	CAR - 02	181.70	43000.00	236.66
23.0	CAR - 03	181.46	42000.00	231.46
24.0	CAR - 04	181.70	41000.00	225.65
25.0	CAR - 05	180.27	43000.00	238.54
26.0	CAR - 06	180.27	41000.00	227.44
27.0	CAR - 07	179.55	42000.00	233.91
28.0	CAR - 08	180.74	41500.00	229.61
29.0	CAR - 09	180.50	43000.00	238.22
30.0	CAR - 10	180.03	41500.00	230.52
31.0	CAR - 11	179.55	40500.00	225.56
32.0	CAR - 12	181.70	43500.00	239.41
33.0	CAR - 13	181.46	44000.00	242.48
34.0	CAR - 14	180.74	43000.00	237.91
35.0	CAR - 15	179.55	43500.00	242.27
36.0	CAR - 16	180.03	42500.00	236.07
37.0	CAR - 17	180.27	42000.00	232.99
38.0	CAR - 18	181.70	43500.00	239.41
39.0	CAR - 19	177.89	42500.00	238.91
40.0	CAR - 20	178.60	43500.00	243.55

Fuente. Elaboración propia.

✓ En base a los resultados tabulados, se determinaron las principales medidas estadísticas:

- Resistencia Media (Kg/cm²): 235.071
- Desviación Estándar: 5.568
- Coeficiente de Variación (%): 2.369

Apéndice D. PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 15: Ensayo de granulometría de los agregados.



Figura 16: Ensayo del peso unitario suelto del agregado fino.



Figura 17: Ensayo del peso unitario suelto del agregado grueso reciclado.



Figura 18: Control de pesos de materiales.



Figura 19: Habilitación de moldes para vaciado.



Figura 20: Preparación de la mezcla.



Figura 21: Ensayo del SLUMP.



Figura 22: Vaciado de concreto en moldes.



Figura 23: Determinación del peso unitario del concreto fresco.



Figura 24: Curado del concreto.



Figura 25: Medidas de los especímenes a ensayar.



Figura 26: Peso unitario del concreto endurecido.

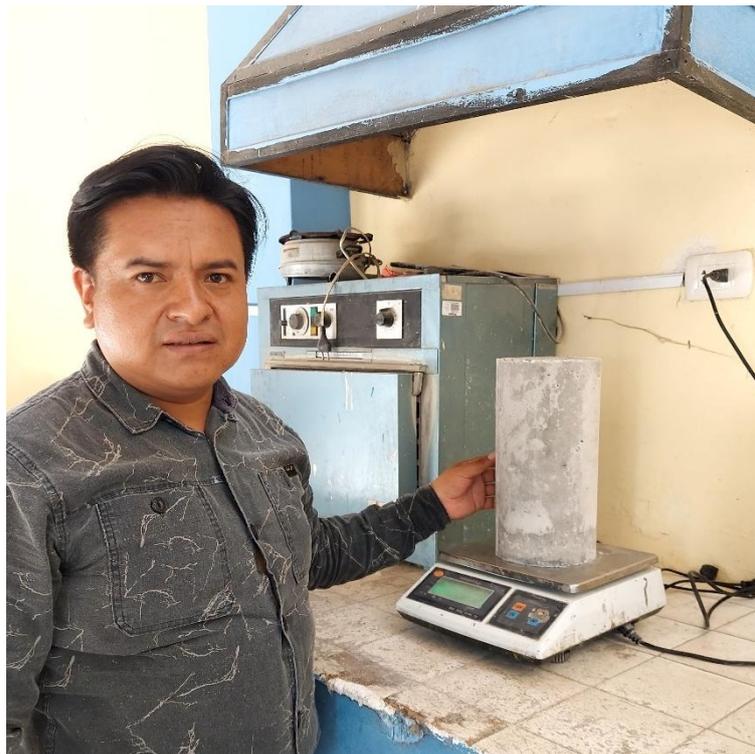


Figura 27: Ensayo a la compresión a los 14 días



Figura 28: Ensayo a la compresión a los 28 días con apoyo del técnico de laboratorio.



ANEXOS

Anexo A. Constancia del laboratorio de ensayo de materiales de la UNC



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

A nombre del Bach. MENDOZA LINARES CÉSAR AUGUSTO, Exalumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Elaboración de especímenes cilíndricos concreto
07	Ensayo de peso unitario del concreto
08	Ensayo de medición del asentamiento del concreto
09	Ensayo a compresión en muestras cilíndricas

Para la Tesis Titulada: **"INFLUENCIA DEL CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GLOBAL EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO HIDRÁULICO $F'_{C}=210 \text{ KG/CM}^2$ ".** Las actividades se desarrollaron del 21 de febrero 02 de abril de 2024.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 28 de noviembre de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Centurión Vargas
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Anexo B. Ficha técnica del cemento



Pacasmayo

Planta: Piura

CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Yincro de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Piura a Parí Km 3.5 - Piura - Piura
 Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
 Versión 04

21 de agosto de 2023

Cemento Tipo I

Tipo I - Cemento Portland de uso general

Periodo de despacho 01 de julio de 2023 - 31 de julio de 2023

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	1.3
SO ₃ (%)	3.00 máx.	2.68
Pérdida por ignición (%)	3.5 máx.	2.1
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.4
Alcalis Equivalentes (%)	^	1.08

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	6
Superficie específica (cm ² /g)	2600 mín.	3620
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.01
Densidad (g/cm ³)	^	3.11
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	^	14.4
3 días	12.0 mín.	25.4
7 días	19.0 mín.	31.1
28 días *	28.0 mín.	37.2
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	167
Final	375 máx.	280
Expansión de la barra de mortero 14 días (%)	0.020 máx.	0.006

^ No específica

* Requisito opcional

El (la) R.C 28 días corresponde al mes de junio del 2023

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.2.022.

Ing. Edward Diaz Soldevilla

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S. A. A.