UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

TESIS:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DE CONCRETO RECICLADO PROCEDENTE DE LA REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS POR LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS – CAJAMARCA.

Para optar el Grado Académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Presentada por:

M.Cs. HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO

Asesor:

Dr. JAIME OCTAVIO AMORÓS DELGADO

Cajamarca, Perú

2025

Universidad Nacional de Cajamarca
"Norte de la Universidad Peruana"

Escuela de Posgrado

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
   Hugo Emmanuel Rodríguez Chico
   DNI: 45955444
   Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Doctorado en Ciencias, Mención: Gestión Ambiental y Recursos Naturales.

2. Asesor(a): Dr. Jaime Octavio Amorós Delgado.

3. Grado académico o título profesional
   □ Bachiller □ Título profesional □ Segunda especialidad
   □ Maestro X Doctor

4. Tipo de Investigación:
   X Tesis □ Trabajo de investigación □ Trabajo de suficiencia profesional
   □ Trabajo académico

5. Título de Trabajo de Investigación:
   Resistencia a la compresión y flexión de concreto reciclado procedente de la reutilización de residuos generados por la demolición de pavimentos rígidos – Cajamarca.
6. Fecha de evaluación: **17/08/2025**
7. Software antiplagio: X TURNITIN □ URKUND (OURIGINAL) *(*)*
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **13 %**
9. Código Documento: **rn:oid:::3117:484155499**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

    X **APROBADO** □ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **17/08/2025**

Firma y/o Sello
Emisor Constancia

Dr. Jaime Octavio Amorós Delgado.
DNI: 26618473

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO
Todos los derechos reservados

Universidad Nacional de Cajamarca

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO Nº 080-2018-SUNEDU/CD

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las 16:00 horas, del día 01 de agosto del año dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. EDIN EDGARDO ALVA PLASENCIA, Dr. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**y en calidad de Asesor, el **Dr. JAIME OCTAVIO AMORÓS DELGADO,** actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **RESISTENCIA A LA COMPRENSIÓN Y FLEXIÓN DE CONCRETO RECICLADO PROCEDENTE DE LA REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS POR LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS - CAJAMARCA.,** presentada por el **Maestro en Ciencias Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción, HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO.**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó .....APROBAR..... con la calificación de ..DIECISIETE (17)...EXCELENTE..... la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Maestro en Ciencias Mención: Ingeniería y Gerencia de la Construcción HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO,** está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES** de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Siendo las 17:20 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

Dr. Jaime Octavio Amorós Delgado **Asesor**	**Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia** **Jurado Evaluador**
Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas **Jurado Evaluador**	**Dra. Rosa Haydee Llique Mondragón** **Jurado Evaluador**

DEDICATORIA

A Dios por la salud y sabiduría en las decisiones que tomo día a día.

A mi madre Fanny Chico Minchán por su constante apoyo.

A mi hija Emily que me impulsa a ser mejor día a día.

A mi novia Chintia por su cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor de tesis, el Dr. Jaime Octavio Amorós Delgado, por su valiosa orientación y apoyo durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Agradezco también los conocimientos que me impartió en las aulas, los cuales fueron fundamentales para la realización de este estudio.

Agradecer a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Escuela de Posgrado y a los diferentes docentes que en ella laboran que de alguna manera directa o indirectamente me apoyaron e inculcaron los conocimientos necesarios tanto en mi paso por esta Casa Superior de Estudios como para el desarrollo del presente trabajo.

El conocimiento impulsa el progreso y desarrollo de la sociedad; sin embargo, es la sabiduría divina la que nutre y eleva el alma humana, promoviendo un crecimiento espiritual que trasciende lo material.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA ..... **v**
AGRADECIMIENTO ..... **vi**
CONTENIDO ..... **viii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **xii**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xiv**
ÍNDICE DE ECUACIONES ..... **xvi**
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS ..... **xviii**
RESUMEN ..... **xx**
ABSTRACT ..... **xxi**
CAPÍTULO I **1**
INTRODUCCIÓN **1**
CAPÍTULO II **3**
MARCO TEÓRICO **3**
2.1 Antecedentes de la investigación 3
2.2 Bases teóricas 8
2.2.1. Residuos de construcción y demolición (RCD) 8
2.2.2. Concreto Reciclado 9
2.2.2.1. Proceso de obtención de agregados reciclados (AR) 10
2.2.2.2. Clasificación de los agregados reciclados: grueso, fino. 12
2.2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas de los AR en comparación con agregados naturales 13
2.2.2.4. Limitaciones y ventajas del uso de concreto reciclado 14
2.2.3. NORMAS TÉCNICAS APLICABLES 16
2.2.3.1. ASTM C39 (resistencia a compresión) 16
2.2.3.2. ASTM C78 (resistencia a flexión) 16
2.3 Definición de términos básicos 16
2.3.1. Pavimento rígido: 16
2.3.1.1. Causas comunes de deterioro y demolición. 17

2.3.1.2. Ventajas de la pavimentación rígida. 18
2.3.1.3. Desventajas de la pavimentación rígida. 18
2.3.2. Cemento: 19
2.3.3. Concreto: 19
2.3.3.1 Composición básica 21
2.3.3.2 Propiedades mecánicas del concreto 21
CAPÍTULO III 24
MATERIALES Y MÉTODOS 24
3.1 Ubicación geográfica 24
3.2 Materiales y equipos 27
3.2.1. Materiales 27
3.2.2. Equipos 27
3.3 Metodología 27
3.3.1. Métodos de investigación 28
3.3.1.1. Determinación de las propiedades físicas de los agregados naturales .. 28
3.3.2. Diseño de la investigación 29
3.3.3. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación 30
3.3.4. Procedimiento de análisis de datos 33
3.3.4.1. Ensayos en Agregados finos y gruesos 33
3.3.4.2. Ensayo del concreto en estado fresco 41
3.3.4.3. Ensayo del concreto en estado endurecido 43
3.3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de análisis de datos: 44
3.3.5.1. Procedimiento de recolección de datos 44
3.3.5.2. Método de análisis de datos 45
CAPÍTULO IV 48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 48
4.1 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado fino 48
4.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino 48
4.1.2. Porcentaje de absorción del agregado fino 49
4.1.3. Contenido de humedad del agregado fino 51
4.1.4. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino 52

4.2 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado grueso 53
4.2.1. Análisis granulométrico del agregado grueso 53
4.2.2. Porcentaje de absorción del agregado grueso 54
4.2.3. Contenido de humedad del agregado grueso 55
4.2.4. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso 56
4.2.5. Desgaste a la abrasión del agregado grueso 57
4.3 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado reciclado 59
4.3.1. Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado 59
4.3.2. Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado 61
4.3.3. Contenido de humedad del agregado grueso reciclado 62
4.3.4. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado 63
4.3.5. Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado 64
4.4 Valores obtenidos de las propiedades mecánicas del concreto. 65
4.4.1. Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto 65
4.4.2. Resistencia a la flexión de los especímenes rectangulares de concreto 69
4.5 Dosificación óptima de diseño de mezcla de concreto reciclado. 73
4.6 Porcentaje de residuos reutilizables en concreto reciclado 74
4.7 Resultados por prueba de normalidad de hipótesis de Shapiro-Wilk 75
4.7.1. Prueba de normalidad de datos: 75
4.7.2. Prueba de Hipótesis T Student: 75
4.7.2.1. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 25% de agregado reciclado a edad de 28 días 76
4.7.2.2. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 50% de agregado reciclado a edad de 28 días 77
4.7.2.3. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 75% de agregado reciclado a edad de 28 días 78

4.7.2.4. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 100% de agregado reciclado a edad de 28 días. 79

CONCLUSIONES 80

RECOMENDACIONES 82

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS 88

ANEXO 01: Panel fotográfico 88

ANEXO 02: Propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, grueso y reciclado 91

ANEXO 03: Diseño de mezcla 98

ANEXO 04: Costo de producción de concreto reciclado 99

ANEXO 05: Certificados de calibración de instrumentos y equipos de laboratorio 102

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Valores Recomendados de Resistencia del Concreto según rango de Tráfico 19
Tabla 2 Ensayos para caracterizar físicamente los agregados. 28
Tabla 3 Ensayos para determinar propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de concreto. 29
Tabla 4 Especímenes de concreto para ensayo a la compresión por tratamiento. 30
Tabla 5 Especímenes de concreto para ensayo a la flexión por tratamiento..... 31
Tabla 6 Elección del Slump del concreto..... 43
Tabla 7 Análisis granulométrico del agregado fino 48
Tabla 8 Porcentaje de absorción del agregado fino 49
Tabla 9 Contenido de humedad del agregado fino 51
Tabla 10 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino..... 52
Tabla 11 Análisis granulométrico del agregado grueso..... 53
Tabla 12 Porcentaje de absorción del agregado grueso 54
Tabla 13 Contenido de humedad del agregado grueso 55
Tabla 14 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso 56
Tabla 15 Desgaste a la abrasión del agregado grueso..... 57
Tabla 16 Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado (Gradación B) 59
Tabla 17 Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado 61
Tabla 18 Contenido de humedad del agregado grueso reciclado..... 62
Tabla 19 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado..... 63
Tabla 20 Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado 64
Tabla 21 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto 65
Tabla 22 Resistencia a la flexión de los especímenes rectangulares de concreto..... 69
Tabla 23 Cantidad de materiales de diseño de mezcla de concreto reciclado 73
Tabla 24 Resultados de la prueba de normalidad en la variable de las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días..... 75
Tabla 25 Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 25% de agregado natural 76

Tabla 26 Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 50% de agregado natural 77
Tabla 27 Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 75% de agregado natural 78
Tabla 28 Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 100% de agregado natural 79
Tabla 29 Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado fino..... 91
Tabla 30 Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado fino 91
Tabla 31 Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado fino 92
Tabla 32 Procedimiento de cálculo peso unitario suelto y compactado del agregado fino. 92
Tabla 33 Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso 93
Tabla 34 Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado grueso 93
Tabla 35 Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado grueso..... 94
Tabla 36 Procedimiento de cálculo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso .. 94
Tabla 37 Procedimiento de cálculo de desgaste a la abrasión del agregado grueso 95
Tabla 38 Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso reciclado (Gradación B)..... 95
Tabla 39 Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado ... 96
Tabla 40 Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado grueso reciclado 96
Tabla 41 Procedimiento de cálculo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado 97
Tabla 42 Procedimiento de cálculo de desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado 97
Tabla 43 Análisis de precios unitarios del costo de producción de concreto sin adición de agregado reciclado. 99
Tabla 44 Análisis de precios unitarios del costo de producción de concreto al sustituir 100% de agregado natural por reciclado. 100

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Plano de ubicación de extracción de Agregado Reciclado..... 25
Figura 2 Plano de ubicación de extracción de agregado natural..... 26
Figura 3 Diagrama secuencial del proceso de recolección de datos..... 32
Figura 4 Curva granulométrica del agregado fino..... 48
Figura 5 Porcentaje de absorción del agregado fino..... 49
Figura 6 Contenido de humedad del agregado fino..... 51
Figura 7 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino..... 52
Figura 8 Curva granulométrica del agregado grueso..... 53
Figura 9 Porcentaje de absorción del agregado grueso..... 54
Figura 10 Contenido de humedad del agregado grueso..... 55
Figura 11 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso..... 57
Figura 12 Desgaste a la abrasión del agregado grueso..... 58
Figura 13 Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado..... 60
Figura 14 Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado..... 61
Figura 15 Contenido de humedad del agregado reciclado..... 62
Figura 16 Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado..... 63
Figura 17 Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado. 64
Figura 18 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto 66
Figura 19 Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto 67
Figura 20 Resistencia a la flexión de los especímenes cilíndricos de concreto..... 70
Figura 21 Resistencia a la flexión de los especímenes cilíndricos de concreto..... 71
Figura 22 Recolección del agregado reciclado..... 88
Figura 23 Triturado de agregado reciclado..... 88
Figura 24 Tamizado de agregado reciclado..... 88
Figura 25 Moldeado de probetas de concreto..... 88
Figura 26 Ensayo de asentamiento de concreto..... 89
Figura 27 Medición de slump de concreto..... 89
Figura 28 Ensayos de compresión de muestras de concreto de edad de 7días..... 89
Figura 29 Ensayo de compresión de muestra de concreto de edad de 14 días..... 89

Figura 30 Ensayos de compresión de muestra de concreto de edad de 28 días..... 90
Figura 31 Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 7 días 90
Figura 32 Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 14 días 90
Figura 33 Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 28 días 90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Pág.

Ecuación 1 Contenido de humedad de los agregados 33

Ecuación 2 Módulo de finura de los agregados 34

Ecuación 3 Material que pasa el tamiz Nº200 35

Ecuación 4 Porcentaje que pasa el tamiz Nº200 por lavado 35

Ecuación 5 Peso de los agregados compactado 35

Ecuación 6 Peso unitario compactado 35

Ecuación 7 Peso de los agregados suelto 36

Ecuación 8 Peso unitario suelto 36

Ecuación 9 Peso específico aparente (Seco) 37

Ecuación 10 Peso específico peso específico aparente (SSS) 37

Ecuación 11 Peso específico nominal (Seco) 37

Ecuación 12 Absorción 37

Ecuación 13 Peso específico aparente seco 38

Ecuación 14 Peso específico aparente SSS 38

Ecuación 15 Peso específico nominal 38

Ecuación 16 Absorción 39

Ecuación 17 Desgaste a la abrasión los ángeles 39

Ecuación 18 Resistencia a la compresión de diseño de mezcla 40

Ecuación 19 Contenido de cemento 41

Ecuación 20 Esfuerzo 43

Ecuación 21 Módulo de rotura 44

Ecuación 22 Módulo de finura del agregado fino 49

Ecuación 23 Módulo de finura del agregado grueso 53

Ecuación 24 Módulo de finura del agregado grueso reciclado 59

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

%	: porciento
”	: pulgada
°C	: grados centígrados
Abs	: absorción
ACI	: Instituto Americano de Concreto
AN	: agregado natural
AR	: agregado reciclado
ASTM	: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales
CBR	: California Bearing Ratio
cm	: centímetro
cm^2	: centímetros cuadrados
cm^3	: centímetro cúbico
CSRCA	: concreto reciclado estabilizados con cemento
D.S.	: Decreto Supremo
E	: este
EE	: ejes equivalentes
f’c	: resistencia a la compresión del concreto
f’cr	: resistencia a la compresión del concreto de diseño
gr	: gramos
in	: pulgada
kg	: kilogramos
L.I	: límite inferior

L.S.	: límite superior
M	: metro
M.F	: módulo de finura
m^2	: metro cuadrado
m^3	: metros cúbicos
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones}
N	: norte
N°	: número
NCA	: concreto a base de agregados naturales
NTP	: Norma Técnica Peruana
p	: página
P.e	: peso específico
pp	: páginas
R.D.	: Resolución Directorial
RAC	: concreto a base de agregado reciclado
S/	: Nuevo Sol
SSS	: saturado superficialmente seco
Tc	: estadístico de prueba calculado.
Tt	: estadístico de prueba teórico
Unid	: unidades
UTM	: Universal Transverse Mercator
α	: nivel de significancia

RESUMEN

El objetivo central de la presente investigación fue determinar la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto reciclado, empleando agregados procedentes de la reutilización de residuos generados por la demolición de pavimentos rígidos. El propósito fue establecer el porcentaje óptimo de reemplazo del agregado grueso natural por agregado reciclado. Para ello, se recolectó material reciclado proveniente de la demolición del pavimento rígido ubicado en el Jr. Leoncio Prado, en la ciudad de Cajamarca, y se utilizaron agregados naturales extraídos del río Mashcón. Se realizaron a ambos tipos de agregados ensayos de caracterización física conforme a lo estipulado en las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Se fabricaron 45 probetas cilíndricas y 45 prismáticas, utilizando concreto reciclado con niveles de sustitución del agregado grueso natural por agregado reciclado de 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, el cual fue previamente triturado hasta alcanzar un tamaño nominal máximo de 1”. La mezcla obtenida presentó una consistencia plástica (3.25”). Los resultados mostraron que la mezcla con un 100% de sustitución de agregado grueso reciclado alcanzó valores de resistencia a la compresión de 392.64 kg cm^{-2} y a la flexión de 53.4 kg cm^{-2} a los 28 días de curado. Estos valores superan los requisitos mínimos establecidos en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que exige resistencias mínimas de 280 kg cm^{-2} y 40 kg cm^{-2}, respectivamente. Por tanto, se concluye que el reemplazo del 100% del agregado grueso por agregado reciclado constituye una alternativa técnica viable para mezclas de concreto reciclado con aplicaciones estructurales, como en el caso de la capa de rodadura de un pavimento rígido.

Palabras Clave: Agregado natural, agregado reciclado, concreto reciclado, pavimento rígido.

ABSTRACT

The main objective of this research was to determine the compressive and flexural strength of recycled concrete using aggregates obtained from the reuse of waste generated by the demolition of rigid pavements. The purpose was to establish the optimal replacement percentage of natural coarse aggregate with recycled aggregate. To this end, recycled material was collected from the demolition of a rigid pavement located on Jr. Leoncio Prado in the city of Cajamarca, and natural aggregates were sourced from the Mashcón River. Both types of aggregates underwent physical characterization tests in accordance with the Peruvian Technical Standards (NTP). A total of 45 cylindrical and 45 prismatic test specimens were produced using recycled concrete with natural coarse aggregate replaced by recycled aggregate at substitution levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The recycled aggregate was previously crushed to achieve a nominal maximum size of 1". The resulting mix exhibited a plastic consistency (3.25"). The results showed that the mixture with 100% recycled coarse aggregate substitution reached compressive strength values of 392.64 kg/cm² and flexural strength values of 53.4 kg/cm² after 28 days of curing. These values exceed the minimum requirements established in the Highway Manual: Soils, Geology, Geotechnics, and Pavements of the Ministry of Transport and Communications, which stipulates minimum strengths of 280 kg/cm² and 40 kg/cm², respectively. Therefore, it is concluded that a 100% replacement of natural coarse aggregate with recycled aggregate is a technically viable alternative for recycled concrete mixtures intended for structural applications, such as the wearing course of a rigid pavement.

Keywords: Natural aggregate, recycled aggregate, recycled concrete, rigid pavement.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú el incremento el consumo interno de cemento creció en 7,46%, en abril de 2024, respecto al año anterior (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2024).

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2024) en el departamento de Cajamarca, el sector construcción vial se encuentra en aumento, asimismo se puede observar el auge de la ejecución de proyectos viales: carreteras, pavimentos que en su vida útil tendrán alguna refacción o remodelación. Estos proyectos de intercomunicación se dan en mayor medida en ciudades subdesarrolladas que no cuentan con vías de comunicación pavimentadas.

Las demoliciones de pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca se han venido incrementado año tras año, ya sea para la implementación de tuberías para gas natural, agua u otras intervenciones, esto se debe en gran parte a la mala planificación del gobierno municipal y demás autoridades involucradas.

Por otra parte, para reparar estas demoliciones de pavimentos rígidos, después de haberse realizado los trabajos de demolición, se emplean nuevos concretos de parecidas características físicas y mecánicas por lo cual se requiere de nuevos agregados que son sacados de lechos de ríos.

La presente investigación, está orientada a realizar el estudio del comportamiento del concreto reciclado proveniente de los residuos de demolición de pavimento rígido para que pueda utilizarse como agregado grueso en la producción de concreto nuevo, debido a que diversos autores afirman que las propiedades mecánicas del concreto reciclado disminuyen en comparación con las del concreto normal, estas disminuciones de la resistencia mecánica fluctúan dentro del rango del 0% al 30% del valor de la resistencia mecánica del concreto tradicional. (Centurión, 2022; Sánchez 2024).

Por lo expuesto anteriormente surge la pregunta: ¿Cuál es la resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos? Y asimismo ¿Cuál es el porcentaje de concreto reciclado proveniente de pavimento rígido que se puede utilizar como agregado grueso reciclado en una nueva mezcla de concreto?, por lo que los objetivos específicos fueron:

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados naturales y agregado reciclado
- Determinar la dosificación óptima de diseño de mezcla por metodología ACI
- Determinar el porcentaje de residuos reutilizables en concreto reciclado generados por la demolición de pavimentos rígidos de la ciudad de Cajamarca

Mientras que el objetivo principal fue:

Determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de residuos generados por demolición de pavimentos rígidos.

Finalmente, al verificarse la hipótesis planteada de que la resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de residuos generados por demolición de pavimentos rígidos cumplan con los valores mínimos de resistencia a la compresión y flexión que establece el Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (280 kg cm^{-2} y 40 kg cm^{-2} respectivamente), se evidencia la viabilidad técnica de reutilizar dichos residuos como agregado reciclado en nuevas mezclas de concreto, por lo que representa una alternativa innovadora en concordancia con lo expresado por Contreras et al. (2024). Esta reutilización permite una reducción significativa en la generación de residuos de construcción y demolición en la ciudad de Cajamarca. (R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

A nivel internacional se presentan las siguientes investigaciones:

En la investigación de Huang et al. (2024) en China, se evaluaron las propiedades mecánicas y el mecanismo de deterioro del concreto con agregados reciclados (RAC) para pavimentos de baja categoría. Se encontró que el asentamiento del RAC disminuye al aumentar la tasa de reemplazo de agregado grueso reciclado (RCA), reduciéndose en un 53% con un 100% de reemplazo frente al 60%. Sin embargo, el asentamiento aumenta significativamente con una mayor relación agua-cemento. En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión y a la flexión del RAC disminuye tanto con el incremento de RCA como con el aumento de la relación agua-cemento. A una relación agua-cemento de 0,48, la resistencia a la compresión y flexión se redujo hasta en un 24,8% y 22,48%, respectivamente, respecto a una relación de 0,38. Estas pérdidas de resistencia se atribuyen a la presencia de mortero viejo, grietas y poros en el RCA, lo que debilita la adherencia con la nueva pasta cementicia. En general, se observó una tendencia decreciente en el desempeño mecánico del RAC al incrementar la proporción de RCA y la relación agua-cemento, siguiendo un comportamiento similar al del concreto con agregados naturales.

En el estudio realizado en la India por Chiranjeevi et al. (2024) sobre la utilización de agregados de hormigón reciclado para bases de pavimento se analizaron las propiedades mecánicas, como la resistencia a compresión simple, resistencia a flexión, módulo elástico y resistencia a tracción indirecta, así como aspectos de durabilidad, contracción y fatiga de mezclas de agregados de concreto reciclado estabilizados con cemento (CSRCA) variando el porcentaje de agregado grueso natural (NCA) y agregado reciclado (RCA) en un rango del 0% al 100%, con

contenidos de cemento entre el 3% y el 7%. Los resultados demostraron que el contenido de cemento tuvo un mayor impacto en la resistencia y rendimiento de las mezclas CSRCA en comparación con la cantidad de RCA. Se concluyó que las mezclas con un reemplazo de hasta el 50% de RCA y un contenido de cemento del 5% cumplen con los criterios de resistencia y durabilidad. Se evidenció que un alto contenido de RCA afecta negativamente las propiedades mecánicas y de fatiga.

En el trabajo de investigación realizado en Colombia por Pinzón y Defrancisco (2022) sobre la importancia de hacer concreto de demolición para la fabricación de nuevos concretos, se concluyó que la resistencia del concreto elaborado con agregados reciclados provenientes de residuos de demolición de pavimento rígido es comparable a la del concreto fabricado con agregados naturales o vírgenes. No obstante, esta equivalencia se mantiene únicamente cuando la proporción de agregado reciclado (AR) no supera el 40%. (p.5).

En la investigación desarrollada en México por Guzmán et al. (2020) se evaluó el uso de agregado reciclado en la elaboración de pavimento rígido. Los resultados obtenidos para la probeta de control mostraron una resistencia a la compresión f¨c de 253 kg cm^{-2}. Por su parte, las mezclas que incorporaron material fresado de pavimento (RAP), tanto en su condición original como recuperada sin lavado, registraron reducciones en la resistencia a la compresión del 22.14% y 5.72%, respectivamente, en comparación con la muestra de control (p.10).

En India se realizó un trabajo de investigación sobre la reutilización de agregados de concreto reciclado mejorado (RCA) para la sostenibilidad y el medio ambiente Pavimentos Rígidos, donde se obtuvo que el porcentaje adecuado para el uso de RCA en el reemplazo de un agregado natural era menor al 40% ya que al pasar este porcentaje las propiedades mecánicas de compresión y flexión no presentan un aumento significativo, se determinó que la resistencia a la

compresión a los 28 días, para un reemplazo del 0% de un agregado natural por uno reciclado, fue de 43.88 MPa (447.45 kg cm^{-2}) y para un reemplazo del 40% fue del 39.39 MPa (401.67 kg cm^{-2}). Asimismo, para la resistencia a la flexión para un reemplazo del 0% de un agregado natural por uno reciclado, fue de 3.07 MPa (31.31 kg cm^{-2}), y para un reemplazo del 40% fue del 2.68 MPa (27.33 kg cm^{-2}) (Ahmad et al., 2020, pp. 7-8).

Adicionalmente, a nivel nacional se tienen las mostradas a continuación:

En el estudio realizado en el Departamento de Cajamarca por Sánchez (2024) determinó que, al utilizar agregados reciclados la trabajabilidad y temperatura se reducen levemente, mientras que la densidad se reduce de 2.38 gr cm^{-3} a 2.13 gr cm^{-3}, obteniendo un concreto más liviano. Las propiedades mecánicas del concreto con agregados reciclados son menores respecto al concreto con agregados naturales, a compresión, tracción y flexión la resistencia disminuye en promedio a los 28 días 21.24%, 19.45% y 0.08% respectivamente, por lo que, se puede sustituir los agregados naturales por agregados gruesos hasta 40% para concreto estructural (f'c 210 kg cm^{-2}) y hasta 100% para concreto no estructural (f'c 175 kg cm^{-2}).

El estudio aplicado por Tarazona (2018) en Huánuco abordó el uso de concreto reciclado proveniente de la demolición de pavimento rígido para la fabricación de nuevas mezclas de concreto. Los resultados indicaron que, a pesar de que los agregados reciclados presentan propiedades mecánicas inferiores respecto a los agregados naturales, es factible su incorporación en nuevas mezclas siempre que su proporción no exceda el 40% del total de agregado grueso. Esta conclusión se obtuvo a partir de comparaciones realizadas con muestras de control para cada fracción granulométrica. Asimismo, se estableció que el empleo de concreto con agregados reciclados debe limitarse a elementos que no estén expuestos a condiciones severas de abrasión o desgaste (p. 264).

En la investigación referente a la influencia de la calidad de concreto reciclado, en la resistencia de un pavimento rígido, realizada en la ciudad de San Martín por Candela y Rengifo (2017) se determinó la manera de alterar la composición del concreto reciclado para obtener un diseño de mezcla f'c= 210 kg cm^{-2}, el cual será usado para la preparación de un nuevo pavimento rígido. En este estudio el diseño de mezcla estuvo compuesto por agregado fino y grueso reciclado, con una distribución porcentual del 50% de agregado fino, 27% de agregado grueso, 16% de cemento y 7% de agua. A los 28 días de curado, la mezcla alcanzó únicamente el 41.82% de la resistencia a la compresión respecto a la muestra patrón elaborada con agregados naturales. Por lo tanto, se concluye que la incorporación de agregados reciclados en la mezcla de concreto no permite alcanzar niveles de resistencia óptimos ni similares a los obtenidos con materiales convencionales (pp. 12, 48).

Contreras y Herrera (2015) en su investigación realizada en Ancash menciona que la importancia de la densidad y la calidad del agregado reciclado radica en su influencia directa en la resistencia y durabilidad de las estructuras de pavimento. La densidad afecta la capacidad de soporte y estabilidad de la capa granular, mientras que la calidad del agregado reciclado impacta en su resistencia al desgaste y en la durabilidad de la estructura.

Es crucial garantizar una densidad adecuada y una calidad óptima del agregado reciclado para asegurar un rendimiento eficiente de las obras de pavimentación. asimismo, obtuvieron que la combinación de agregados: Agregado reciclado (AR) – Agregado natural (AN) tuvo un buen comportamiento, siendo la proporción de 50%AR – 50%AN la que presentó resultados favorables en comparación con los parámetros para un componente granular.

De igual manera, Gutiérrez y Ortiz (2020) en su investigación realizada en el Distrito del Callao sobre comportamiento mecánico del concreto f´c = 210 kg cm^{-2}. según el método de

agregados globales reemplazando los agregados finos y gruesos al 100% con concreto reciclado por agregado naturales para pavimentos rígidos de bajo tránsito en cuyos especímenes de concreto diseñados mediante el método de dosificación fue ACI, con un agregado reciclado triturado de tamaño máximo nominal de ½” y relación agua /cemento 0.56. En los ensayos de compresión en los especímenes de concreto elaborados se obtuvo que la resistencia a lo compresión de la muestra patrón fue de 257 kg cm^{-2} mientras que de los especímenes elaborados con agregado reciclado al 100% de sustitución de agregados naturales (grueso y fino) fue de 234 kg cm^{-2} disminuyendo en 9%.

La investigación realizada por Gutiérrez y Ortiz (2020) también señala que el concreto reciclado puede ser usado de manera eficiente en trabajos como: veredas, adoquines, bloquetas y estabilización de suelos.

Adicionalmente, Fernández (2021) en su estudio realizado en la ciudad de Lima sobre la aplicación de concreto reciclado en el diseño y elaboración de pavimentos articulados para el uso de tránsito peatonal tuvo como objetivo determinar la resistencia adecuada de los pavimentos articulados con concreto reciclado como propuesta para minimizar el impacto negativo sobre el ambiente y ofrecer una alternativa económica óptima. Para lograr ello, evaluó la resistencia a la compresión de varios adoquines con diversos diseños de mezcla para encontrar el diseño patrón adecuado de acuerdo con la normativa peruana vigente. Los resultados que obtuvo fueron que el concreto reciclado es eficaz en su diseño, llegando a presentar un máximo de adición de un 20%, presentando un mejor desempeño en sus características para el pavimento articulado de tránsito peatonal asimismo en el ensayo a resistencia a la compresión de pavimentos articulados con un 20% de adición de concreto reciclado se logró obtener una resistencia de 290.6 kg cm^{-2}.

Finalmente, a nivel local, se cuenta con la investigación desarrollada en la ciudad de Cajamarca por Centurión (2022) cuyo objetivo fue evaluar el comportamiento mecánico del concreto con una resistencia característica de f'c = 210 kg cm^{-2}, empleando agregados reciclados provenientes de losas de pavimento rígido deterioradas, utilizados como reemplazo parcial del agregado natural. El estudio contempló la trituración del concreto demolido, la caracterización físico-mecánica de los agregados reciclados, el diseño de mezclas mediante el método de combinación de agregados, y la elaboración de 72 probetas con porcentajes de reemplazo del 15%, 20% y 25%. Se evaluó la trabajabilidad del concreto fresco y la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados mostraron un desempeño mecánico favorable, con incrementos superiores al 3% en la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional, excepto en las probetas con un 20% de agregado reciclado evaluadas a los 14 días, donde no se superó dicho umbral.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. *Residuos de construcción y demolición (RCD)*

Rondón y Reyes (2022) argumentan que los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen una alternativa viable y ambientalmente sostenible para su incorporación en proyectos de infraestructura vial. Estos materiales, que pueden originarse tanto de demoliciones de obras civiles como de procesos industriales, incluyen entre otros: mampuestos, concreto, escorias de acero, cenizas y estériles de carbón. Su reutilización facilita reducir el uso de materiales vírgenes, atenuar la presión sobre los recursos naturales y optimizar los costos de construcción.

Una de las aplicaciones más relevantes de los RCD es en la conformación de la subrasante mejorada, donde los escombros reciclados se utilizan para reemplazar suelos de baja capacidad portante. Rondón y Reyes (2022) indican que estos materiales también pueden emplearse en zonas donde sea necesario incrementar el nivel de rasante del pavimento o prevenir el ingreso de agua

hacia las capas inferiores, lo cual mejora la funcionalidad hidráulica y contribuye al desempeño estructural de la vía. Además, citan investigaciones como la de Chen et al. (2011) que evaluaron el uso de polvo de ladrillo reciclado como material de relleno mineral en mezclas asfálticas. Los resultados sugieren que este aditivo mejora la resistencia al ahuellamiento y minimiza la susceptibilidad al daño por humedad. Asimismo, se ha evidenciado que los agregados pétreos reciclados, obtenidos de estructuras demolidas, presentan características mecánicas aceptables para su reutilización en capas estructurales. No obstante, se advierte que las mezclas fabricadas con estos materiales reciclados pueden contar con limitaciones en términos de durabilidad, especialmente bajo condiciones de alta humedad, lo que exige un control técnico riguroso en su selección y procesamiento. En consecuencia, si bien el uso de RCD ofrece ventajas tanto técnicas como ambientales, su aplicación exitosa requiere procesos de validación que aseguren la calidad del producto final. Esto implica caracterización mecánica, evaluación de durabilidad y cumplimiento de especificaciones normativas, garantizando así el desempeño esperado de las estructuras viales construidas con materiales reciclados.

2.2.2. *Concreto Reciclado*

El concreto reciclado, en el contexto de la construcción sostenible moderna, se define como un material compuesto que incorpora agregados provenientes de estructuras demolidas, los cuales son procesados y reutilizados en nuevas mezclas de concreto, en sustitución parcial o total de los agregados naturales. Según Muñoz et al. (2022) este tipo de concreto no solo reduce la extracción de materiales vírgenes, sino que también disminuye la cantidad de residuos sólidos destinados a vertederos, aportando beneficios ambientales significativos. Complementando esta visión, Jiménez y Soto (2025) destacan que el uso de agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición (RCD) permite alcanzar resistencias mecánicas comparables a las del concreto convencional, lo que lo convierte en una solución técnica viable incluso para aplicaciones

estructurales, además de alinearse con principios de sostenibilidad urbana.

Por su parte, Contreras et al. (2024) resaltan que el concreto reciclado representa una alternativa innovadora dentro del ámbito constructivo, al aprovechar escombros como materia prima, reduciendo tanto los costos de producción como el impacto ambiental, sin comprometer la funcionalidad del material cuando se maneja bajo un diseño y control adecuados. Así, estos autores coinciden en que el concreto reciclado constituye una estrategia efectiva para fomentar la economía circular en la construcción, promoviendo un uso más responsable de los recursos, tal como lo establece el marco normativo del Decreto Supremo Nº 002-2022-VIVIENDA, ley que regula la gestión, valorización y disposición final de los residuos de construcción y demolición, promoviendo prácticas sostenibles en el sector edificatorio de Perú.

2.2.2.1. Proceso de obtención de agregados reciclados (AR)

El proceso de obtención de agregados reciclados (AR) parte de una secuencia técnica cuidadosamente estructurada que permite transformar residuos de construcción y demolición (RCD) en materiales reutilizables para la elaboración de concreto. Según Muñoz et al. (2022) el proceso es el siguiente:

A. Recolección sistemática de residuos

Provenientes de estructuras demolidas como losas, columnas, vigas y pavimentos que han alcanzado el final de su vida útil. Esta recolección debe incluir una primera clasificación manual o mecánica en el sitio de origen, donde se eliminan elementos contaminantes como maderas, plásticos, metales y materiales cerámicos que podrían comprometer las propiedades del concreto final.

B. Trituración del material residual

Puede dividirse en dos fases: una trituración primaria que fragmenta los bloques grandes de concreto y una trituración secundaria que afina la granulometría del producto para cumplir con las especificaciones técnicas. Esta trituración se efectúa generalmente con mandíbulas o molinos de impacto.

C. Cribado o tamizado

Permite separar los agregados gruesos (mayores a 4.75 mm) de los finos (menores a 4.75 mm), asegurando así un control adecuado sobre la curva granulométrica del material reciclado. En este punto, algunos residuos todavía pueden portar restos de mortero adherido.

D. Proceso de limpieza

Puede incluir lavado con agua o incluso métodos más avanzados como el tratamiento térmico o el uso de tecnología de separación por densidad, dependiendo del nivel de exigencia estructural del proyecto.

Por otro lado, Contreras et al. (2024) insisten en que, si bien el proceso puede parecer lineal, debe estar acompañado por controles de calidad rigurosos en cada etapa, especialmente si los AR se utilizarán en elementos estructurales. Esto incluye ensayos de laboratorio para verificar propiedades como la densidad, la absorción de agua, la resistencia al desgaste y la forma de las partículas. Estos controles son fundamentales para asegurar que los AR cumplan con los estándares establecidos por normativas técnicas, evitando así el riesgo de deficiencias en la resistencia o durabilidad del concreto final. En conjunto, el proceso de obtención de AR no solo permite el reaprovechamiento eficiente de residuos, sino que también se posiciona como una herramienta estratégica dentro del enfoque de economía circular y sostenibilidad ambiental aplicado a la ingeniería civil moderna.

2.2.2.2. Clasificación de los agregados reciclados: grueso, fino.

La clasificación de los agregados reciclados (AR) es un paso esencial en su reutilización dentro del concreto, ya que determina su comportamiento físico, mecánico y su aplicabilidad estructural. De acuerdo con Muñoz et al. (2022) los agregados reciclados se dividen fundamentalmente en dos categorías según su tamaño:

A. Agregado reciclado grueso (ARG)

Los ARG son partículas que superan los 4.75 mm y se obtienen principalmente a partir de la trituración de elementos estructurales de concreto endurecido, como columnas, vigas, losas y pavimentos. Su forma tiende a ser más angular e irregular a causa del proceso de trituración, y suelen presentar restos de mortero adherido que alteran su densidad, absorción de agua y resistencia al desgaste. Estos agregados se utilizan habitualmente como reemplazo parcial o total de grava en nuevas mezclas de concreto, y aunque presentan una resistencia mecánica inferior en comparación con los agregados naturales, su rendimiento puede ser aceptable en elementos no estructurales o estructurales bajo ciertos criterios de dosificación y control.

B. Agregado reciclado fino (ARF).

Los ARF son partículas que pasan por el tamiz de 4.75 mm, provenientes de restos de mortero, bloques, revoques y polvo generado en la trituración.

Según Jiménez y Soto (2025) estos agregados finos presentan características técnicas más problemáticas, como una alta porosidad y elevada absorción de agua, lo que puede provocar una disminución significativa en la resistencia del concreto, así como una mayor retracción y requerimientos de agua en la mezcla. No obstante, su uso es viable en proporciones controladas o en aplicaciones donde no se exige alto desempeño estructural. Contreras et al. (2024) complementan esta visión al destacar que la proporción entre ARG y ARF en una mezcla influye

directamente en propiedades fundamentales del concreto, como la trabajabilidad, la cohesión y la durabilidad. En consecuencia, antes de su uso, los AR deben ser clasificados cuidadosamente mediante análisis granulométrico y ensayos físicos para determinar su rol más adecuado dentro del diseño de mezcla.

2.2.2.3. Propiedades físicas y mecánicas de los AR en comparación con agregados naturales

El comportamiento del concreto fabricado con agregados reciclados (AR) difiere notablemente del concreto convencional elaborado con agregados naturales (AN), debido a las propiedades físicas y mecánicas particulares que presenta el AR como resultado de su origen y del proceso de transformación. Según Muñoz et al. (2022) los AR, especialmente los agregados gruesos reciclados (ARG), presentan una menor densidad y una mayor porosidad, producto de la presencia de mortero adherido y micro fisuras generadas durante la trituración. Esta porosidad incrementa la absorción de agua, lo que repercute directamente en la trabajabilidad de la mezcla y en la relación agua/cemento efectivo.

En cuanto a las propiedades mecánicas, Contreras et al. (2024) indican que la resistencia a la compresión del concreto con AR puede ser entre un 10% y 30% menor que la obtenida con AN, sobre todo cuando se emplea un porcentaje elevado de sustitución o cuando los agregados reciclados no han sido adecuadamente tratados. Además, los AR muestran un módulo de elasticidad menor, lo que implica una mayor deformabilidad del concreto bajo carga, así como una resistencia a la abrasión y al impacto ligeramente inferior.

Estas diferencias se deben principalmente a la naturaleza heterogénea de los residuos de origen, la calidad del concreto demolido y la técnica de procesamiento aplicada.

Jiménez y Soto (2025) refuerzan esta postura al señalar que, aunque las propiedades de los AR puedan parecer desfavorables en comparación con los AN, su uso puede ser totalmente viable

si se integra en un enfoque técnico riguroso. Recomiendan la realización de ensayos previos de caracterización, como la absorción, densidad, resistencia al desgaste (Los Ángeles), índice de forma y análisis granulométrico, para ajustar adecuadamente los diseños de mezcla y garantizar un rendimiento aceptable.

En resumen, aunque los AR presentan propiedades físicas y mecánicas inferiores a los AN en su estado natural, el conocimiento detallado de estas diferencias y su gestión técnica permite su aplicación exitosa en concreto estructural y no estructural, contribuyendo a una construcción más sostenible sin sacrificar la calidad ni la seguridad estructural.

2.2.2.4. Limitaciones y ventajas del uso de concreto reciclado

El uso de concreto reciclado representa una estrategia constructiva con amplias implicancias técnicas, económicas y ambientales.

En cuanto a sus ventajas, Muñoz et al. (2022) destacan:

Su principal aporte radica en la reducción significativa del uso de agregados naturales, lo cual conlleva una disminución directa en la explotación de canteras, el consumo energético asociado a la producción de materiales vírgenes y, en consecuencia, la huella de carbono.

Se contribuye a disminuir el volumen de desechos sólidos que normalmente serían depositados en vertederos, mejorando la gestión de residuos en entornos urbanos.

Desde una perspectiva económica, Jiménez y Soto (2025) afirman que el concreto reciclado puede atenuar costos en proyectos locales, especialmente cuando el procesamiento de los RCD se realiza en el mismo sitio de la obra, minimizando gastos de transporte y adquisición de nuevos materiales. Asimismo, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular con los principios de economía circular, ya que fomenta el reaprovechamiento de recursos y reduce el impacto ambiental de la industria constructiva.

Sin embargo, el concreto reciclado también presenta limitaciones técnicas importantes que deben considerarse cuidadosamente antes de su implementación. Contreras et al. (2024) señalan que la variabilidad en la calidad de los agregados reciclados es una de las principales preocupaciones.

Esta variabilidad depende de diversos factores como la procedencia de los residuos, el tipo de estructura demolida, la antigüedad del concreto original, y las condiciones de demolición. Esto puede traducirse en mezclas con comportamiento mecánico irregular si no se realiza una caracterización previa rigurosa de los AR. Además, los agregados reciclados, especialmente los finos, presentan una mayor absorción de agua, lo cual afecta negativamente la trabajabilidad de la mezcla y puede provocar retracciones más pronunciadas y una menor resistencia a compresión si no se ajusta la dosificación correctamente.

Otra limitación mencionada por los mismos autores es la falta de normativas técnicas actualizadas o específicas, lo que dificulta su aplicación en proyectos estructurales de alta responsabilidad, especialmente en países donde aún no se ha desarrollado un marco reglamentario sólido para su uso.

A pesar de estas restricciones la aplicación del concreto reciclado es técnica y ambientalmente viable siempre que se adopten medidas correctivas como el uso de aditivos, el pretratamiento del AR, y se determinen límites adecuados de reemplazo de agregados naturales. Así, el concreto reciclado se consolida como una alternativa cada vez más relevante en la ingeniería civil moderna, especialmente en el contexto de la sostenibilidad y la optimización de recursos.

2.2.3. *NORMAS TÉCNICAS APLICABLES*

2.2.3.1. ASTM C39 (resistencia a compresión)

Esta norma establece el método para medir la resistencia a compresión de cilindros de concreto, moldeados o extraídos de estructuras, calculada como la carga máxima dividida entre el área de su sección. Este ensayo garantiza la calidad y cumplimiento técnico del concreto en obra.

2.2.3.2. ASTM C78 (resistencia a flexión)

Esta norma describe el ensayo a flexión en vigas simplemente apoyadas con carga en los tercios (tres puntos), determinando el módulo de ruptura. Este método evalúa el comportamiento del concreto en losas y pavimentos.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1. *Pavimento rígido:*

Coy (2019) afirma que el pavimento rígido está compuesto igualmente por capas de base, Subbase sobre la subrasante o terreno natural, y como superficie de rodamiento se encuentra constituido por losas de concreto, este último elemento es fundamental debido a que absorbe la mayor parte de los esfuerzos del pavimento, transmitiéndolos a las capas inferiores de manera disminuida.

Según Rondón y Reyes (2022) las losas de concreto hidráulico utilizadas en pavimentos rígidos son elementos ligados con cementantes hidráulicos que, debido a su elevada rigidez, se comportan estructuralmente como vigas sometidas a esfuerzos de flexión. Los pavimentos rígidos están conformados principalmente por losas de concreto hidráulico, cuya alta rigidez permite distribuir las cargas vehiculares sobre una superficie extensa, reduciendo así los esfuerzos transmitidos a las capas inferiores. Esta definición es consistente con la propuesta de Lynch (2022) quien describe a los pavimentos rígidos como estructuras cuya capa de rodadura está compuesta por una losa de concreto de cemento Portland, con o sin refuerzo metálico, apoyada directamente

sobre la subrasante o sobre una base granular o estabilizada. Su principal característica es la capacidad de resistir, de forma autónoma, los esfuerzos generados por las cargas aplicadas. A diferencia de los pavimentos flexibles, donde la capacidad estructural se distribuye entre varias capas, en los pavimentos rígidos esta es asumida casi en su totalidad por la losa de concreto. Como resultado, las variaciones en las condiciones del suelo de fundación tienen una influencia mínima en su eficacia estructural.

2.3.1.1. Causas comunes de deterioro y demolición.

Las fallas en los pavimentos rígidos pueden tener múltiples orígenes, tanto estructurales como constructivos y ambientales. Lynch (2022) identifica cinco causas fundamentales que explican la degradación de este tipo de estructuras: deformaciones inducidas por variaciones de humedad o temperatura, aplicación de cargas externas, cambios volumétricos en el material de soporte, pérdida de soporte por efecto del bombeo y retracción del concreto durante el fraguado.

En particular, el bombeo también denominado surgencia se manifiesta cuando se producen movimientos verticales en las juntas bajo la acción repetitiva de las cargas vehiculares, provocando la expulsión de agua y partículas finas del suelo a través de las grietas, lo que compromete la estabilidad de la losa. (Lynch, 2022)

Por su parte, Rondón y Reyes (2022) clasifican las fallas en cinco grandes categorías: fisuras, deformaciones, pérdida de capas estructurales, daños superficiales y fenómenos asociados, como afloramientos o desplazamientos de bermas. Las fisuras longitudinales, por ejemplo, son producto de la fatiga estructural generada por la repetición constante de cargas, las cuales inducen esfuerzos de tracción en la cara inferior de la losa. Este proceso inicia con la formación de microfisuras, que progresivamente se interconectan hasta evolucionar en macrofisuras visibles. Según los autores, este fenómeno de fatiga, entendido como la falla de un material por repetición

de carga, reduce exponencialmente la vida útil del pavimento al facilitar la infiltración de agua y aire hacia las capas inferiores, especialmente la subrasante, debilitando así la estructura global.

Además, se identifican causas relacionadas con deficiencias constructivas, como la compactación inadecuada o la utilización de materiales con alto contenido de humedad en las capas estructurales. Estas prácticas generan zonas de baja rigidez o consistencia, susceptibles a desplazamientos diferenciales cuando son sometidas a cargas cíclicas.

2.3.1.2. Ventajas de la pavimentación rígida.

Las ventajas del pavimento rígido se dan debido a la inflexibilidad para la cual se requiere estructuras de menor espesor, reduce el tiempo de construcción, mejora de su capacidad de soporte de la subrasante (Banco de Desarrollo de América latina, 2013, p.10).

2.3.1.3. Desventajas de la pavimentación rígida.

La pavimentación rígida en comparación con la pavimentación flexible presenta un costo mayor de inversión inicial, asimismo si no realiza un adecuado acabado de su superficie de rodadura podría ocasionar superficies lisas que provocaría accidentes de tránsito.

Los valores recomendados de resistencia a la compresión y flexión según el Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC,2014) son:

Tabla 1

Valores Recomendados de Resistencia del Concreto según rango de Tráfico

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'C)
≤ 5'000,000 EE	40 kg cm^{-2}	280 kg cm^{-2}
>5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg cm^{-2}	300 kg cm^{-2}
> 15'000,000 EE	45 kg cm^{-2}	350 kg cm^{-2}

Nota. *R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014*

EE: Ejes equivalentes

2.3.2. *Cemento:*

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa solida de resistencia y durabilidad adecuada. (Rivva, 2020)

El cemento Portland es un material pulverulento de color gris, con tonalidades verdosas. Se comercializa en sacos con un peso neto de 42.5 kg, equivalente a un volumen aproximado de 1 pie cúbico. En aquellos casos en que no se conozca el valor real se considerará para el cemento un peso específico de 3.15 g cm^{-3}. (Rivva, 2020).

2.3.3. *Concreto:*

El concreto es un material compuesto principalmente de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua, en los últimos años se le ha incorporado a esta mezcla aditivos ya sea para mejorar

su rendimiento o para atribuirle características de resistencia mecánica, ya sea resistencia a la compresión o resistencia a la flexión de requerimientos de cargas especiales. (Rivva, 2020)

Las propiedades tanto física como mecánicas del concreto están sujetas a las características físicas y mecánicas de sus componentes, por lo que es relevante tenerlas determinadas mediante ensayos de laboratorio cumpliendo con las normas respectivas de cada ensayo.

Con lo que respecta a concretos reciclados la resistencia a la compresión y flexión va a estar sujeta, además de lo mencionado en el párrafo anterior, a la propiedad mecánica de desgaste del agregado reciclado, ya que debe tener un valor similar al del agregado reciclado natural, para evitar grandes disminuciones de resistencia mecánica. (Rivva, 2020).

Por otro lado, Hernández y Manzanarez (2025) define al concreto como un material compuesto que se forma a partir de una mezcla de cemento, agua, agregados finos y gruesos, y en muchos casos, aditivos químicos o minerales y menciona que se trata de un material económico y moldeable, que en estado fresco puede ser vaciado en cualquier encofrado, y en estado endurecido ofrece alta resistencia estructural, siendo ideal para estructuras durables y resistentes al fuego. Este compuesto es clave en el desarrollo de viviendas, puentes y otras infraestructuras críticas.

Asimismo, Krivenko et al. (2020) amplía esta definición al afirmar que el concreto, en especial cuando incorpora cementos minerales y activados alcalinamente, es una de las soluciones constructivas más eficientes desde el punto de vista técnico y ambiental, en virtud de su durabilidad y de la disponibilidad casi ilimitada de sus componentes en la Tierra. En sus estudios, destaca que la llamada zona de transición interfacial (ITZ) entre el cemento y los agregados es determinante en las propiedades finales del concreto, como la resistencia y la durabilidad.

2.3.3.1 Composición básica

La composición del concreto convencional incluye los siguientes elementos:

Cemento Portland: el principal agente aglutinante que, al reaccionar con el agua, forma productos de hidratación que le otorgan resistencia al concreto.

Agua: indispensable para iniciar la hidratación del cemento, aunque su proporción debe ser cuidadosamente controlada.

Agregados finos y gruesos: aportan masa y resistencia mecánica. Según Morales, 2020 los agregados representan hasta un 75 % del volumen del concreto.

Aditivos y materiales puzolánicos: mejoran la trabajabilidad, reducen la relación agua/cemento y prolongan la durabilidad.

Por su parte, Hernández & Manzanarez (2025) destacan que la calidad del concreto depende del tipo de cemento, granulometría de los agregados y la correcta dosificación de materiales. Para garantizar una mezcla eficaz se deben evitar la segregación de los agregados y asegurar una adecuada compactación y curado.

2.3.3.2 Propiedades mecánicas del concreto

A. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es considerada la propiedad más relevante del concreto y se usa como parámetro de calidad en normas internacionales. Hernández y Manzanarez (2025) afirman que esta propiedad se evalúa a los 28 días mediante ensayos en laboratorio, siendo el resultado dependiente de factores como la hidratación del cemento, el tipo y tamaño de los agregados y las condiciones de curado. también indican que la resistencia a la compresión está influenciada por varios factores, entre ellos:

La relación agua/cemento (a/c): una proporción adecuada es crucial para obtener una mezcla densa y resistente.

El tipo y tamaño de los agregados: afectan la densidad y la distribución de esfuerzos en el concreto.

Las condiciones de curado: un curado adecuado permite el desarrollo óptimo de la resistencia.

Morales (2020) añade que los efectos de la edad, la relación agua/cemento y la velocidad de carga influyen considerablemente. Por ejemplo:

Una mayor edad del concreto implica una mayor resistencia debido a la hidratación continua.

Una relación agua/cemento elevado reduce la resistencia.

Cargas aplicadas rápidamente tienden a aumentar la resistencia aparente.

B. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del concreto, también llamada módulo de ruptura, representa su capacidad para resistir esfuerzos de tracción indirectos. Morales (2020) señala que esta propiedad se mide normalmente con vigas simplemente apoyadas, cargadas en su punto medio o en dos tercios de la luz.

Se calcula a partir del momento flector máximo y la geometría de la sección ensayada.

El valor típico se aproxima al 10–15 % de la resistencia a compresión.

La National Ready Mixeed Concrete Association (2020) define la resistencia a la flexión como una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Este valor se expresa como el módulo de ruptura (MR) y se determina mediante los métodos ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (carga en el centro de la luz). El

módulo de ruptura obtenido mediante carga entabla el centro suele ser mayor, incluso hasta un 15 % más alto que el obtenido por carga en los tercios. También resalta que la resistencia a la flexión, aunque útil para el diseño de pavimentos, es extremadamente sensible a las condiciones del ensayo, como la manipulación, curado y transporte de las probetas. Las desviaciones en los resultados pueden ser elevadas, razón por la cual muchas agencias e instituciones prefieren emplear la resistencia a compresión como método estándar para el control de calidad, aceptación y evaluación del concreto en campo.

Finalmente, Krivenko et al. (2020) complementa esta visión al señalar que mezclas con adiciones puzolánicas bien proporcionadas pueden mejorar significativamente el módulo de ruptura, ya que estas refinan la microestructura del concreto y mejoran la adhesión interna entre la pasta y los agregados, especialmente en zonas traccionadas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica

El agregado reciclado se obtuvo de las pistas de concreto rígido del Jr. Leoncio Prado de la cuadra 03 a la cuadra 05 de la ciudad de Cajamarca, cuya georreferenciación geográfica aproximada de coordenadas UTM y zona del lugar de recolección de los agregados reciclados son las siguientes:

Desde el punto A (cuadra 03)

E: 775,511.29
N: 9,208,037.04
Zona: 17M

Hasta el punto B (cuadra 05)

E: 775,699.65
N: 9,208,124.54
Zona: 17M
Se adjunta plano de ubicación en la figura 01.

Con respecto al lugar de extracción de los agregados naturales: fino y grueso fueron obtenidos de la “Cantera Bazán”, cuya fuente de material proviene del “Rio Mashcón”. Esta cantera se encuentra aproximadamente a la altura del kilómetro 03 carretera a Bambamarca que presenta como coordenadas UTM y zona del lugar de recolección de los agregados naturales son las siguientes:

E: 773,441.19
N: 9,210,566.02
Zona: 17M

Se adjunta plano de ubicación en la figura 02.

Figura 1

Plano de ubicación de extracción de Agregado Reciclado

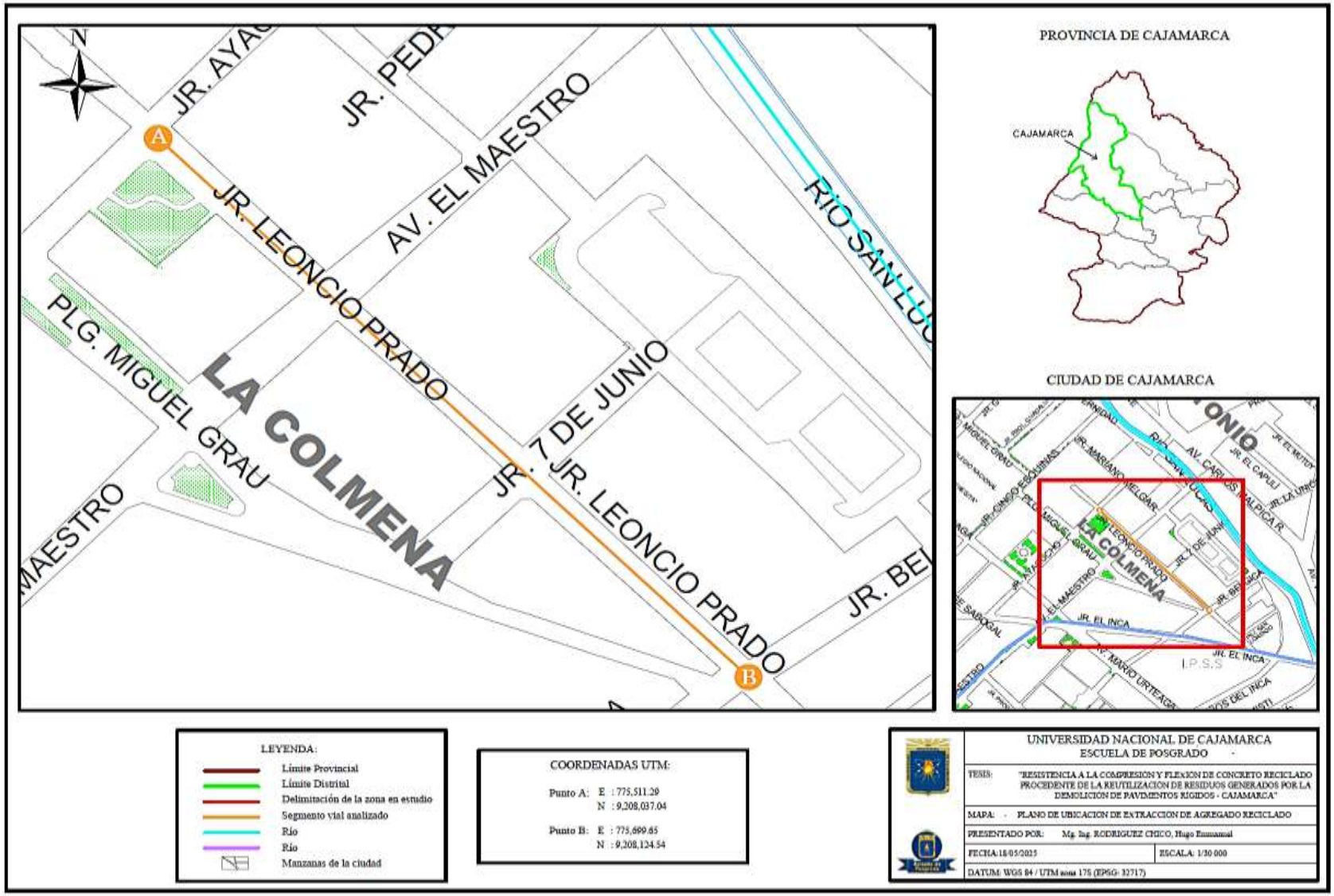
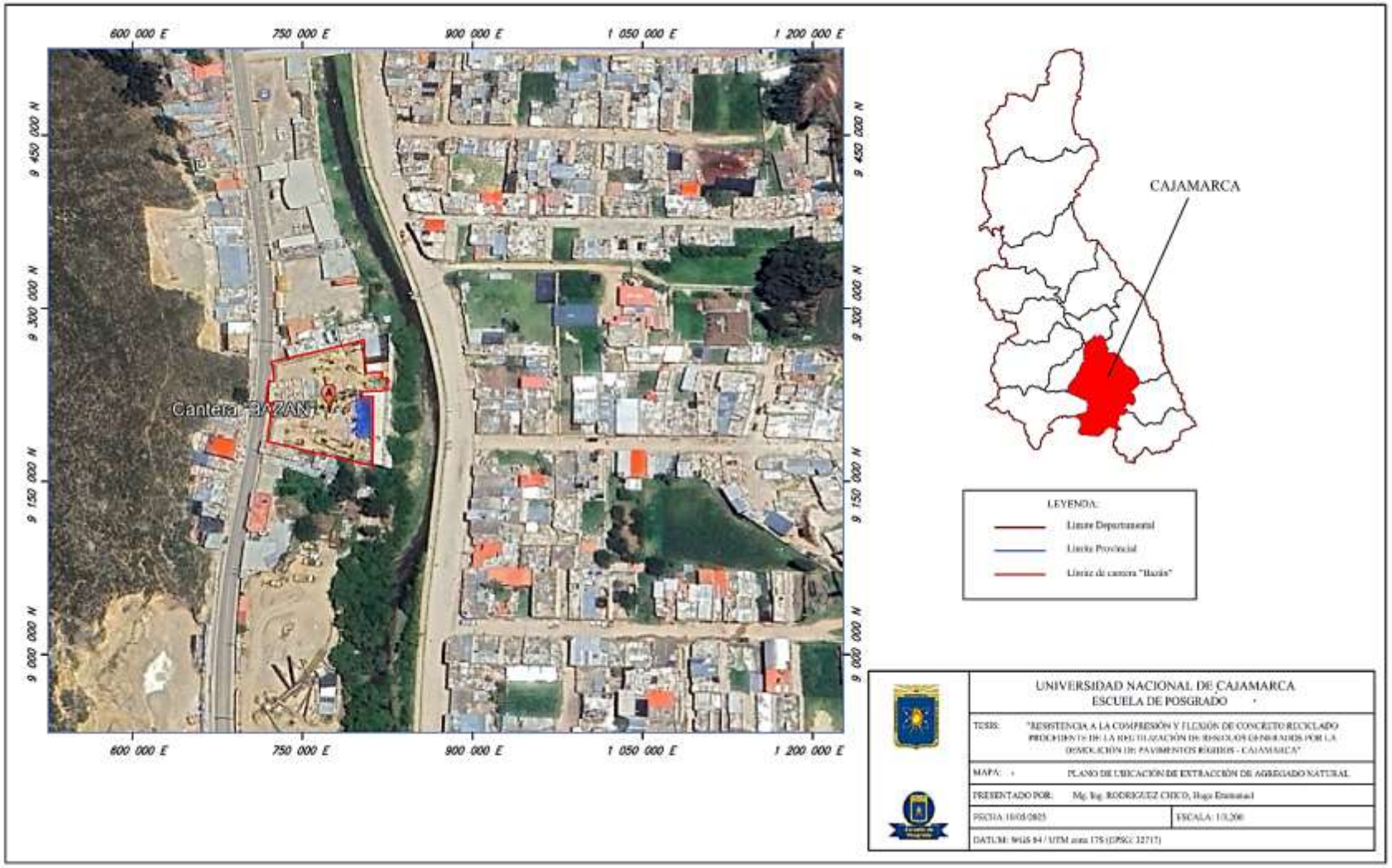


Figura 2

Plano de ubicación de extracción de agregado natural.



3.2 Materiales y equipos

En la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

3.2.1. *Materiales*

Cemento (Portland Tipo I), agregado fino natural, agregado grueso natural, agregado reciclado, agua.

3.2.2. *Equipos*

Para trituración de agregado reciclado: Planta chancadora, cincel, comba.

Para determinar la abrasión del material grueso y reciclado: Máquina de desgaste los ángeles.

Para determinar empíricamente la resistencia a compresión y flexión del concreto: Máquina Universal.

Para determinar las propiedades físicas de los agregados naturales, reciclado y moldeo de mezcla de concreto: Pipetas, juego de tamices, balanza de aproximación, estufa, taras, mezcladora de concreto, carretilla, cono de abrams, badilejo y moldes metálicos para probetas.

3.3 Metodología

El método que se utilizó en la presente investigación fue el método cuantitativo debido a que se realizaron numerosas pruebas y ensayos los cuales sirvieron para probar la hipótesis planteada: la resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de residuos generados por demolición de pavimentos rígidos cumplan con los valores mínimos de resistencia a la compresión y flexión que establece el Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (280 kg cm-2 y 40 kg cm-2 respectivamente (R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014). y medir las siguientes variables de investigación de investigación:

Variable Independiente

Concreto reciclado

Variable dependiente

Resistencia a la compresión y flexión

3.3.1. *Métodos de investigación*

3.3.1.1. Determinación de las propiedades físicas de los agregados naturales

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino y grueso natural de rio se desarrollaron mediante los ensayos de la tabla 2.

Tabla 2

Ensayos para caracterizar físicamente los agregados.

Ensayo de Laboratorio	Norma Peruana	Norma Internacional
Ensayo Granulométrico	NTP 400.012	ASTM C136
Ensayo Tamaño Máximo Nominal	NTP 400.012	ASTM C136
Ensayo Contenido de Humedad	NTP 339.185	ASTM C136
Ensayo Peso Unitario (agregado grueso)	NTP 400.017	ASTM C29
Ensayo Peso Unitario (agregado fino)	NTP 400.017	ASTM C29
Ensayo Peso Específico (agregado grueso)	NTP 400.021	ASTM C127
Ensayo Peso Específico (agregado fino)	NTP 400.022	ASTM C128
Ensayo Absorción (agregado grueso)	NTP 400.022	ASTM C127
Ensayo Absorción (agregado fino)	NTP 400.022	ASTM C128
Ensayo Desgaste de abrasión (agregado grueso)	NTP 400.019	ASTM C131

Nota. *La tabla presenta los ensayos y las normas técnicas aplicables.*

A. Determinación de las propiedades físicas y químicas del concreto

Para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, grueso natural y grueso reciclado se ejecutaron los ensayos detallados en la tabla 3.

Tabla 3

Ensayos para determinar propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de concreto.

Ensayo de Laboratorio	Norma Peruana	Norma Internacional
Ensayo Temperatura	NTP 339.184	ASTM C1064
Ensayo Slump	NTP 339.035	ASTM C143
Ensayo Resistencia a la Compresión Axial	NTP 339.034	ASTM C39
Ensayo Resistencia a la Flexión	NTP 339.079	ASTM C78

Nota. *Se especifican en la tabla los ensayos y la normativa de referencia.*

3.3.2. *Diseño de la investigación*

El diseño de investigación en el presente trabajo fue experimental debido a que se manipularon variables mediante la incorporación de porcentajes de concreto reciclado que tuvo efectos directos sobre la resistencia mecánica del concreto.

Primero. El agregado reciclado que se utilizó en el concreto reciclado se obtuvo directamente después de realizada la demolición del pavimento rígido a pie de obra para evitar algún tipo de contaminación que se puede generar al llevar al botadero. Seguidamente se procedió a triturar y se seleccionó el material que pasa el tamiz N°04.

Asimismo, se obtuvo agregado natural de la cantera “Bazán”, fuente del río Mashcón, ubicada en la ruta hacia Bambamarca.

Segundo se procedió a caracterizar los agregados tanto reciclado como natural o de cantera para obtener las propiedades físicas y mecánicas de ellos mediante ensayos de laboratorio.

Tercero se procedió a determinar la dosificación de mezcla con reemplazo de agregado natural por reciclado al 0%, 25%, 50%, 75% y 100%

Cuarto se preparó la mezcla de concreto en laboratorio y se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto patrón y reciclado.

Quinto se procedió a procesar y analizar los resultados obtenidos en laboratorio.

3.3.3. *Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación*

La población estuvo representada por todas probetas de concreto con agregado reciclado que se elaboraron. La muestra es de tipo no probabilística y estuvo compuesta por 45 vigas y 45 probetas cilíndricas de concreto con incorporación de agregado grueso reciclado al 0%, 25%, 50%, 75% y 100% a los 7, 14 y 28 días de edad conforme a lo presentado en la Tabla 4 y 5.

Tabla 4

Especímenes de concreto para ensayo a la compresión por tratamiento.

Ensayo de resistencia a la compresión axial f´c= 280 kg cm^{-2}	**7 días**	**14 días**	**28 días**
Especímenes de concreto de 15cmx30cm con agregado reciclado al 0%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 15cmx30cm con agregado reciclado al 25%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 15cmx30cm con agregado reciclado al 50%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 15cmx30cm con agregado reciclado al 75%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 15cmx30cm con agregado reciclado al 100%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
TOTAL			**45 unid.**

Tabla 5

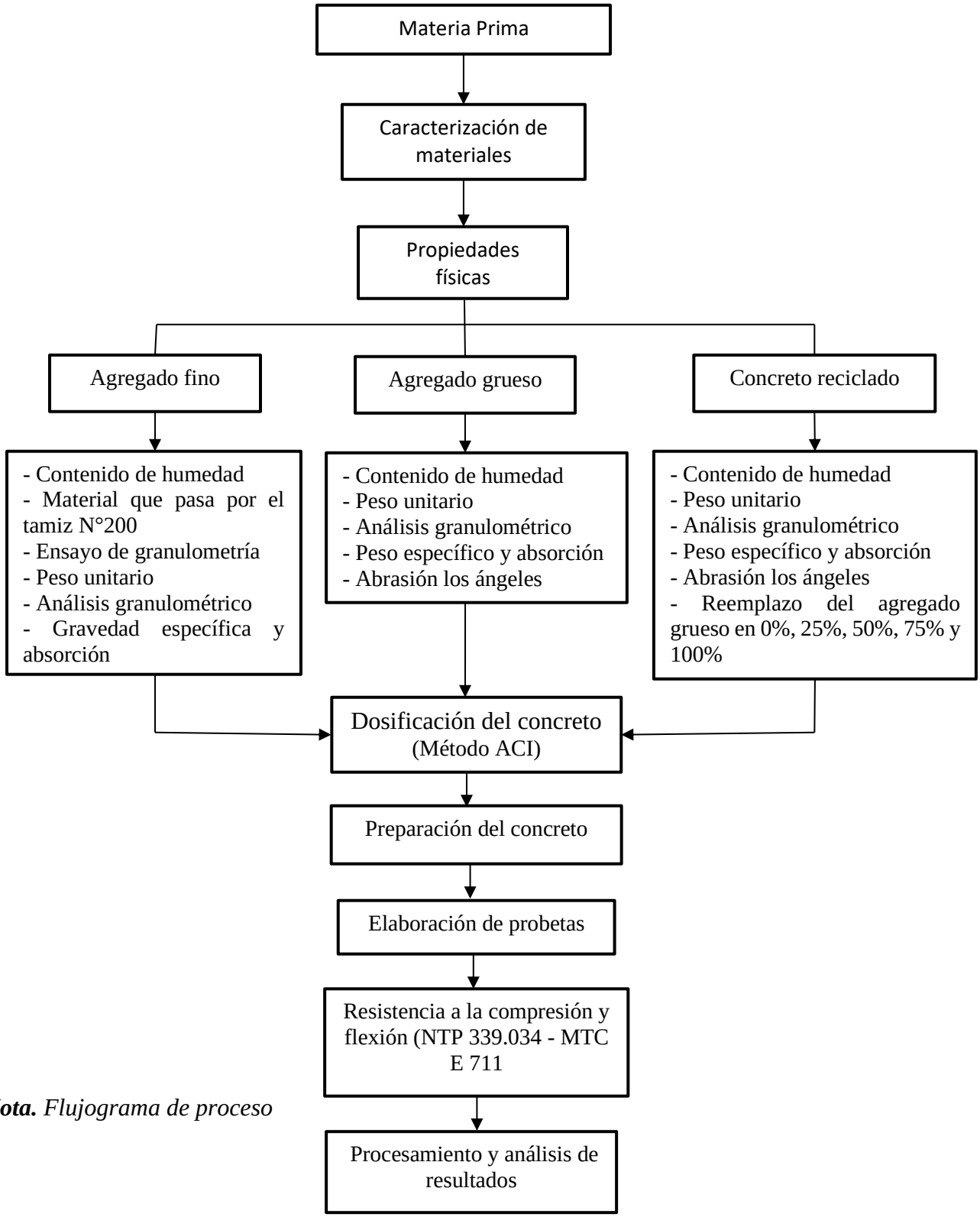
Especímenes de concreto para ensayo a la flexión por tratamiento.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN **Mr= 40 kg cm^{-2}**	**7 días**	**14 días**	**28 días**
Especímenes de concreto de 0.75mx0.15mx0.15m con agregado reciclado al 0%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 0.75mx0.15mx0.15m con agregado reciclado al 25%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 0.75mx0.15mx0.15m con agregado reciclado al 50%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 0.75mx0.15mx0.15m con agregado reciclado al 75%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
Especímenes de concreto de 0.75mx0.15mx0.15m con agregado reciclado al 100%	3 unid.	3 unid.	3 unid.
TOTAL			**45 unid.**

En el caso de las vigas, se emplearon los mismos porcentajes de agregado grueso reciclado, variando únicamente la edad de curado (7, 14 y 28 días) para los ensayos de flexión. El diseño de mezcla se realizó conforme a la metodología del ACI 211 o la NTP 339.034. La unidad de análisis fue el porcentaje de agregado grueso reciclado que se utilizó para la elaboración de concreto reciclado. La unidad de observación fueron las probetas cilíndricas (para ensayo a compresión) y prismáticas (para ensayo a flexión).

Figura 3

Diagrama secuencial del proceso de recolección de datos



Nota. *Flujograma de proceso*

3.3.4. *Procedimiento de análisis de datos*

3.3.4.1. Ensayos en Agregados finos y gruesos

A. Contenido de humedad (NTP 339.185):

a. Se colocaron agregados naturales y reciclado para este caso 1000 gr de grueso y reciclado y 500 gr de fino.

b. Se sometió la muestra a secado en horno por un periodo de 24 horas.

c. Por último, se registró el peso de la muestra.

d. Se realizaron tres ensayos por agregado siguiendo el mismo procedimiento.

e. El contenido de humedad de los agregados se calculó utilizando la Ecuación 1:

Ecuación 1

Contenido de humedad de los agregados

$$W\% = \frac{\mathrm{Wmh} - \mathrm{Ws}}{\mathrm{Ws}} * 100$$

W%: Porcentaje de humedad (%)

Wmh: Peso del material en condición húmeda

Ws: Peso del material en condición seca

B. Análisis granulométrico (NTP 400.012):

a. Se recolectó una muestra representativa de 500 gramos de cada tipo de agregado (fino, grueso y agregado reciclado).

b. Los tamices fueron ordenados de mayor a menor abertura (de acuerdo con la norma ASTM C136 o NTP 400.037 para agregados).

c. La muestra fue colocada en la parte superior de la columna de tamices.

d. Se realizó el tamizado mecánico o manual durante un tiempo adecuado hasta lograr que el material se separara según su tamaño.

e. Se registró en tabla el peso del material retenido en cada tamiz durante el análisis granulométrico.

f. Se calcularon los porcentajes retenidos y acumulados para cada tamiz.

g. Se graficó la curva granulométrica con los datos obtenidos para comparar con los límites establecidos por la norma.

h. Se comprobó que la curva granulométrica cumple con los límites establecidos.

i. Se determinó el tamaño máximo (TM) como el menor tamiz por el que pasa el 100% del material, y el tamaño máximo nominal (TMN) como el tamiz inmediatamente superior a aquel que retiene un 10% o más del acumulado, conforme a la norma ASTM C33.

j. Para el cálculo del módulo de fineza, no se consideraron las mallas N° 10 ni N° 200; se aplicó la Ecuación 2 para su determinación.

Ecuación 2

Módulo de finura de los agregados

$$M.F = \frac{(\sum \text{\% Retenido acumulado en las mallas Nº4,8,16,30,50 y100})}{100}$$

C. Cantidad de material fino que pasa por el tamiz Nº200 por lavado (NTP 400.018):

a. Se preparó una muestra de 500 g para el ensayo.

b. El material fue lavado por inmersión hasta quedar completamente limpio.

c. Tras el lavado, el material fue drenado y secado en horno durante 24 horas para su posterior pesaje.

d. El procedimiento se repitió tres veces.

e. Para determinar el material que pasa el tamiz Nº200 se utilizaron las ecuaciones 3y 4 para su cálculo:

Ecuación 3

Material que pasa el tamiz Nº200

$$C = A - B$$

Ecuación 4

Porcentaje que pasa el tamiz Nº200 por lavado

$$D = \left(\frac{C}{A}\right) * 100$$

C: Material que pasa el tamiz Nº200

A: Peso de la muestra original seca

B: peso de la muestra lavada y seca

D. Peso unitario de los agregados (NTP 400.017):

a. Se pesó el molde.

b. El material fue vertido en el molde y enrazado con una varilla.

c. Se efectuaron tres repeticiones del procedimiento.

d. Para determinar el peso unitario de agregados se utilizaron las ecuaciones 5,6,7 y 8 para su cálculo

Ecuación 5

Peso de los agregados compactado

$$C = A - B$$

C: Peso del agregado fino o grueso en estado compactado

A: Peso del molde más agregado fino o grueso compactado

B: Valor del peso del molde vacío

Ecuación 6

Peso unitario compactado

$$D = \frac{C}{\text{Vol. Molde}}$$

D: Peso unitario compactado

C: Peso del agregado fino o grueso en estado compactado

Ecuación 7

Peso de los agregados suelto

$$F = E - B$$

F: Peso del agregado fino o grueso suelto

E: Peso del molde más agregado fino o grueso suelto

B: Valor del peso del molde vacío

Ecuación 8

Peso unitario suelto

$$G = \frac{F}{\text{Vol. Molde}}$$

G: Peso unitario suelto

F: peso del agregado fino o grueso suelto

E. Gravedad específica y absorción de agregados finos (NTP 400.022):

a. Se preparó una muestra de 500 g de agregado fino para inmersión durante 24 horas.

b. Se secó el agregado hasta alcanzar la condición saturada superficialmente seca (SSS) y se elaboró un cono con el agregado.

c. Se registró el peso de la fiola.

d. El agregado fue introducido en la fiola, se añadió agua, se agitó cuidadosamente y se registró el peso.

e. La muestra fue extraída, drenada y secada en horno durante 24 horas para su posterior pesaje.

f. Se efectuaron tres repeticiones del procedimiento.

g. Para determinar la gravedad específica y absorción de agregados finos se utilizaron las ecuaciones 9,10,11y12 para su cálculo

Ecuación 9

Peso específico aparente (Seco)

$$\mathrm{P.e.a(seco)} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B+S-C}}$$

Ecuación 10

Peso específico peso específico aparente (SSS)

$$\mathrm{P.e.a(SSS)} = \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{B+S-C}}$$

Ecuación 11

Peso específico nominal (Seco)

$$\mathrm{P.e.n(seco)} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B+A-C}}$$

Ecuación 12

Absorción

$$\mathrm{Abs(\%)} = \frac{\mathrm{S-A}}{\mathrm{A}} * 100\%$$

A: Peso de la muestra seca al aire

B: Peso del picnómetro aforado lleno de agua

C: Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua

S: peso de la muestra saturada superficie seca

F. Peso específico y absorción de agregados gruesos y reciclados (NTP 400.021):

a. Se pesaron 2,000 gr de agregado grueso y reciclado, para ser sumergido en agua por 24 horas.

b. Se secó el material hasta alcanzar la condición SSS (saturado superficialmente seco).

c. Se registró el peso de la canastilla vacía.

d. El agregado fue introducido en la canastilla, se sumergió en agua y posteriormente se realizó el pesaje.

e. Finalmente, se retiró la muestra, se eliminó el agua y se secó en horno por 24 horas antes del pesaje.

f. Se efectuaron tres repeticiones del procedimiento.

g. Se determinaron la gravedad específica y la absorción del agregado grueso mediante las ecuaciones 13,14,15 y 16.

Ecuación 13

Peso específico aparente seco

$$\mathrm{P.e.n(seco)} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{B} - \mathrm{C}}$$

Ecuación 14

Peso específico aparente SSS

$$\mathrm{P.e.n(SSS)} = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{B} - \mathrm{C}}$$

Ecuación 15

Peso específico nominal

$$\mathrm{P.e.n(SSS)} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{A} - \mathrm{C}}$$

Ecuación 16

Absorción

$$\mathrm{Abs}(\%) = \frac{\mathrm{S} - \mathrm{A}}{\mathrm{A}} * 100\%$$

A: Peso en el aire de la muestra seca

B: Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

C: Peso en inmersión de la muestra saturada (utilizando canastilla)

S: Peso de la muestra saturada superficie seca

G. Abrasión de los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½``) (NTP 400.019):

a. Se pesaron 5000 gr de material en cada tamiz retenido.

b. El material se introdujo en la máquina de abrasión tipo Los Ángeles.

c. Posterior a ello, se registró el peso del material retenido en el tamiz N.º 12.

d. Se efectuaron tres repeticiones del procedimiento.

e. Se aplicó la Ecuación 17 para determinar el desgaste de los agregados.

Ecuación 17

Desgaste a la abrasión los ángeles

$$\mathrm{D} = (\mathrm{A} - \mathrm{B}) * \frac{100}{\mathrm{A}}$$

D: Desgaste a la abrasión los ángeles

A: Peso muestra total

B: Peso retenido en tamiz Nº12

H. Elaboración del diseño de mezclas (NTP 339.034)

a. Para el diseño de mezcla se aplicó el método ACI, con el fin de comparar los resultados obtenidos. Las mezclas fueron elaboradas para edades de curado de 7, 14 y 28 días.

b. Antes de proceder a realizar el diseño de mezcla se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

   Resistencia especificada: $f'c$ (MPa o psi).

   Asentamiento deseado (slump): medida de trabajabilidad (cm o pulgadas).

   Tamaño máximo del agregado: (normalmente 19 mm o 25 mm).

   Condiciones de exposición: interior, exterior, agresiva, marina, etc.

   Tipo de cemento: (Portland tipo I, II, V, etc.).

c. Se añadió un factor de seguridad a $f'c$ para asegurar que el 95% de las muestras cumplan con la resistencia. El ACI recomienda utilizar la ecuación 18:

Ecuación 18

Resistencia a la compresión de diseño de mezcla

$$f'cr = f'c + 84 \text{ kg cm}^{-2}$$

d. Se seleccionó un asentamiento adecuado, optando por un slump de 3 a 4 pulgadas, correspondiente a una mezcla de consistencia plástica, según los requerimientos de la investigación.

e. Se seleccionó el tamaño máximo nominal según los siguientes criterios:

   No mayor al 1/5 del menor ancho del elemento.

   No mayor a 3/4 del espaciamiento libre entre barras.

f. Para el diseño de la mezcla se consideró el tamaño máximo del agregado grueso (3/4") obtenido en el análisis granulométrico.

g. Se determinó el contenido de aire de 2.5% para un clima moderado y un tamaño máximo de 3/4 de pulgada.

h. Se seleccionó la relación agua/cemento según la resistencia deseada, para la presente investigación fue de 280 kg cm-2

i. Se calculó la cantidad de agua de mezcla.

j. Se determinó el contenido de cemento mediante la ecuación 19

Ecuación 19

Contenido de cemento

$$\text{Cemento (kg m}^{-3}) = \frac{Relación\ a/c}{agua(\text{kg m}^{-3})}$$

k. Se estimaron las cantidades de agregados.

l. Se ajustó la mezcla por humedad.

m. Finalmente, se realizó la verificación de cumplimiento de resistencia a la compresión deseada, trabajabilidad y contenido de aire.

3.3.4.2. Ensayo del concreto en estado fresco

A. Ensayo de Temperatura del concreto (NTP 339.184)

a. Se preparó el equipo: termómetro calibrado y recipiente no absorbente.

b. Se tomó muestra: llenar el recipiente con concreto recién mezclado.

c. Se colocó el termómetro en la mezcla de concreto: mínimo 75 mm de profundidad, sin tocar paredes ni fondo.

d. Se esperó lectura estable: mínimo 2 minutos hasta estabilizar la temperatura.

e. Se registró la temperatura: en °C o °F, con precisión ±0.5 °C.

f. Se limpió el equipo: lavar y guardar el termómetro correctamente.

g. Se anotaron las condiciones de registro de temperatura: fecha, hora, tipo de mezcla, ubicación y observaciones.

h. Se recomienda mantener la temperatura entre 10 °C y 32 °C, ya que es un factor clave en el desarrollo de la resistencia del concreto. Un incremento en la temperatura acelera el fraguado y el endurecimiento de la mezcla.

B. Ensayo de Slump del concreto (NTP 339.035)

a. Se preparó el cono de Abrams humedeciéndolo y posicionándolo sobre una superficie firme y húmeda, manteniéndolo fijo con los pies.

b. Se colocó la mezcla en el cono de Abrams en tres capas sucesivas, representando cada una un tercio del volumen total.

c. Se realizó el primer, segundo y tercer vaciado y se compactó la mezcla de concreto con 25 golpes por vaciado.

d. Al completar la capa final, se apiló el concreto sobre el molde antes de proceder a la compactación.

e. Inmediatamente después, se levantó el molde en forma vertical con cuidado para no alterar la muestra.

f. Finalmente, se determinó el asentamiento midiendo la diferencia entre la altura del molde y la del concreto en su centro.

Tabla 6

Elección del Slump del concreto

Tipo de consistencia	Slump (in)	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" – 2"	Poco trabajable	Vibración convencional
Plástica	3" - 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	> 5"	Muy trabajable	Chuseado

Nota: Abanto, 2009, p 49

3.3.4.3. Ensayo del concreto en estado endurecido

A. Ensayo de resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (NTP 339.034)

- Finalizado el periodo de curado, se extrajeron las probetas para su evaluación.
- Las dimensiones de cada probeta fueron medidas y registradas.
- Cada probeta fue posicionada en la máquina universal.
- Se registraron los valores de deformación y carga final en cada probeta durante el ensayo.

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se aplicó la Ecuación 20.

Ecuación 20

Esfuerzo

$$\sigma = \frac{\mathrm{Pu}}{\mathrm{A}}$$

σ: Esfuerzo

Pu: Ultima carga

A: Área de espécimen

B. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central MTC E 711

Se calculó el módulo de rotura mediante la ecuación:

Ecuación 21

Módulo de rotura

$$R = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, MPa (psi).

P = Valor de carga máxima registrada por la máquina de ensayo, (N o lbf).

l = longitud de la luz, (mm o in).

b = ancho promedio del espécimen en el punto de fractura, (mm o in).

d = altura promedio del espécimen, en el punto de fractura (mm o in).

En caso de fractura en la zona refrentada, se debe considerar el espesor del recubrimiento en la medición.

3.3.5. *Técnicas e instrumentos de recolección de análisis de datos:*

3.3.5.1. Procedimiento de recolección de datos

Para la recolección de datos, se seleccionó la cantera de agregados "Bazán", ubicada en el río Mashcón, en el Barrio Huambocancha Baja. La extracción de la muestra se realizó conforme a la Norma Técnica Peruana NTP 400.010:2011 (revisada en 2016), que establece los procedimientos para la obtención y preparación de muestras representativas de agregados, a su vez el concreto reciclado se obtuvo a partir de bloques provenientes de demoliciones de las cuadra 3,4 y 5 del Jr. Leoncio Prado, este último para ser reutilizado como agregado grueso en la elaboración del concreto de presente investigación, se trituró de manera manual mediante una comba y tamizando para este en óptimas condiciones de ser ensayado, todos los insumos fueron trasladados a la ciudad de Cajamarca, el cemento a utilizar es Pacasmayo portland tipo I, debido a ser un material accesible se pudo encontrar en las principales ferreterías de la ciudad, el agua a utilizar

fue potable de acuerdo a los requerimientos de la NTP 339.088, proveniente del mismo laboratorio de concreto.

Adicionalmente, se llevó a cabo la caracterización de los agregados mediante ensayos normados conforme a las Normas Técnicas Peruanas (NTP), cuyos procedimientos específicos se detallarán en el apartado correspondiente al análisis de datos. Posteriormente, se desarrolló el diseño de mezcla utilizando el método del ACI (American Concrete Institute). Con base en este diseño, se fabricaron un total de 90 probetas empleando agregado natural y concreto reciclado, distribuidas para ser evaluadas a edades de 7, 14 y 28 días. Finalmente, se ejecutaron los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión.

3.3.5.2. Método de análisis de datos

Al tratarse de una investigación experimental, se aplicó estadística descriptiva para resumir los datos en tablas y gráficos. Asimismo, se utilizó Microsoft Excel como herramienta para procesar y analizar los resultados obtenidos en laboratorio.

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para analizar la distribución de los resultados de resistencia a la compresión y flexión del concreto. Consecutivamente, se aplicó la prueba T de Student para evaluar si el agregado reciclado (AR) influye en las propiedades del concreto. Los datos de laboratorio fueron organizados en tablas y procesados mediante Microsoft Excel.

A. Prueba de Normalidad de datos.

Dado que se cuenta con una muestra de quince especímenes por cada grupo etario en diferentes porcentajes de sustitución de agregado natural por agregado reciclado, y considerando que el tamaño muestral es menor a treinta, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Esta prueba permite evaluar si los datos obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y

a la flexión del concreto a los 28 días de curado siguen una distribución normal. Para ello, se plantean las siguientes hipótesis estadísticas:

Hipótesis nula (H0): El valor obtenido en el ensayo de compresión del concreto para un (n = 15) es una distribución normal.

Hipótesis alterna (H1): El valor obtenido en el ensayo de compresión del concreto para un (n = 15) no es una distribución normal.

Para determinar una distribución normal se tiene:

Porcentaje de error: **(α) de 5%**

Si. **α≤P-Valor**, entonces se acepta **H0**

α>P-Valor, entonces se acepta **H1**

Establecidos los criterios se ejecuta el análisis estadístico correspondiente a las hipótesis planteadas:

Rechazo de H0: El rechazo de la hipótesis nula indica que los datos no presentan una distribución normal.

- ***No rechazo de H0:*** Si no se rechaza la hipótesis nula, no se dispone de evidencia suficiente para concluir que los datos no siguen una distribución normal.

B. Prueba de T Student:

Se utiliza para contrastar hipótesis cuando el tamaño muestral es menor a 30.

Se sigue el siguiente procedimiento:

Establecer la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1). La hipótesis alternativa representa, en términos matemáticos, la afirmación que se desea demostrar, mientras que la hipótesis nula plantea la negación de dicha afirmación. En el presente estudio, se busca comprobar que la sustitución del agregado grueso natural por agregado reciclado incrementa la resistencia a

la compresión y a la flexión del concreto a los 28 días, en comparación con la muestra patrón sin adición, siendo esta afirmación la base de la hipótesis **alternativa (H_1).**

Se consideró un nivel de significancia alfa de: 0.05 destinados a la investigación científica.

Se emplea la distribución T de Student para calcular la probabilidad de error mediante la fórmula general establecida, y el resultado se contrasta con el valor crítico T obtenido de la tabla correspondiente.

La aceptación o el rechazo de la hipótesis alternativa depende del análisis de la evidencia recopilada.

Si la probabilidad de error (p) resulta mayor al nivel de significancia se acepta la hipótesis nula.

Si la probabilidad de error (p) resulta menor al nivel de significancia se acepta la hipótesis alternativa.

Finalmente, se debe comparar el valor T obtenido con el valor crítico T extraído de la tabla de la distribución T de Student.

Por lo que:

Si $Tt < Tc$ se acepta la hipótesis nula.

Si $Tt > Tc$ se acepta la hipótesis alternativa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado fino

4.1.1. *Análisis granulométrico del agregado fino*

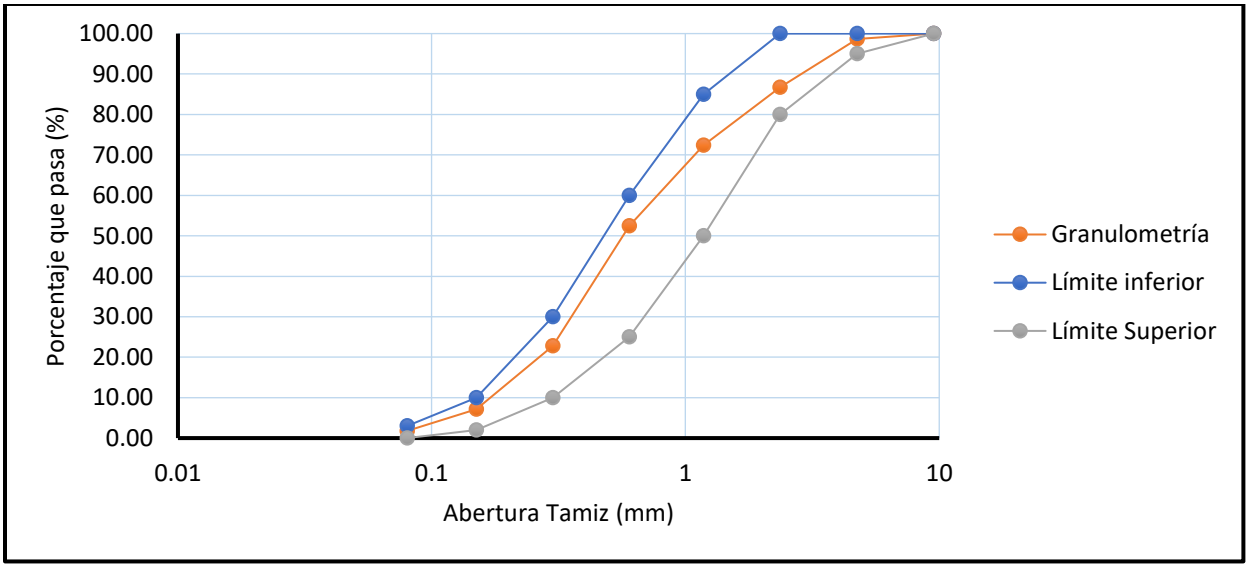
Tabla 7

Análisis granulométrico del agregado fino

N°	Tamiz		Husos Granulométrico	
	(in)	(mm)	Límite superior	Límite inferior
1	3/8"	9.51	100	100
2	N° 4	4.75	95	100
3	N° 8	2.36	80	100
4	N° 16	1.18	50	85
5	N° 30	0.6	25	60
6	N° 50	0.3	10	30
7	N° 100	0.15	2	10
8	N° 200	0.08	0	3
9	Bandeja	-		

Figura 4

Curva granulométrica del agregado fino



Ecuación 22

Módulo de finura del agregado fino

$$M.F = \frac{(\sum \%\ Retenido\ acumulado\ en\ las\ mallas\ N°4,\ 8{,}16{,}30{,}50\ y\ 100)}{100} = 2.74$$

La Tabla 7 y Figura 4 muestran los resultados obtenidos del ensayo realizado, se verificó que la gradación cumpla con la Norma ASTM C136 y su norma equivalente nacional NTP 400.012, asimismo se obtuvo que el agregado fino presenta un módulo de finura (M.F) de 2.74 valor que presenta una arena de tamaño de grano medio. La importancia de obtener el valor del agregado fino radica en que al usar arenas de grano medio le brindará mayor consistencia a la mezcla evitando segregación y cangrejeras de gran importancia para un pavimento rígido cuya funcionalidad radica en la impermeabilización de la capa de rodadura.

4.1.2. *Porcentaje de absorción del agregado fino*

Tabla 8

Porcentaje de absorción del agregado fino

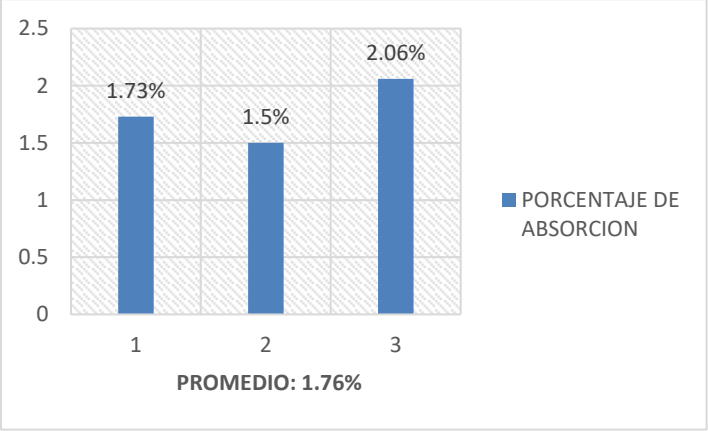
Absorción de agregados finos					
Descripción	**Unid.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Absorción	(%)	1.73	1.50	2.06	**1.76**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 5

Porcentaje de absorción del agregado fino



Conforme a los resultados presentados en la Tabla 8 y la Figura 5, se observa que el porcentaje promedio de absorción del agregado fino fue de 1.76%, determinado según el ensayo normado por la ASTM C127 y su equivalente norma nacional, la NTP 400.022. Este valor puede presentar variaciones dependiendo de las condiciones climáticas a las que se exponga el material. La determinación precisa de este parámetro es fundamental para calcular el contenido de agua efectiva en la mezcla, el cual influye directamente en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto reciclado. En este contexto, resulta acertada la afirmación de Hernández & Manzanarez (2025), quienes sostienen que la relación agua-cemento es un factor determinante para obtener una mezcla plástica y resistente, y que es esencial considerar el valor de absorción de los agregados en dicho cálculo. El porcentaje de absorción del agregado fino, correspondiente al 1.76%, se encuentra dentro del rango característico de los materiales extraídos de las canteras ubicadas en la cuenca del río Mashcón, en Cajamarca.

4.1.3. *Contenido de humedad del agregado fino*

Tabla 9

Contenido de humedad del agregado fino

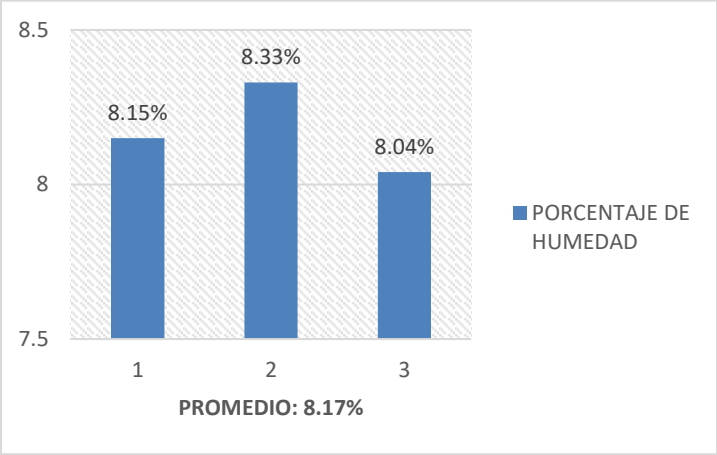
Contenido de humedad					
Descripción	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Promedio Porcentaje Humedad	%	8.15	8.33	8.04	**8.17**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 6

Contenido de humedad del agregado fino



En la Tabla 9 y Figura 6 se observa que el contenido de humedad promedio del agregado fino es de 8.17% del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C136 y su norma equivalente nacional NTP 399.185, este valor es variable debido a estado del clima en el que el material se encuentre y es importante determinarlo para el agua efectiva de mezcla que influye en la resistencia a la compresión y flexión del mismo. El contenido de humedad del agregado fino, correspondiente al 8.17%, se encuentra dentro del rango característico de los materiales extraídos de las canteras ubicadas en la cuenca del río Mashcón, en Cajamarca.

4.1.4. *Peso unitario suelto y compactado del agregado fino*

Tabla 10

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

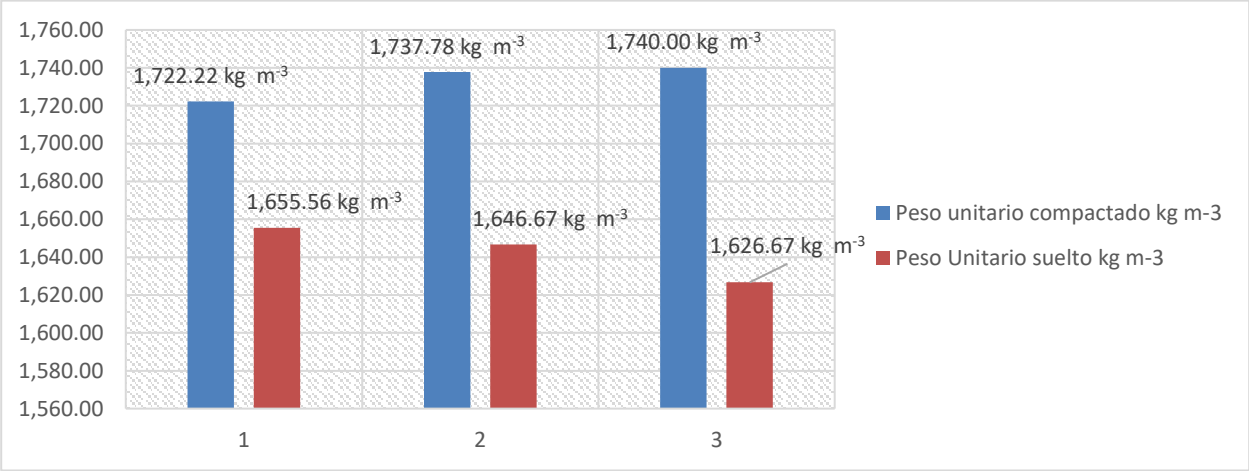
Peso unitario del agregado fino					
Descripción	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Peso unitario compactado	kg m^{-3}	1,722.22	1,737.78	1,740	**1,733.33**
Peso unitario suelto	kg m^{-3}	1,655.56	1,646.67	1,626.67	**1,642.22**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 7

Peso unitario suelto y compactado del agregado fino



La Tabla 10 y la Figura 7 muestran que el peso unitario compactado promedio y el peso unitario suelto promedio del agregado fino es de 1,733.33 kg m^{-3} y 1,642.22 kg m^{-3} respectivamente, del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C29 y su norma equivalente nacional NTP 400.017, es importante determinar este valor para obtener la cantidad de material requerido por m^3 de concreto que influye en la resistencia a la compresión y flexión del mismo. Los valores registrados del peso unitario suelto y compactado del agregado fino corresponden a arenas de grano medio.

4.2 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado grueso

4.2.1. *Análisis granulométrico del agregado grueso*

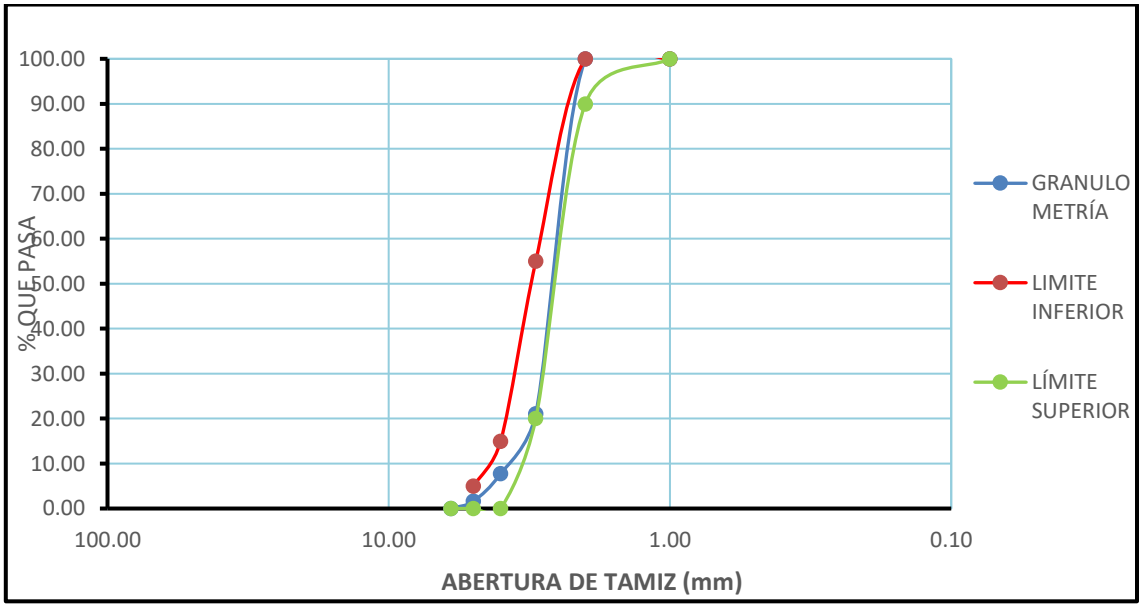
Tabla 11

Análisis granulométrico del agregado grueso

N°	Tamiz		Husos granulométrico N° 57	
	(in)	(mm)	L.S.	L.I
1	1”	25.00	100	100
2	3/4”	19.00	90	100
3	1/2”	12.50	20	55
4	3/8”	9.50	0	15
5	N° 4	4.75	0	5
6	Bandeja	-	-	-

Figura 8

Curva granulométrica del agregado grueso



Ecuación 23

Módulo de finura del agregado grueso

$$M.F = \frac{(\sum \%\ Retenido\ acumulado\ en\ las\ mallas\ 1\ 1/2", 3/4", 1/2", 3/8", N°4,\ 8{,}16{,}30{,}50\ y\ 100)}{100} = 6.89$$

En la Tabla 11 y la Figura 8 se presentan los resultados obtenidos del ensayo realizado. Se verificó que la gradación cumple con lo establecido en la norma ASTM C136 y su equivalente nacional, la NTP 400.012. Asimismo, se determinó que el agregado grueso reciclado tiene un tamaño máximo de 3/4", un tamaño máximo nominal de 1/2" y un módulo de finura (M.F.) de 6.89. Este último es un parámetro importante, ya que influye directamente en el acomodo de los agregados dentro de la mezcla de concreto, lo que a su vez repercute en su durabilidad, trabajabilidad y resistencia mecánica.

4.2.2. *Porcentaje de absorción del agregado grueso*

Tabla 12

Porcentaje de absorción del agregado grueso

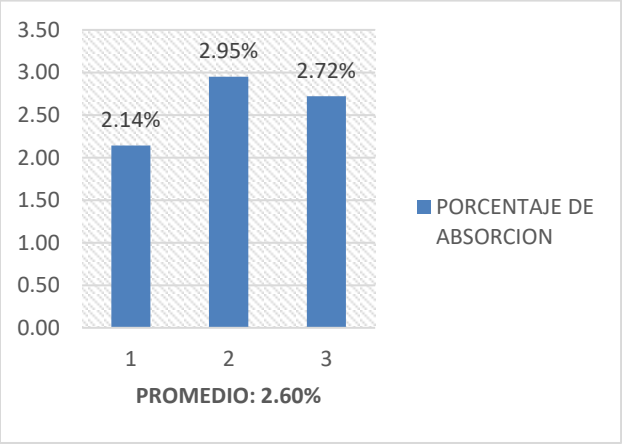
Absorción de agregados gruesos					
Descripción	**Unid.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp.3**	**Promedio**
Absorción	(%)	2.14	2.95	2.72	**2.6**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 9

Porcentaje de absorción del agregado grueso



Con base a la información presentada en la Tabla 12 y Figura 9 se aprecia que el porcentaje de absorción promedio del agregado grueso fue de 2.60% del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C127 y su norma equivalente nacional NTP 400.022, este valor es variable debido a estado del clima en el que el material se encuentre y es importante determinarlo para el agua efectiva de mezcla, lo que implica valores precisos de resistencia mecánica del concreto a la que se desea obtener. En este contexto, resulta acertada la afirmación de Morales (2020), quien afirma que la relación agua-cemento elevado reduce la resistencia, y destaca la importancia de considerar el valor de absorción de los agregados en dicho cálculo, finalmente cabe mencionar que el porcentaje de absorción del agregado grueso, correspondiente al 2.60%, se encuentra dentro del rango característico de los materiales extraídos de las canteras ubicadas en la cuenca del río Mashcón, en Cajamarca.

4.2.3. *Contenido de humedad del agregado grueso*

Tabla 13

Contenido de humedad del agregado grueso

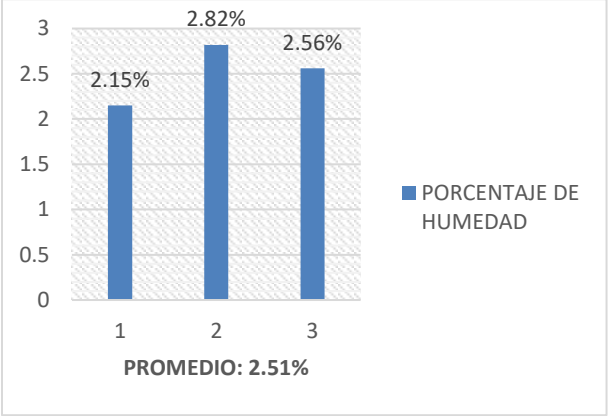
Contenido de humedad					
Descripción	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Promedio Porcentaje Humedad	%	2.15	2.82	2.56	2.51

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 10

Contenido de humedad del agregado grueso



En la Tabla 13 y Figura 10 se observa que el contenido de humedad promedio del agregado grueso es de 2.51% del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C136 y su norma equivalente nacional NTP 399.185, el contenido de humedad de un agregado natural es variable y está relacionado estado del clima en el que el material se encuentre y es importante determinarlo para el agua efectiva de mezcla de concreto el cual influye directamente en la resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado. El contenido de humedad del agregado grueso, correspondiente al 2.51%, se encuentra dentro del rango característico de los materiales extraídos de las canteras ubicadas en la cuenca del río Mashcón, en Cajamarca.

4.2.4. *Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso*

Tabla 14

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

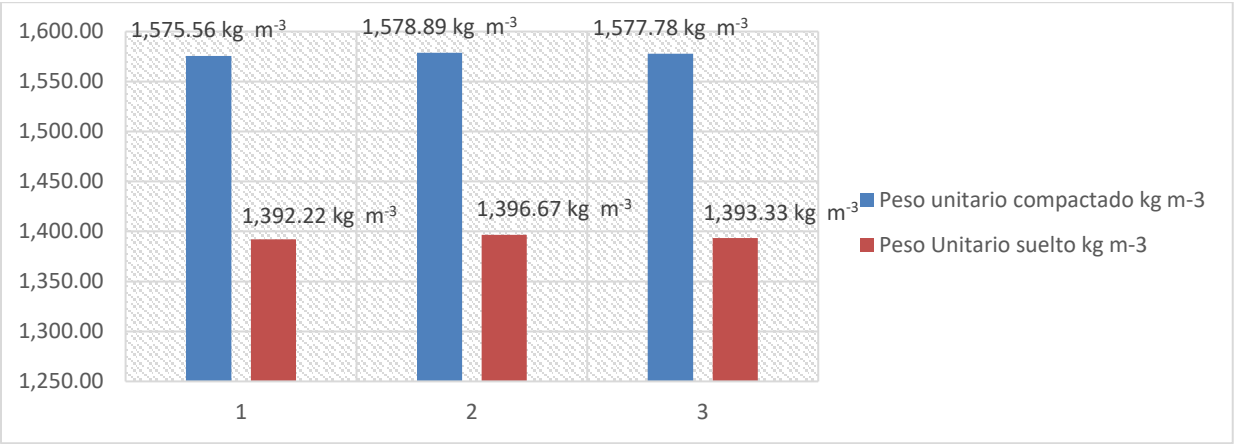
Descripción	Peso unitario del agregado grueso				
	Unid	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Peso unitario compactado	kg m^{-3}	1,575.56	1,578.89	1,577.78	**1,577.41**
Peso unitario suelto	kg m^{-3}	1,392.22	1,396.67	1393.33	**1,394.07**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 11

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso



Como se evidencia en la Tabla 14 y Figura 11 el peso unitario compactado promedio y el peso unitario suelto promedio del agregado grueso es de 1,577.41 kg m^{-3} y 1,394.07 kg m^{-3} respectivamente, del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C29 y su norma equivalente nacional NTP 400.017, es importante determinar este valor para obtener la cantidad de material requerido por m^3 de concreto.

4.2.5. *Desgaste a la abrasión del agregado grueso*

Tabla 15

Desgaste a la abrasión del agregado grueso

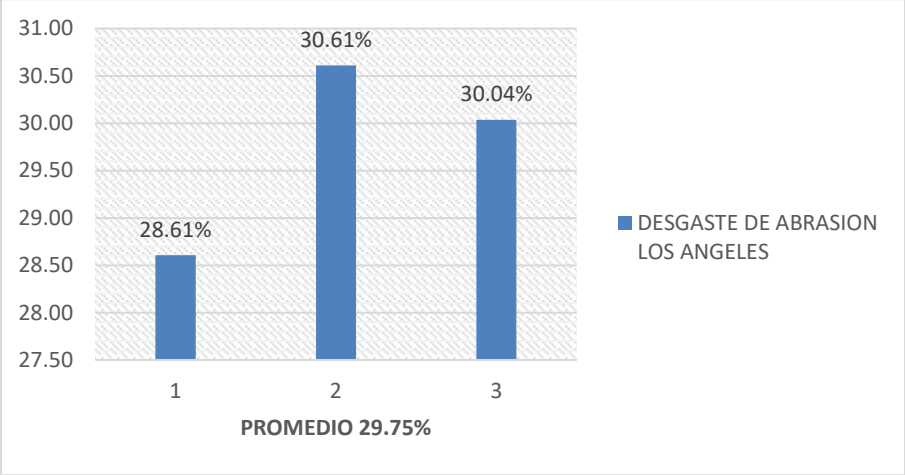
Desgaste a la abrasión					
Descripción	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Desgaste a la abrasión los Ángeles	%	28.61	30.61	30.04	**29.75**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 12

Desgaste a la abrasión del agregado grueso



Según la Tabla 15 y Figura 12 se puede observar que los resultados obtenidos del ensayo realizado, de acorde con la Norma ASTM C131 y su norma equivalente nacional NTP 400.019, se obtuvo que el desgaste promedio es de 29.75%, es importante determinar este valor obtenido para poder compararlo con el valor de desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado, el cual se debe acercar a el valor de desgaste para evitar obtener grandes disminuciones de resistencia mecánica del concreto reciclado.

4.3 Valores obtenidos de las propiedades físicas del agregado reciclado

4.3.1. *Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado*

Tabla 16

Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado (Gradación B)

N°	Tamiz (in)	Tamiz (mm)	% retenido acumulado (%)
1	3"	75	0
2	1 1/2"	38.1	0
3	3/4"	19	10.51
4	1/2"	12.7	22.787
5	3/8"	9.5	33.205
6	N° 4	4.76	53.46
7	N° 8	2.36	62.815
8	N° 16	1.1	70.141
9	N° 30	0.59	77.2
10	N° 50	0.297	85.207
11	N° 100	0.149	91.45
12	N° 200	0.075	96.542
13	Bandeja	-	100.00

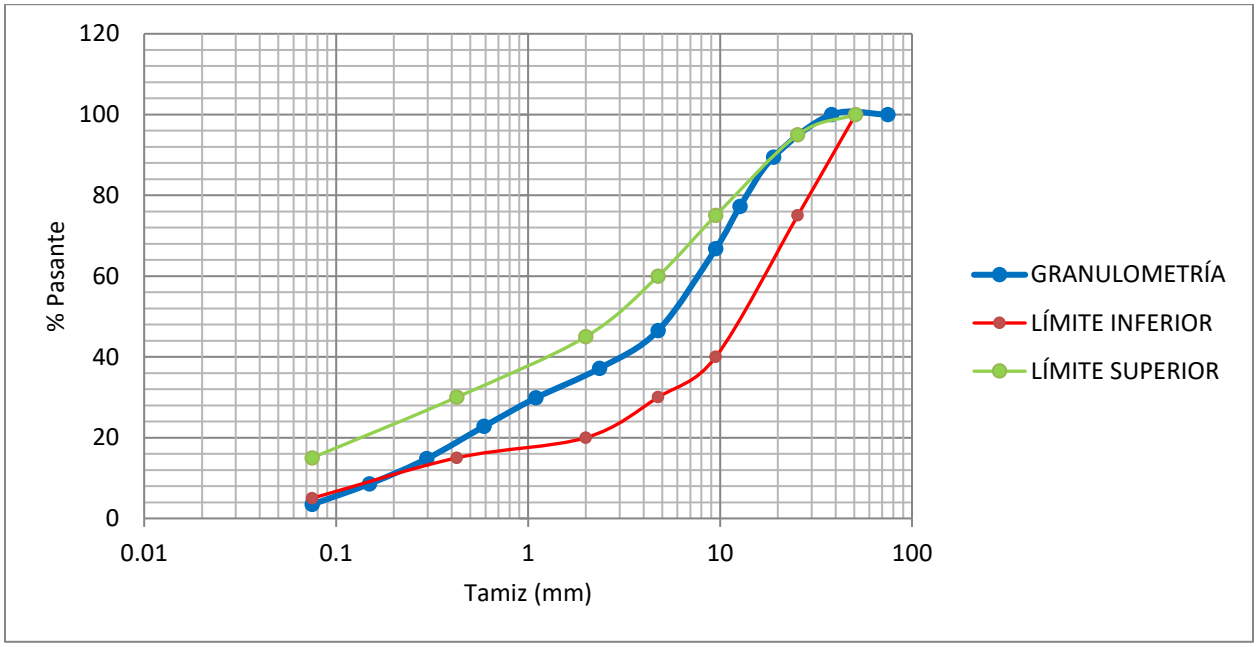
Ecuación 24

Módulo de finura del agregado grueso reciclado

$$M.F = \frac{(\sum \%\ Retenido\ acumulado\ en\ las\ mallas\ 1\ 1/2",3/4",1/2",3/8",N°4,\ 8,16,30,50\ y\ 100)}{100} = 4.90$$

Figura 13

Análisis granulométrico del agregado grueso reciclado



En la Tabla 16 y Figura 13 se visualiza que los resultados obtenidos del ensayo realizado, se verificó que la gradación cumpla con la Norma ASTM C136 y su norma equivalente nacional NTP 400.012, asimismo se obtuvo que el agregado grueso presenta un tamaño máximo de 1”, un tamaño máximo nominal de 3/4” y un módulo de finura (M.F) de 4.90, es importante obtener este valor para el cálculo de diseño de mezcla del concreto reciclado esto difiere con la investigación realizada por Gutiérrez y Ortiz (2020) donde utiliza n un agregado reciclado triturado de tamaño máximo nominal de ½”.

Asimismo, se puede decir que el tamaño del agregado grueso reciclado es aceptable para mezclas de concreto que se podrían utilizar en pavimentos rígidos con mallas de acero de espaciamiento de 1.90 cm entre aceros.

4.3.2. *Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado*

Tabla 17

Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado

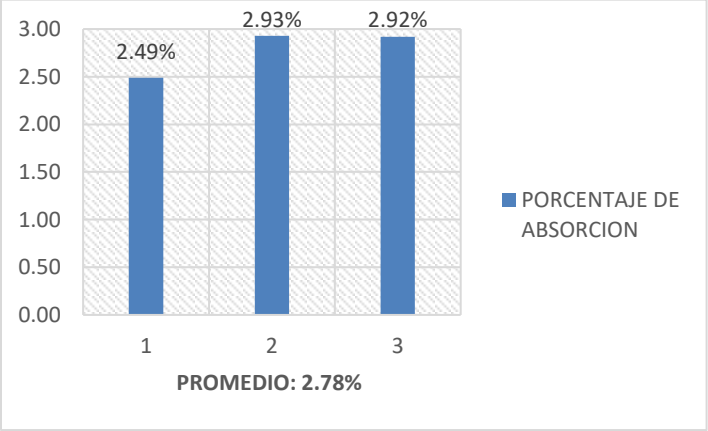
Absorción de agregado grueso reciclado					
Descripción	**Und.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Absorción	(%)	2.49	2.93	2.92	2.78

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 14

Porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado



En la Tabla 17 y Figura 14 se observa que el porcentaje de absorción promedio del agregado grueso fue de 2.78% del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C127 y su norma equivalente nacional NTP 400.022, el valor de porcentaje de absorción obtenido es variable y está relacionado con el estado del clima en el que el material se encuentre y es importante determinarlo para el agua efectiva de mezcla. Los valores registrados del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado son similares a los agregados naturales de río los cuales son recomendados para mezclas de concreto convencional según Rivva (2020).

4.3.3. *Contenido de humedad del agregado grueso reciclado*

Tabla 18

Contenido de humedad del agregado grueso reciclado

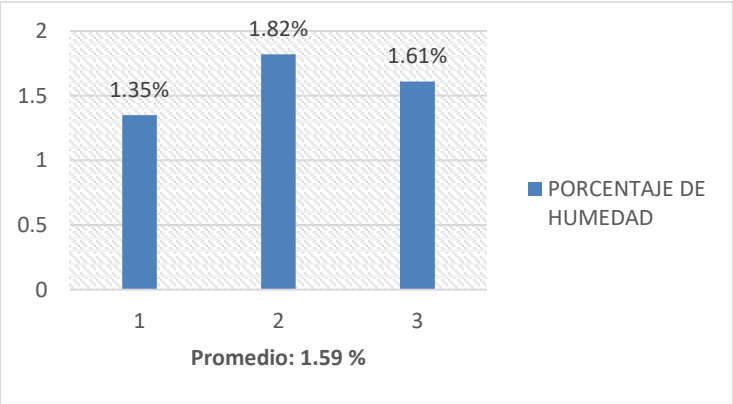
Contenido de humedad					
Descripción	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Promedio Porcentaje Humedad	%	1.35	1.82	1.61	**1.59**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 15

Contenido de humedad del agregado reciclado



En la tabla 18 y figura 15 se aprecia que el contenido de humedad promedio del agregado grueso reciclado es de 1.59% del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C136 y su norma equivalente nacional NTP 399.185, el contenido de humedad es variable y está relacionado con el estado del clima en el que el material se encuentre y es importante determinarlo para el agua efectiva de mezcla. Finalmente, cabe mencionar que el porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado de 1.59% es un porcentaje alterado debido a los restos de morteros adheridos de acorde a lo mencionado por Muñoz et al. (2022).

4.3.4. *Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado*

Tabla 19

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado

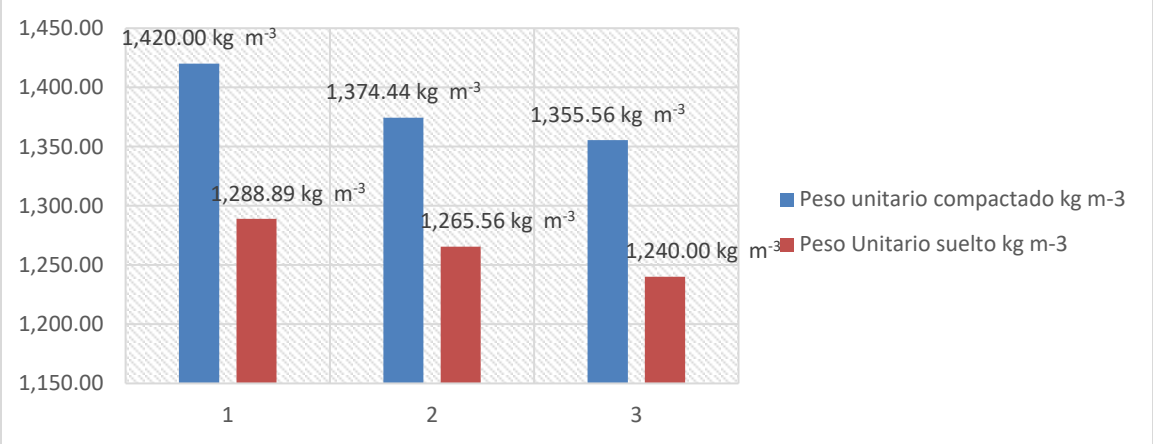
Peso unitario del agregado fino, grueso y grueso reciclado					
Descripción	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Peso unitario compactado	kg m^{-3}	1,420.00	1,374.44	1,355.56	**1,383.33**
Peso unitario suelto	kg m^{-3}	1,288.89	1,265.56	1,240.00	**1,264.82**

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 16

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado



De acuerdo con la Tabla 19 y Figura 16, se visualiza que el peso unitario compactado promedio y el peso unitario suelto promedio del agregado grueso reciclado es 1,383.33 kg m^{-3} y 1,264.82 kg m^{-3} respectivamente, del ensayo realizado de acorde a la Norma ASTM C29 y su norma equivalente nacional NTP 400.017, es importante determinar este valor para el cálculo de la cantidad de material requerido por m^3 de concreto. Los valores obtenidos de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado (1,383.33 kg m^{-3} y 1,264.82 kg m^{-3} respectivamente) resultan inferiores en comparación con los correspondientes valores del agregado grueso natural (1,577.41 kg m^{-3} y 1,394.07 kg m^{-3} respectivamente). La disminución en la densidad aparente del

agregado grueso reciclado se encuentra directamente relacionada con la reducción de la resistencia a la compresión y a la flexión en las mezclas de concreto reciclado. Esta condición es atribuible a la sustitución parcial o total del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado, el cual, según lo señalado por Muñoz et al. (2022) presenta una menor densidad y una mayor porosidad en comparación con los agregados naturales.

4.3.5. *Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado*

Tabla 20

Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado

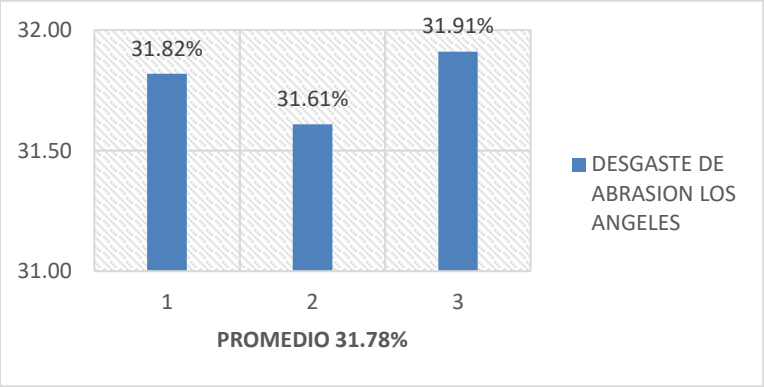
Desgaste a la abrasión					
Descripción	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Promedio**
Desgaste a la abrasión Los Ángeles	%	31.82	31.61	31.91	31.78

Nota:

Esp.: Espécimen

Figura 17

Desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado.



En la Tabla 20 y la Figura 17 se presentan los resultados del ensayo de desgaste a la abrasión, realizado conforme a la norma ASTM C131 y su equivalente nacional NTP 400.019. El valor promedio obtenido para el agregado reciclado fue de 31.78%, el cual resulta relevante, ya que este ensayo permite evaluar la durabilidad y la resistencia al desgaste de los agregados,

propiedades críticas en aplicaciones como pavimentos rígidos, donde los materiales están expuestos a fricción constante por el tránsito vehicular. Cabe destacar que el desgaste a la abrasión del agregado reciclado (31.78%) fue superior al del agregado natural (29.78%), lo cual concuerda con lo indicado por Jiménez y Soto (2025) quienes señalan que los agregados reciclados tienden a presentar propiedades físicas menos favorables en comparación con los agregados naturales, principalmente debido a su mayor porosidad y contenido de mortero adherido.

4.4 Valores obtenidos de las propiedades mecánicas del concreto.

4.4.1. *Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto*

Tabla 21

Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto

Probetas cilíndricas	Edad (días)	Resistencia a la compresión en (kg cm^{-2})			Promedio resistencia a la compresión en (kg cm^{-2})
		Esp. 01	Esp. 02	Esp. 03	
PPC	7	340.89	343.41	341.31	341.87
	14	413.42	414.67	412.89	413.66
	28	472.84	466.30	471.4	470.18
PAAR25%	7	308.9	312.21	309.13	310.08
	14	380.88	373.65	383.32	379.28
	28	438.44	440.13	439.44	439.34
PAAR50%	7	293.51	296.75	295.9	295.39
	14	365.25	367.03	368.13	366.80
	28	424.73	425.24	422.89	424.29
PAAR75%	7	277.12	283.22	281.47	280.60
	14	327.86	333.2	332.1	331.05
	28	411.88	412.16	410.87	411.64
PAAR100%	7	262.74	266.79	264.59	264.71
	14	318.81	319.13	320.56	319.50
	28	393.55	391.68	392.69	392.64

Nota:

Esp. Espécimen de concreto

PPC Probetas Patrón de Concreto (280 kg cm^{-2})

PAAR25% Probetas Adicionando Agregado Reciclado en Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR

PAAR50% Probetas Adicionando Agregado Reciclado en Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR

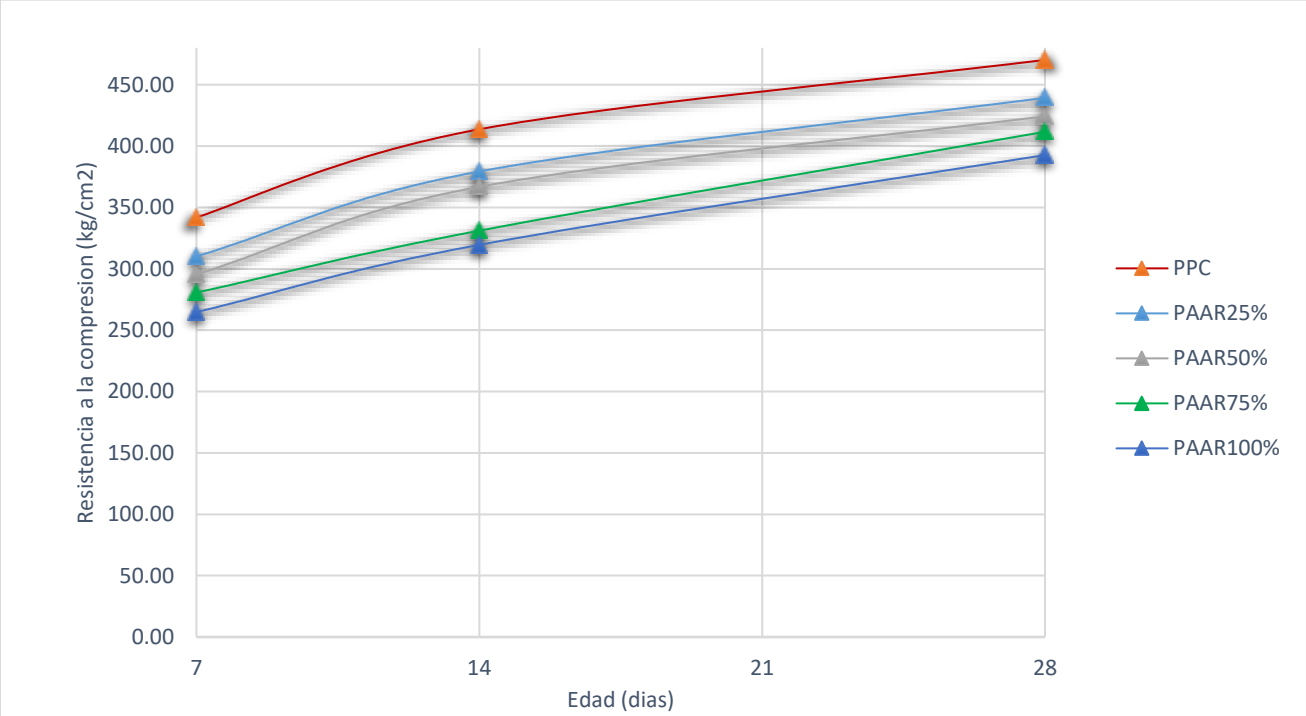
PAAR75% Probetas Adicionando Agregado Reciclado en Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR

PAAR100% Probetas Adicionando Agregado Reciclado en Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

La desviación estándar de los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto fue de 62.30 kg cm^{-2} lo que indica que está dentro del rango considerado para meteorología ACI ($f'cr = f'c + 84$ kg cm^{-2}) para resistencias de concreto dentro del rango de 210 kg cm^{-2} a 350 kg cm^{-2}.

Figura 18

Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto



Nota:

PPC Probetas Patrón de Concreto (280 kg cm^{-2})

PAAR25% Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR

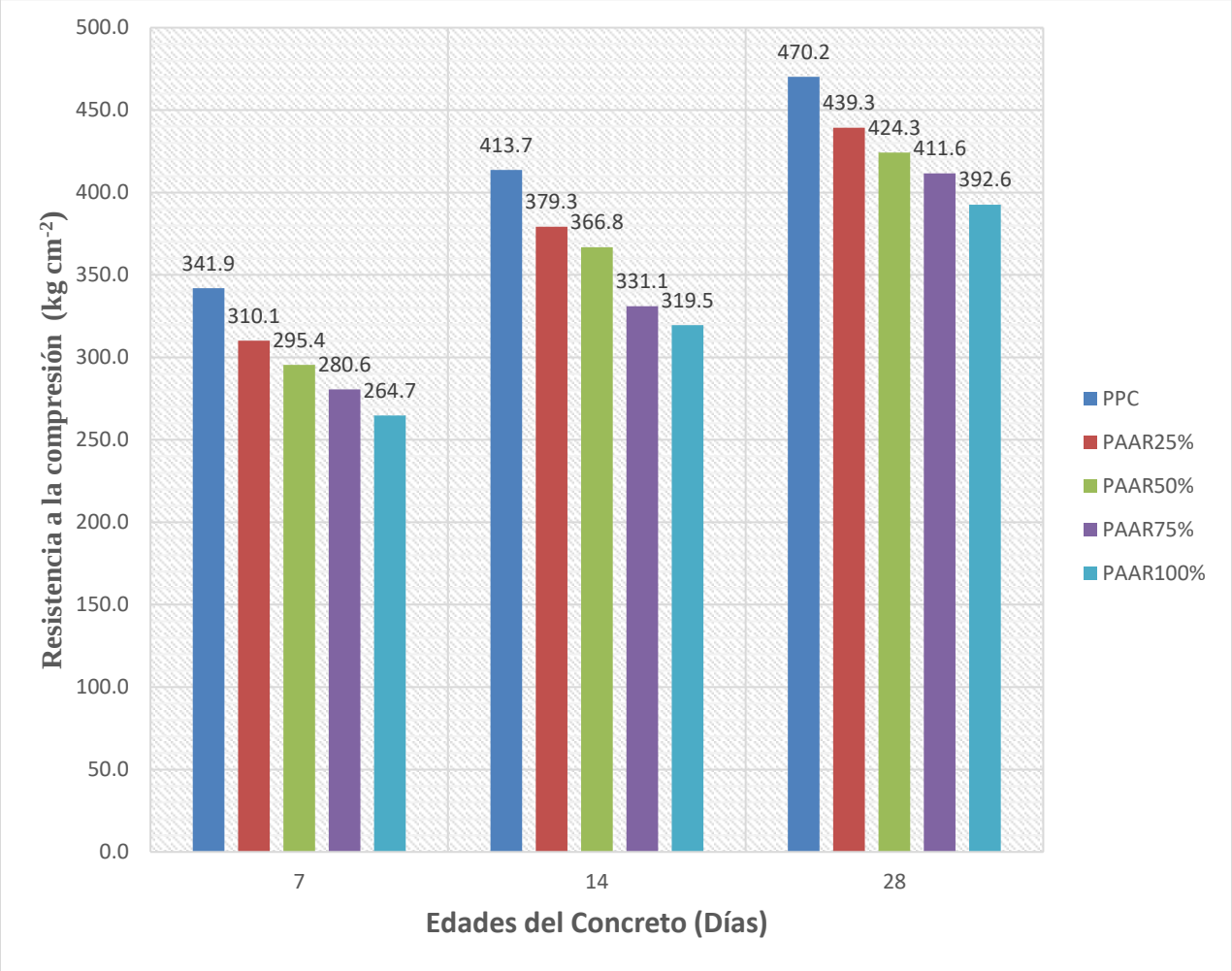
PAAR50% Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR

PAAR75% Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR

PAAR100% Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

Figura 19

Resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto



Nota:

PPC	Probetas Patrón de Concreto (280 kg cm^{-2})
PAAR25%	Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR
PAAR50%	Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR
PAAR75%	Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR
PAAR100%	Probetas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

Con respecto a la hipótesis planteada: La resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de residuos generados por demolición de pavimentos rígidos asciende a 280 kg cm^{-2} y 40 kg cm^{-2} respectivamente, efectivamente según la Tabla 21, Figura 18 y 19 a los 28

días la resistencia a la compresión fue de 392.64 kg cm^{-2} de los especímenes de concreto al reemplazar el 100% supera estos valores por lo que se podría utilizar como mezcla de concreto para pavimentos rígidos esto de acorde al Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC). Comunicaciones (R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014).

Si bien es cierto la resistencia a la compresión del concreto al sustituir el 100% de agregado natural por agregado grueso disminuye en un 16.50% con respecto a la muestra patrón, estas disminuciones estarían dentro del rango de diseño de mezcla obtenido por metodología ACI y se deben a que el peso unitario compactado del agregado reciclado(1,383.33 kg m^{-3}) es menor que el del agregado natural (1,577.41 kg m^{-3}) y el desgaste a la abrasión del agregado reciclado (31.78%) es mayor que el del agregado natural (29.78%); estos resultados demuestran que el agregado natural tiene una resistencia mayor que el agregado reciclado el cual influye directamente en la resistencia a la compresión del concreto.

La reducción del 16.50% en la resistencia a la compresión observada en el concreto elaborado con agregado grueso reciclado, en comparación con el concreto con agregado natural, es consistente con los resultados reportados por Huang et al. (2024) quienes documentaron una disminución del 14.90% al sustituir el 100% del agregado grueso natural por reciclado. Asimismo, esta disminución se encuentra dentro del rango estimado por Contreras et al. (2024) quienes señalan que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado puede ser entre un 10% y un 30% inferior respecto a la obtenida con agregados naturales.

4.4.2. *Resistencia a la flexión de los especímenes rectangulares de concreto*

Tabla 22

Resistencia a la flexión de los especímenes rectangulares de concreto

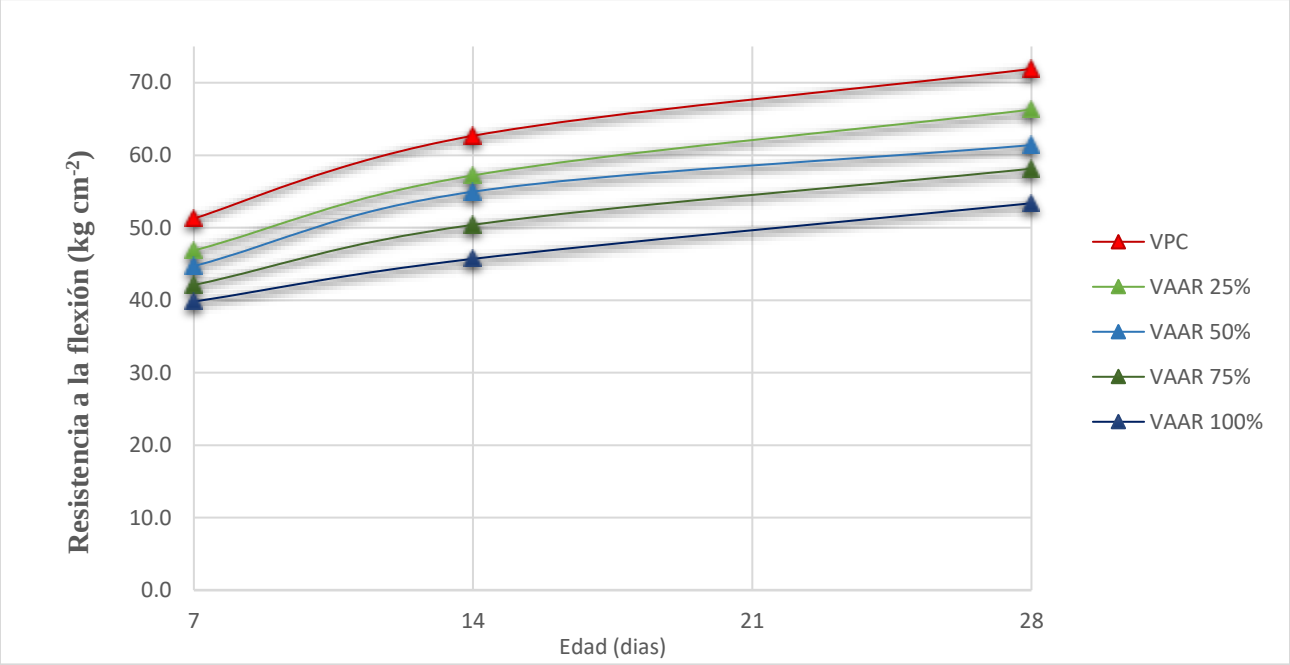
Vigas Rectangulares	Edad (días)	Resistencia a la flexión en (kg cm^{-2})			Promedio resistencia a la flexión en (kg cm^{-2})
		Esp. 01	Esp. 02	Esp. 03	
VPC	7	51.120	51.51	51.19	51.3
	14	62.09	63.23	62.71	62.7
	28	72.79	71.14	71.78	71.9
VAAR 25%	7	46.43	47.23	46.88	46.8
	14	56.64	57.78	57.22	57.2
	28	66.27	67.19	65.42	66.29
VAAR 50%	7	44.15	45.05	44.88	44.7
	14	54.31	55.6	54.98	55.0
	28	60.80	61.09	62.29	61.4
VAAR 75%	7	41.54	42.52	42.2	42.1
	14	49.95	51.12	50.12	50.4
	28	58.03	57.53	58.84	58.1
VAAR 100%	7	39.46	40.12	39.83	39.8
	14	44.89	46.22	45.99	45.7
	28	53.35	52.75	54.01	53.4

Nota:

Esp.	Espécimen de concreto
VPC	Vigas Patrón de Concreto de (280 kg cm^{-2})
VAAR25%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR
VAAR50%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR
VAAR75%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR
VAAR100%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

Figura 20

Resistencia a la flexión de los especímenes cilíndricos de concreto



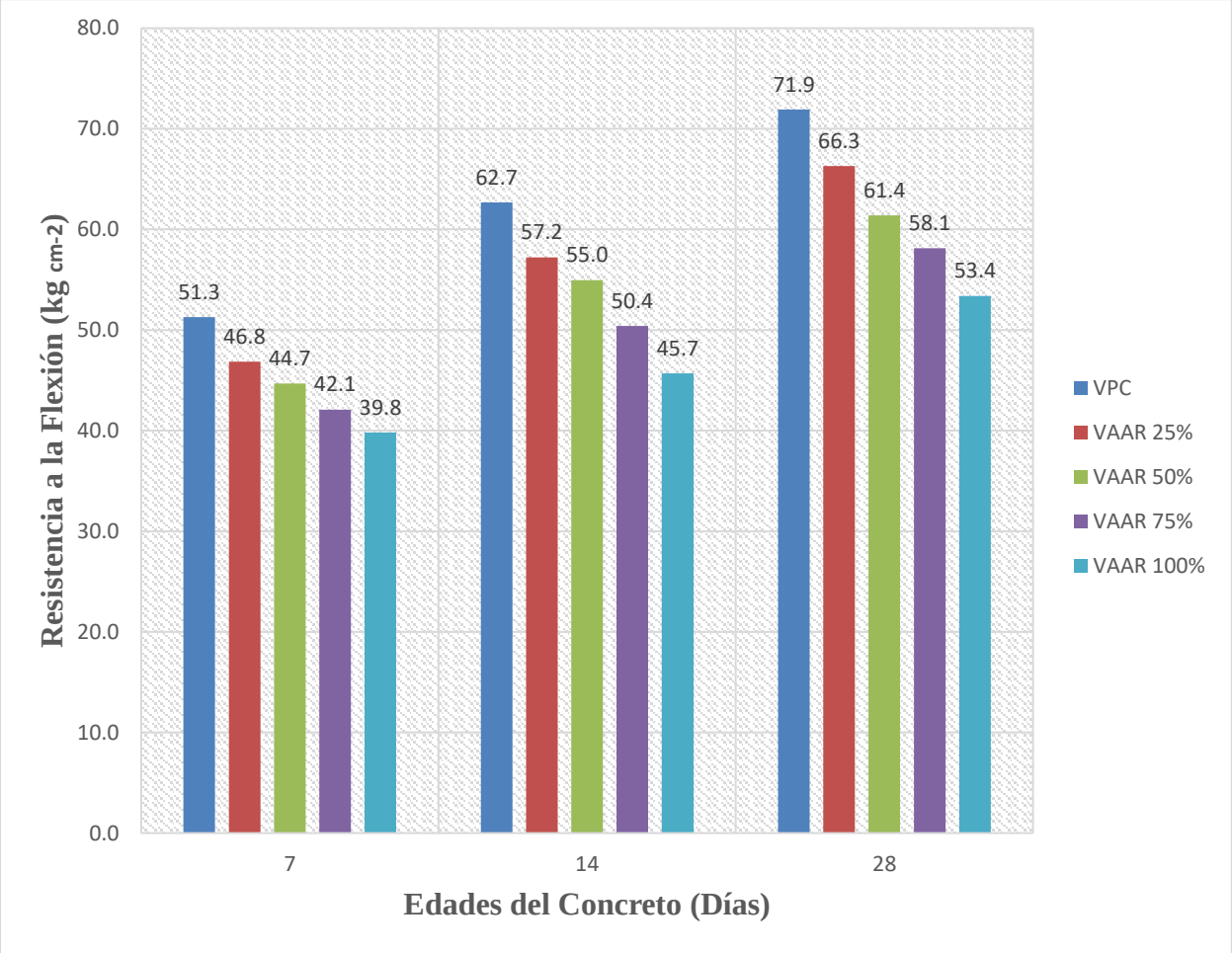
Nota:

VPC	Vigas Patrón de Concreto (280 kg cm^{-2})
VAAR25%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR
VAAR50%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR
VAAR75%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR
VAAR100%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

La desviación estándar de los resultados de la resistencia a la flexión de los especímenes de concreto fue de 9.26 kg cm^{-2} lo que indica que está dentro del rango considerado para metodología ACI ($f'cr = f'c + 84$ kg cm^{-2}) para resistencias de concreto dentro del rango de 210 kg cm^{-2} a 350 kg cm^{-2}.

Figura 21

Resistencia a la flexión de los especímenes cilíndricos de concreto



Nota:

VPC	Vigas Patrón de Concreto (280 kg cm^{-2})
VAAR25%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 25% de AR
VAAR50%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 50% de AR
VAAR75%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 75% de AR
VAAR100%	Vigas Adicionando Agregado Reciclado de Concreto (280 kg cm^{-2}) con 100% de AR

Con respecto a la hipótesis planteada: La resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado proveniente de residuos generados por demolición de pavimentos rígidos asciende a 280 kg cm^{-2} y 40 kg cm^{-2} respectivamente, efectivamente como se evidencia en la Tabla 22, Figura 20 y 21 a los 28 días la resistencia a la flexión fue de 53.4 kg cm^{-2} de los especímenes de concreto al

reemplazar el 100% supera estos valores por lo que se podría utilizar como mezcla de concreto para pavimentos rígidos esto de acorde al Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC) Comunicaciones (R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014).

Si bien es cierto la resistencia a la flexión del concreto al sustituir el 100% de agregado natural por agregado grueso disminuye en un 25.73% con respecto a la muestra patrón estas disminuciones estarían dentro del rango de diseño de mezcla obtenido por metodología ACI y se debe a que el peso unitario compactado del agregado reciclado (1,383.33 kg m^{-3}) es menor que el del agregado natural (1,577.41 kg m^{-3}) y el desgaste a la abrasión del agregado reciclado 31.78% es mayor que el del agregado natural (29.78%); estos resultados demuestran que el agregado natural tiene una resistencia mayor que el agregado reciclado el cual influye directamente en la resistencia a la flexión del concreto.

La resistencia a la flexión del concreto elaborado con agregado grueso reciclado mostró una disminución del 25.73% en comparación con el concreto convencional con agregado natural. Este resultado es consistente con lo reportado por Huang et al. (2024) quienes registraron una reducción del 12.74% al reemplazar el 100% del agregado grueso natural por reciclado. En este contexto, se da respuesta a la pregunta de investigación formulada: ¿Cuál es la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos? Los resultados experimentales obtenidos permiten caracterizar el comportamiento mecánico del concreto reciclado, lo cual resulta fundamental para evaluar su viabilidad técnica en aplicaciones estructurales, específicamente en pavimentos rígidos.

4.5 Dosificación óptima de diseño de mezcla de concreto reciclado.

Tabla 23

Cantidad de materiales de diseño de mezcla de concreto reciclado

Cantidad de materiales	Por peso seco kg m^{-3}	Por peso húmedo kg m^{-3}	Proporción en peso bolsa de cemento	Proporción en peso P^3 (húmedo)	Proporción en volumen P^3 (húmedo)
Cemento	466	466	1	1.00	1.00
Agregado fino	756	818	1.75	1.93	2.07
Agregado grueso reciclado	877	899	1.93	15.34	15.34
Agua de mezcla	216	168	15.34	1.75	1.60

De acuerdo con la Tabla 23, se visualiza que la dosificación óptima de diseño es la que sustituye el 100% de agregado natural por reciclado el cual fue de 1/1.75/1.93/15.34 lt bolsa^{-1}, la cual tiene una relación agua/cemento = 0.46, que al compararlo con la relación de agua/cemento = 0.48, obtenida por Huang et al. (2024) se puede observar la similitud de los valores de la relación de agua cemento. El asentamiento registrado para la mezcla de concreto con agregado reciclado, en la cual se sustituyó el 100% del agregado grueso natural, fue de 3.25”, valor que corresponde a una mezcla de consistencia plástica. Cabe destacar que los valores de asentamiento no presentaron variaciones significativas, lo cual se atribuye a que tanto el agregado natural como el reciclado se encontraban en condición seco al aire durante la dosificación. Este resultado contrasta con lo informado por Huang et al. (2024) quienes reportaron una reducción en el asentamiento al utilizar agregado grueso reciclado, posiblemente atribuible a diferencias en las condiciones de humedad o a la mayor capacidad de absorción de agua del material reciclado.

4.6 Porcentaje de residuos reutilizables en concreto reciclado

El porcentaje de residuos de pavimento reciclado reutilizable recomendable es del 100%. debido a que genera resistencia a la compresión y flexión de acorde a los valores mínimos del Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones (MTC) mostrado en la tabla 1. Este valor se ha calculado de acorde al objetivo específico de determinar el porcentaje de residuos reutilizables en concreto reciclado generados por la demolición de pavimentos rígidos de la ciudad de Cajamarca y responde a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el porcentaje de concreto reciclado proveniente de pavimento rígido que se puede utilizar como agregado reciclado en una nueva mezcla de concreto?

Asimismo, es importante destacar que el reemplazo del 100% del agregado grueso natural por agregado reciclado no presenta antecedentes directos en investigaciones previas, las cuales recomiendan, en su mayoría, un porcentaje máximo de sustitución del 50%. Esto se encuentra respaldado por el estudio de Chiranjeevi et al. (2024) quienes sugieren limitar el contenido de agregado reciclado para garantizar el desempeño mecánico adecuado del concreto.

Finalmente, se concluye que el porcentaje óptimo de reemplazo es del 100%, ya que la reutilización total de los residuos de demolición de concreto permite maximizar el aprovechamiento de estos materiales, minimizando la generación de desechos y reduciendo el impacto ambiental asociado a su disposición. Esta alternativa contribuye de manera efectiva a la solución del problema de investigación, al promover una gestión más sostenible de los residuos de construcción y demolición.

4.7 Resultados por prueba de normalidad de hipótesis de Shapiro-Wilk

4.7.1. *Prueba de normalidad de datos:*

Tabla 24

Resultados de la prueba de normalidad en la variable de las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días.

Ensayos de propiedades mecánicas del concreto	Prueba de normalidad Shapiro-Wilk Coeficientes Tc	Tt	n	P-Valor
Resistencia a la compresión	0.050	0.881	15	0.897
Resistencia a la flexión	0.135	0.859	15	0.897

Nota:

Hipótesis: Hipótesis nula (H0): El valor obtenido en el ensayo de compresión del concreto para un (n = 15) no es una distribución normal.

Hipótesis alterna (H1): El valor obtenido en el ensayo de compresión del concreto para un (n = 15) es una distribución normal.

En la Tabla 24 se puede apreciar que los valores de "p-valor" son mayores que "α" y Tt > Tc para ambos casos; resistencia a la compresión y flexión del concreto a una edad de 28 días, entonces se rechaza la **H0** y se acepta la Hipótesis Alternativa **H1** por lo que **es una distribución normal.**

4.7.2. *Prueba de Hipótesis T Student:*

Una vez confirmada la normalidad en los datos obtenidos, se procede con la *prueba de hipótesis* mediante la prueba paramétrica T de Student, bajo el supuesto de varianzas iguales. Esta prueba permitirá verificar si existe o no similitud entre las medias. Para ello, se debe considerar la siguiente expresión lógica:

si **α≥P-Valor**, la **H0** se rechaza la hipótesis nula (H_0).

si **α<P-Valor,** la **H0** no se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Se consideró un nivel alfa (α) de: 0.05 destinados a trabajos de investigación.

4.7.2.1. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 25% de agregado reciclado a edad de 28 días

Tabla 25

Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 25% de agregado natural

Prueba T-Studen (muestras emparejadas)					
Grupo de Prueba	**Nomenclatura**	**N**	**Media**	**Desviación Estándar**	**P-Valor**
Resistencia a la Compresión	PPC	3	470.18	3.44	0.0031
	PARA 25%	3	439.34	0.85	
Resistencia a la Flexión	VPC	3	61.95	10.34	0.0026
	VAAR 25%	3	56.78	9.73	

Nota:

H0: La sustitución al 25% de agregado reciclado por agregado natural grueso aumenta la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

H1: La sustitución al 25% de agregado reciclado por agregado natural grueso disminuye la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

De acuerdo con la Tabla 25 se visualiza que el valor de alfa es mayor que el p-valor ($\alpha \geq$P-Valor), esto quiere decir que se ha encontrado una diferencia significativa entre los valores promedios de resistencia a la compresión y flexión en probetas del grupo que no utilizó y el grupo que utilizó un 25% de agregado reciclado en sustitución de agregado natural, por lo que se rechaza la Hipótesis Nula (H0) y se acepta la Hipótesis alternativa (H1).

4.7.2.2. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 50% de agregado reciclado a edad de 28 días

Tabla 26

Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 50% de agregado natural

Prueba T-Studen (muestras emparejadas)					
Grupo de Prueba	**Nomenclatura**	**N**	**Media**	**Desviación Estándar**	**P-Valor**
Resistencia a la Compresión	PPC	3	470.18	3.44	0.0014
	PARA 50%	3	424.29	1.24	
Resistencia a la Flexión	VPC	3	61.95	10.34	0.0097
	VAAR 50%	3	53.68	8.42	

Nota:

H0: La sustitución al 50% de agregado reciclado por agregado natural grueso aumenta la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

H1: La sustitución al 50% de agregado reciclado por agregado natural grueso disminuye la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón.

Según lo mostrado en la Tabla 26, el nivel de significancia (α) es superior al p-valor (α ≥ P-valor), lo que indica la existencia de una diferencia significativa entre los valores promedio de resistencia a la compresión y a la flexión de las probetas que no incorporaron agregado reciclado y aquellas que utilizaron un 50% en sustitución del agregado natural. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

4.7.2.3. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 75% de agregado reciclado a edad de 28 días

Tabla 27

Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 75% de agregado natural

Prueba T-Studen (muestras emparejadas)					
Grupo de Prueba	**Nomenclatura**	**N**	**Media**	**Desviación Estándar**	**P-Valor**
Resistencia a la Compresión	PPC	3	470.18	3.44	0.0007
	PARA 75%	3	411.64	0.68	
Resistencia a la Flexión	VPC	3	61.95	10.34	0.0065
	VAAR 75%	3	50.21	8.03	

Nota:

H0: La sustitución al 75% de agregado reciclado por agregado natural grueso aumenta la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

H1: La sustitución al 75% de agregado reciclado por agregado natural grueso disminuye la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

En la Tabla 27 se observa que el valor de significancia (α) supera al p-valor (α ≥ p-valor), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de resistencia a la compresión y a la flexión de las probetas sin agregado reciclado y aquellas con un 75% de sustitución de agregado natural. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

4.7.2.4. Prueba de Hipótesis de T Student para resistencia a la compresión y flexión de especímenes de concreto con sustitución del 100% de agregado reciclado a edad de 28 días.

Tabla 28

Resultados de la prueba de T Student en las propiedades mecánicas del concreto a edad de muestra de 28 días con sustitución del 100% de agregado natural

Prueba T-Studen (muestras emparejadas)					
Grupo de Prueba	**Nomenclatura**	**N**	**Media**	**Desviación Estándar**	**P-Valor**
Resistencia a la Compresión	PPC	3	470.18	3.44	0.0002
	PARA 100%	3	392.64	0.94	
Resistencia a la Flexión	VPC	3	61.95	10.34	0.0091
	VAAR 100%	3	46.29	6.80	

Nota:

H0: La sustitución al 100% de agregado reciclado por agregado natural grueso aumenta la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

H1: La sustitución al 100% de agregado reciclado por agregado natural grueso disminuye la resistencia a compresión y flexión a los 28 días de edad de muestra patrón,

La Tabla 28 muestra que el valor de alfa es superior al p-valor ($\alpha \geq$ p-valor), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los promedios de resistencia a la compresión y a la flexión de las probetas que no utilizaron agregado reciclado y aquellas que emplearon un 100% de sustitución del agregado natural. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

CONCLUSIONES

El agregado reciclado presenta un mayor desgaste a la abrasión (31.78%) que el desgaste a la abrasión del agregado grueso natural (29.75%) y que el peso unitario suelto y compactado del agregado reciclado (1,383.33 kg m^{-3} y 1,264.82 kg m^{-3} respectivamente) son menores que el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado (1,577.41 kg m^{-3} y 1,394.07 kg m^{-3} respectivamente) lo que produce la disminución de las propiedades mecánicas del concreto reciclado frente a un concreto convencional con agregado grueso natural.

Se determinó que la dosificación óptima de diseño es 1/1.75/1.93/15.34 lt bolsa $^{-1}$, con una relación agua/cemento de 0.46, obtenida mediante la metodología ACI.

Se evidenció que la sustitución total (100 %) del agregado grueso natural por agregado reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos es técnicamente viable.

La resistencia a la compresión y flexión del concreto al sustituir el 100% de agregado reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos por agregado natural a los 28 días de edad fue de 392.64 kg cm^{-2} y 53.4 kg cm^{-2} respectivamente, lo que puede ser utilizado para vías de alto tránsito de vehículos pesados de más 15’000,000 Ejes Equivalentes según lo establecido en el Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (R. D. N° 10-2014-MTC/14, 2014).

La resistencia a la compresión y flexión del concreto reciclado disminuye al sustituir en 25%, 50%, 75% y 100% el agregado natural por agregado reciclado proveniente de la demolición de pavimentos rígidos, en comparación con la muestra patrón sin sustitución, sigue cumpliendo con los valores mínimos de resistencia a la compresión y flexión que establece el Manual de Carreteras, suelos, geología y geotecnia y pavimentos del Ministerio de Transportes y comunicaciones: 280 kg cm^{-2} y 40 kg cm^{-2} respectivamente , para ser utilizado como concreto para

pavimento rígido lo que el estado peruano promueve en el Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición aprobado con Decreto Supremo Nº 002-2022-vivienda.

En el ensayo de asentamiento, se registró un revenimiento de 3.25” en la mezcla de concreto reciclado al sustituir el 100 % del agregado natural por agregado reciclado, lo que indica una mezcla de consistencia plástica y, por tanto, trabajable.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar los resultados de la presente investigación respetando la dosificación óptima establecida, así como las propiedades físicas y mecánicas tanto de los agregados naturales como reciclados, con el fin de replicar los resultados obtenidos.

Se sugiere ampliar esta línea de investigación hacia otros tipos de residuos provenientes de la demolición de estructuras distintas a las viales, asegurando que dichos residuos provengan de elementos estructurales y estén libres de cualquier tipo de contaminante, con el fin de evaluar su viabilidad como agregados reciclados.

Finalmente, se recomienda la implementación de una política de gestión ambiental que fomente el uso de agregados reciclados en la construcción, en concordancia con el Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos Sólidos de la Construcción y Demolición, aprobado mediante Decreto Supremo N.º 002-2022-VIVIENDA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, F. (s.f.). Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas). Lima: San Marcos.

Ahmad, Siddarth, Ravindra, Bhavik, Yogesh. (2020). Reuse of Improved Recycled Concrete Aggregates (RCA) for Sustainable and Environmental-Friendly Rigid Pavements. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/90b5/ea82f1fa4c0727492193c5143a1cf78b4746.pdf

Asociación de desarrolladores estadísticos (2020). Informe estadístico Mercado Inmobiliario. http://adiperu.pe/wp-content/uploads/Bolet%C3%ADn-Estad%C3%ADstico-Mensual-VF.pdf

ASTM International. (2021). ASTM C39/C39M-21: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. https://doi.org/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/108483/0318d1c8cafb4b4cac903d64727feb4d/ASTM-C39-C39M-21.pdf

ASTM International. (2021). ASTM C78/C78M-21: Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading). https://doi.org/https://cdn.standards.iteh.ai/samples/108496/36eba94501d040cbb90a9d195143cfe8/ASTM-C78-C78M-21.pdf

Banco de Desarrollo de América latina. (2013). GUIA "Diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C". Bogotá D.C.

Candela y Rengifo. Influencia de la calidad de concreto reciclado, en la resistencia de un pavimento rígido, Jr. Sargento Lores, distrito Morales – San Martín – 2017. (Tesis de Posgrado), Universidad Cesar Vallejo. Tarapoto – Perú. 2017.

Centurión, M. (2022). Determinación de la resistencia del concreto f'c = 210 kg cm^{-2} elaborado con agregados reciclados de vías, en la ciudad de Cajamarca, 2021. Universidad Nacional de Cajamarca.

Chiranjeevi, K., Chiranjeevi, R. G., Y., Hemanth, D., Mulangi, R., Ravi, A. (2024). Utilization of recycled concrete aggregates for pavement base courses – A detailed laboratory study. Construction and Building Materials.1-3. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134122

Contreras Quezada, K. B. & Herrera Lázaro, V. A. (2015). Mejoramiento del agregado obtenido de escombros de la construcción para bases y sub-bases de estructura de pavimento en Nuevo Chimbote – Santa—Ancash. *Universidad Nacional del Santa*. http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2708

Contreras, L. F., Amaguaya, D. M., Valla, G. P., & Peñaherrera, C. N. (2024). Comparative Analysis of Compression Strength between Traditional Concrete and Concrete Prepared with Concrete Debris. Universidad Técnica de Ambato - UTA. https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-8896-8264

Coy González, J. J. (2019). *Tecnologías alternativas para pavimentos sostenibles en Colombia*. http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32070 de Bortoli, A. (2023). Understanding the environmental impacts of virgin aggregates: Critical literature review and primary comprehensive Life Cycle Assessments. Journal of Cleaner Production, Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137629

Fernández, S. (2021). Aplicación de concreto reciclado en el diseño y elaboración de pavimentos articulados para el uso de tránsito peatonal.

https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/9317/fernandez_sj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gutiérrez M., Ortiz Z. (2020). *Comportamiento mecánico del concreto f'c=210 kg cm^{-2} según el método de agregados globales reemplazando los agregados finos y gruesos al 100% con concreto reciclado para pavimentos rígidos de bajo tránsito. Oquendo—Callao 2020* Universidad Privada del Norte. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25069/Guti%c3%a9rrez%20Mendoza.

Guzmán, D.; Hernández, J.; López, T.; Horta, J.; Giraldo, D. (2020). Uso de agregado de pavimento asfáltico reciclado para un pavimento rígido. Recuperado de: https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.1.005

Hernández, E. F., & Manzanarez, J. (2025). Compressive strength of concrete: A review - Nicaragua case. Tecnología en Marcha, 38(1), 88.

Huang, Y, Zhang, Y, Ma, T, Xiang, X, Chen, W, Ren, X, Wu, J. (2024). Study on the mechanical properties and deterioration mechanism of recycled aggregate concrete for low-grade highway pavements. Construction and Building Materials.1-10. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134122

Jiménez, D. A., & Soto, D. N. (2025). Optimización del concreto mediante el uso de agregados reciclados de residuos de demolición y construcción En Piura, 2024. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.10730

Krivenko, P., Petropavlovskyi, O., Kovalchuk, O., & Gelevera, O. (2020). Compressive Strength of Concrete. INTECHOPEN LIMITED. https://doi.org/11086078, 7th floor, 10 Lower Thames Street, London. ISBN 978-1-78985-568-5

Lynch, H. (2022). DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS Flexibles y Rígidos: Nuevos y de refuerzo (Vías urbanas, Estacionamientos, Carreteras y Aeropuertos). Academia Nacional de la ingeniería y el Hábitat. https://doi.org/ISBN: 978-980-7106-10-8

Martínez, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C., . . . & González-Valdez, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. ALCONPAT, 5(3), 235-248. https://doi.org/https://www.mda.cinvestav.mx/revista_alconpat

Mendoza, J., & Diaz, J. (2023). Circular economy in the Latin American cement and concrete industry: a sustainable solution of design, durability, materials, and processes. ALCONPAT, 13, 21. https://doi.org/https://doi.org/10.2104/ra.vl3i3.697

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2022). *Decreto Supremo Nº 002-2022-VIVIENDA: Aprueba el Reglamento de Gestión y Manejo de Residuos de Construcción y Demolición*. Diario Oficial El Peruano. https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/3310632-002-2022-vivienda.

Morales, R. (2020). Diseño en Concreto Armado. Fondo editorial Instituto de la Construción y Gerencia.

Muñoz, S., Calderón, A., Caruajulca-Gonzáles, A. J., & Huaman, O. R. (2022). Physical and Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate: A Literary Review. Respuestas, 27(1), 38-56. https://doi.org/https://doi.org/10.22463/0122820X.3081

National Ready Mixeed Concrete Association. (2020). CIP 16-Resistencia a flexión del concreto. Obtenido de https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP16es.pdf

Perez, N., Garnica, P., & Rivera, A. (2018). Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de un agregado de concreto reciclado. Instituto Mexicano del Transporte. https://doi.org/ISSN 0188-7297

Resolución Directorial N° 10-2014-MTC/14. Que aprueba el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y pavimentos (2014). Diario Oficial El Peruano https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf.

Rivva L, E. (2020). Control del Concreto en Obra. Lima: ICG.

Rondón, H. A., & Reyes, F. A. (2022). Pavimentos - Materiales, construcción y diseño. Ecoe Ediciones S.A.S. https://doi.org/Segunda edición - ISBN: 978-958-503-114-2

Sánchez J. (2024). Concreto con agregados reciclados para la sostenibilidad de proyectos de edificación en el departamento de Cajamarca.

Tarazona, K. (2018). Aprovechamiento del concreto reciclado proveniente de los residuos de demolición de pavimento rígido en la producción de concreto nuevo en la ciudad de Huánuco -2018. Recuperado de: https://repositorio.unheval.edu.pe/handle/20.500.13080/4561

ANEXOS

ANEXO 01: Panel fotográfico

Figura 22

Recolección del agregado reciclado

Nota: Lugar Jr. Leoncio Prado N° 570

Figura 23

Triturado de agregado reciclado

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 24

Tamizado de agregado reciclado

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 25

Moldeado de probetas de concreto

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 26

Ensayo de asentamiento de concreto

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 27

Medición de slump de concreto

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 28

Ensayos de compresión de muestras de concreto de edad de 7días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 29

Ensayo de compresión de muestra de concreto de edad de 14 días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 30

Ensayos de compresión de muestra de concreto de edad de 28 días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 31

Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 7 días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 32

Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 14 días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

Figura 33

Ensayo de flexión axial de muestras de concreto 28 días

Nota: Lugar Universidad Privada del Norte.

ANEXO 02: Propiedades físicas y mecánicas del agregado fino, grueso y reciclado

Propiedades físicas del agregado fino.

Tabla 29

Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado fino

N°	Tamiz (in)	Tamiz (mm)	Peso retenido (gr)	% retenido (%)	% retenido acumulado (%)	% pasante acumulado (%)	Husos Granulométrico L.S.	Husos Granulométrico L.I
1	3/8"	9.51	0	0	0	100.00	100	100
2	N° 4	4.75	13.2	1.32	1.32	98.68	95	100
3	N° 8	2.36	119.8	11.98	13.3	86.70	80	100
4	N° 16	1.18	143.2	14.32	27.62	72.38	50	85
5	N° 30	0.6	199.2	19.92	47.54	52.46	25	60
6	N° 50	0.3	296.9	29.69	77.23	22.77	10	30
7	N° 100	0.15	156.3	15.63	92.86	7.14	2	10
8	N° 200	0.08	53.6	5.36	98.22	1.78	0	3
9	Bandeja	-	17.8	1.78	100	0.00		
PESO TOTAL			**1,000**					

Nota:
Esp.: Espécimen

Tabla 30

Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado fino

Absorción de agregados finos						
ID	**Descripción**	**Unid.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso al aire de la muestra desecada.	gr	491.5	492.6	489.9	N. A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr	704.67	704.6	704.7	N. A
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	1,010.50	1,007.50	1,009.80	N. A
S	Peso de la Muestra Saturada Superficie Seca	gr	500	500	500	N. A
E	Peso específico aparente (Seco)	gr cm^{-3}	2.53	2.5	2.51	2.51
F	Peso específico aparente (SSS)	gr cm^{-3}	2.58	2.54	2.57	2.56
G	Peso específico nominal (Seco)	gr cm^{-3}	2.65	2.6	2.65	2.63
H	Absorción	(%)	1.73	1.5	2.06	**1.76**

Tabla 31

Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado fino

Contenido de humedad					
ID	**Descripción**	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**
A	Codificación del recipiente o Tara	-	A	B	C
B	Peso del Recipiente	gr	36.4	38.1	35.7
C	Recipiente + Material Natural	gr	548.8	558.4	552.9
D	Recipiente + Material Seco	gr	510.2	518.4	514.4
E	Peso del material húmedo	gr	512.4	520.3	517.2
F	Peso del material Seco	gr	473.8	480.3	478.7
W%	Porcentaje de humedad	%	8.15	8.33	8.04
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		**8.17**	

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 32

Procedimiento de cálculo peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Peso unitario del agregado fino						
Agregado fino						**Volumen molde 0.009 m^3**
Id	**Descripción**	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso del Molde + AF Compactado	Kg	20.28	20.4	20.42	20.37
B	Peso del molde	Kg	4.78	4.76	4.76	4.77
C	Peso del AF Compactado	Kg	15.5	15.64	15.66	15.6
D	**Peso unitario compactado**	kg m^{-3}	1,722.22	1,737.78	1,740	**1,733.33**
E	Peso del Molde + AF Suelto	Kg	19.68	19.58	19.4	19.55
F	Peso del AF Suelto,	Kg	14.9	14.82	14.64	14.78
G	**Peso unitario suelto**	kg m^{-3}	1,655.56	1,646.67	1,626.67	**1,642.22**

Nota:

Esp.: Espécimen

Propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso

Tabla 33

Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso

N°	Tamiz		Peso retenido	% retenido	% retenido acumulado	% pasante acumulado	Husos granulométrico N° 57	
	(in)	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	L.S.	L.I
1	1”	25.00	0	0	0	100.00	100	100
2	3/4”	19.00	0	0	0	100.00	90	100
3	1/2”	12.50	3944.85	78.897	78.897	21.10	20	55
4	3/8”	9.50	666.16	13.323	92.22	7.78	0	15
5	N° 4	4.75	306.8	6.136	98.356	1.64	0	5
6	Bandeja	-	82.19	1.644	100	0.00	-	-
PESO TOTAL			**5000**					

Tabla 34

Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado grueso

Absorción de agregados gruesos						
Id	**Descripción**	**Unid.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso al aire de la muestra desecada.	gr.	1,960.50	1,946.10	1,268.90	N. A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr.	2,002.50	2,003.50	1,303.40	N. A
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr.	1,218.90	1,222.70	798.50	N. A
D	Peso específico aparente (Seco)	gr cm^{-3}	2.5	2.49	2.51	2.5
E	Peso específico aparente (SSS)	gr cm^{-3}	2.56	2.57	2.58	2.57
F	Peso específico nominal (Seco)	gr cm^{-3}	2.64	2.69	2.7	2.68
G	Absorción	(%)	2.14	2.95	2.72	2.6

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 35

Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado grueso

Contenido de humedad					
ID	**Descripción**	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**
A	Codificación del recipiente o Tara	-	A	B	C
B	Peso del Recipiente	gr	75.4	76.8	93.4
C	Recipiente + Material Natural	gr	583.5	584.1	634.6
D	Recipiente + Material Seco	gr	572.8	570.2	621.1
E	Peso del material húmedo	gr	508.1	507.3	541.2
F	Peso del material Seco	gr	497.4	493.4	527.7
W%	Porcentaje de humedad	%	2.15	2.82	2.56
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		2.51	

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 36

Procedimiento de cálculo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Peso unitario del agregado grueso						
Agregado grueso						**Volumen molde 0.009m^3**
Id	**Descripción**	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso del Molde + AF Compactado	kg	18.96	18.99	18.98	18.98
B	Peso del molde	kg	4.78	4.78	4.78	4.78
C	Peso del AF Compactado	kg	14.18	14.21	14.2	14.2
D	**Peso unitario compactado**	kg m^{-3}	1,575.56	1,578.89	1,577.78	**1,577.41**
E	Peso del Molde + AF Suelto	kg	17.31	17.35	17.32	17.33
F	Peso del AF Suelto	kg	12.53	12.57	12.54	12.55
G	**Peso unitario suelto,**	kg m^{-3}	1,392.22	1,396.67	1393.33	**1,394.07**

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 37

Procedimiento de cálculo de desgaste a la abrasión del agregado grueso

Desgaste a la abrasión						
ID	**Descripción**	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	
A	Peso muestra total	gr	5,016.00	5,008.00	5,014.00	**PROMEDIO**
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3,581.00	3,475.00	3,508.00	
D	**Desgaste a la abrasión los Ángeles**	%	28.61	30.61	30.04	**29.75**

Nota:

Esp.: Espécimen

Propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado

Tabla 38

Procedimiento de cálculo de análisis granulométrico del agregado grueso reciclado (Gradación B)

N°	**Tamiz**		**Peso retenido**	**% retenido**	**% retenido acumulado**	**% pasante acumulado (%)**
	(in)	**(mm)**	**(gr)**	**(%)**	**(%)**	
1	3"	75	0	0	0	100.00
2	1 1/2"	38.1	0	0	0	100.00
3	3/4"	19	420.4	10.51	10.51	89.49
4	1/2"	12.7	491.07	12.277	22.787	77.21
5	3/8"	9.5	416.7	10.418	33.205	66.80
6	N° 4	4.76	810.2	20.255	53.46	46.54
7	N° 8	2.36	374.2	9.355	62.815	37.19
8	N° 16	1.1	293.04	7.326	70.141	29.86
9	N° 30	0.59	282.34	7.059	77.2	22.80
10	N° 50	0.297	320.26	8.007	85.207	14.79
11	N° 100	0.149	249.71	6.243	91.45	8.55
12	N° 200	0.075	203.68	5.092	96.542	3.46
13	Bandeja	-	138.4	3.46	100.00	0.00
	PESO TOTAL		**4,000**	**100.00**		

Tabla 39

Procedimiento de cálculo de porcentaje de absorción del agregado grueso reciclado

Absorción de agregado grueso reciclado						
ID	**Descripción**	**Und.**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso al aire de la muestra desecada.	gr	1,951.50	1,944.20	1,264.30	N.A
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua.	gr	2,000.10	2,001.20	1,301.20	N.A
C	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr	1,211.90	1,218.70	785.5	N.A
D	Peso específico aparente (Seco)	gr cm^{-3}	2.48	2.48	2.45	2.47
E	Peso específico aparente (SSS)	gr cm^{-3}	2.54	2.56	2.52	2.54
F	Peso específico nominal (Seco)	gr cm^{-3}	2.64	2.68	2.64	2.65
G	Absorción	(%)	2.49	2.93	2.92	2.78

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 40

Procedimiento de cálculo de contenido de humedad del agregado grueso reciclado

Contenido de humedad					
Id	**Descripción**	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**
A	Identificación del recipiente o Tara	-	A	B	C
B	Peso del Recipiente	gr	75.5	76.4	92.9
C	Recipiente + Material Natural	gr	579.5	579.21	629.6
D	Recipiente + Material Seco	gr	572.8	570.2	621.1
E	Peso del material húmedo	gr	504	502.81	536.7
F	Peso del material Seco	gr	497.3	493.8	528.2
W%	Porcentaje de humedad	%	1.35	1.82	1.61
G	Promedio Porcentaje Humedad	%		**1.59**	

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 41

Procedimiento de cálculo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso reciclado

Peso unitario del agregado fino, grueso y grueso reciclado						
	Agregado reciclado					**Volumen molde 0.009 m³**
Id	**Descripción**	**Und**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	**Resultado**
A	Peso del Molde + AG Compactado	Kg	17.56	17.15	16.98	17.23
B	Peso del molde	Kg	4.78	4.78	4.78	4.78
C	Peso del AG Compactado	Kg	12.78	12.37	12.2	12.45
D	**Peso unitario compactado**	kg m^{-3}	1,420.00	1,374.44	1,355.56	**1,383.33**
E	Peso del Molde + AG Suelto	Kg	16.38	16.17	15.94	16.16
F	Peso del AG Suelto	Kg	11.6	11.39	11.16	11.38
G	**Peso unitario suelto**	kg m^{-3}	1,288.89	1,265.56	1,240.00	**1,264.82**

Nota:

Esp.: Espécimen

Tabla 42

Procedimiento de cálculo de desgaste a la abrasión del agregado grueso reciclado

Desgaste a la abrasión						
Id	**Descripción**	**Unid**	**Esp. 1**	**Esp. 2**	**Esp. 3**	
A	Peso muestra total	gr	5016	5008	5014	**Promedio**
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3420	3425	3414	
D	**Desgaste a la abrasión Los Ángeles**	%	31.82	31.61	31.91	31.78

Nota:

Esp.: Espécimen

ANEXO 03: Diseño de mezcla

DISEÑO PATRÓN - f'c 280 kg/cm²

MATERIAL	PESO ESPECIFICO	MODULO FINEZA	HUM. NATURAL	ABSORCIÓN	P. UNITARIO S.	P. UNITARIO C.
	g/cc		%	%	Kg/m³	Kg/m³
CEMENTO PACASMAYO TIPO I	3.12					
AGREGADO FINO - ARENA	2.63	2.74	8.17	1.76	1642	1733
AGREGADO GRUESO - HUSO 57	2.68	6.89	2.51	2.60	1394	1577

MATERIALES: AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO - CANTERA BAZÁN

A)	**VALORES DE DISEÑO**					
	1	ASENTAMIENTO		4	pulg	
	2	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1/2"		
	3	RELACION AGUA CEMENTO		0.46		
	4	AGUA		216		
	5	TOTAL DE AIRE ATRAPADO %		2.0		
	6	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO		0.33		
B)	**ANÁLISIS DE DISEÑO**					
	FACTOR CEMENTO		**466.38**	**Kg/m³**	**11.0**	**Bls/m³**
	Volumen absoluto del cemento			0.1495	m³/m³	
	Volumen absoluto del Agua			0.2160	m³/m³	
	Volumen absoluto del Aire			0.0200	m³/m³	
						0.385
	VOLUMEN ABSOLUTOS DE AGREGADOS					
	Volumen absoluto del Agregado fino			0.2874	m³/m³	**0.615**
	Volumen absoluto del Agregado grueso			0.3271	m³/m³	
	SUMATORIA DE VOLUMENES ABSOLUTOS					**1.000**
C)	**CANTIDAD DE MATERIALES m³** POR EN PESO SECO					
	CEMENTO			466	Kg/m³	
	AGUA			216	Lt/m³	
	AGREGADO FINO			756	Kg/m³	
	AGREGADO GRUESO			877	Kg/m³	
	PESO DE MEZCLA			**2315**	**Kg/m³**	
D)	**CORRECCION POR HUMEDAD**					
	AGREGADO FINO HUMEDO			817.7	Kg/m³	
	AGREGADO GRUESO HUMEDO			898.6	Kg/m³	
E)	**CONTRIBUCION DE AGUA DE LOS AGREGADOS**			**%**	**Lts/m³**	
	AGREGADO FINO			-6.41	-48.5	
	AGREGADO GRUESO			0.09	0.8	
					-47.7	
	AGUA DE MEZCLA CORREGIDA				**168.3**	**Lts/m³**
F)	**CANTIDAD DE MATERIALES POR m³ POR EN PESO HUMEDO**					
	CEMENTO			466	Kg/m³	
	AGUA			168	Lts/m³	
	AGREGADO FINO			818	Kg/m³	
	AGREGADO GRUESO			899	Kg/m³	

PROPORCIÓN EN PESO p3 (húmedo)		**PROPORCIÓN EN VOLUMEN p3 (húmedo)**	
CEMENTO	1.0	**CEMENTO**	1.0
AGREGADO FINO	1.75	**AGREGADO FINO**	1.60
AGREGADO GRUESO	1.93	**AGREGADO GRUESO**	2.07
AGUA	15.3	**AGUA**	15.3

Ajuste de agua efectiva **600 ml**

ANEXO 04: Costo de producción de concreto reciclado

Los precios y rendimientos de la tabla 43 y 44 con los que se calcularon los costos por m^3 de concreto tanto de concreto sin adición de agregado reciclado como de concreto al sustituir el 100 % de agregado natural por agregado reciclado fueron obtenidos del Boletín técnico de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, 2024).

Tabla 43

Análisis de precios unitarios del costo de producción de concreto sin adición de agregado reciclado.

Partida:	**Concreto para pavimentos 280 kg cm^{-2}sin adición de agregado reciclado**				
Rendimiento	**28.00 m^3 día^{-1}**	**Costo unitario directo por:**		**m^3**	**S/. 479.18**
Descripción Insumo	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio(S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Capataz	HH	0.10	0.029	33.25	0.95
Operario	HH	4.00	1.143	27.71	31.67
Oficial	HH	2.00	0.571	21.79	12.45
Peón	HH	13.00	3.714	19.71	73.21
Materiales					
Cemento portland tipo I	Bls		11.513	26.36	303.48
Arena gruesa	m^3		0.327	61.07	19.94
Piedra chancada	m^3		0.352	67.80	23.88
Agua	m^3		0.176	1.26	0.22
Maquinaria y/o Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3.000	118.28	3.55
Vibrador de concreto 4 hp 2.40	HM	1.00	0.286	16.94	4.84
Mezcladora para concreto de 9 - 11 p^3	HM	1.00	0.286	17.44	4.98

Tabla 44

Análisis de precios unitarios del costo de producción de concreto al sustituir 100% de agregado natural por reciclado.

Partida:	**Concreto para para pavimentos 280 kg cm^{-2}adicionando 100% de agregado reciclado**				
Rendimiento	**28.00**	**m^{3}día^{-1}**	**Costo unitario directo por:**	**m^3**	**S/. 477.27**

Descripción Insumo	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio (S/.)**	**Parcial (S/.)**
Mano de Obra					
Capataz	HH	0.10	0.029	33.25	0.95
Operario	HH	4.00	1.143	27.71	31.67
Oficial	HH	2.00	0.571	21.79	12.45
Peón	HH	14.00	4.000	19.71	78.84
Materiales					
Cemento portland tipo I	Bls		11.513	26.36	303.48
Arena gruesa	m^3		0.327	61.07	19.94
Agregado reciclado (chancadora primaria 15x24 y faja transportadora 18" x 40)	m^3		0.352	38.74	13.65
Agua	m^3		0.176	1.53	0.27
Maquinaria y/o Equipos					
Herramientas manuales	%MO		5.000	123.91	6.20
Vibrador de concreto 4 hp 2.40	HM	1.00	0.286	16.94	4.84
Mezcladora para concreto de 9 - 11 p^3	HM	1.00	0.286	17.44	4.98

La Tabla 43 y 44 muestran que el costo de producción del concreto sin adición de agregado reciclado y del concreto reemplazar al 100% el agregado natural por agregado reciclado es S/. 479.18 y S/. 477.27 y respectivamente teniendo una reducción en costo de **S/. 1.19** (0.40% de

disminución) lo cual representa un alternativa económica – ambiental viable. Esto es debido a que el transporte para llevar a la planta chancadora se puede reemplazar por el mismo transporte que se necesitaría para llevar los residuos de concreto reciclado al botadero. Asimismo, se consideró 1 peón adicional el cual colocaría el agregado en la faja transportadora para su triturado. Este ahorro de dinero que se generaría al utilizar concreto reciclado con reemplazo del 100% de agregado grueso reciclado por agregado grueso natural, se torna significativo en proyecto como carreteras con pavimentos rígidos los cuales presentan grandes cantidades de metros cúbicos de concreto lo que se podría utilizar para la operación y mantenimiento de este.

ANEXO 05: Certificados de calibración de instrumentos y equipos de laboratorio

DETECSO S.A.C.
FUTURE TECHNOLOGY

Fecha de emisión: 22/08/2023
Página: 1 de 2

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMF-0369-2023

PRENSA HIDRÁULICA DIGITAL

1. **Solicitante** : **Universidad Privada del Norte S.A.C.**
   Dirección : Vía de Evitamiento s/n cuadra 15, Cajamarca

2. **EQUIPO**

Marca	: FORNEY	**Rango**	: 0 a 113398kgf
Modelo	: F-25EX-F-CPILOT	**Resolución**	: 1kgf
N° Serie	: 10165	**Procedencia**	: No indica
Cód. Identificación	: 2-009501	**Indicación**	: Digital
Ubicación	: Laboratorio de Concreto	**Orden de compra**	: PER03-0000083665

3. **Lugar de la Calibración** : Laboratorio de Concreto en las instalaciones de UPN sede Cajamarca.

4. **Fecha de calibración** : 07-07-2023

5. **Método de calibración**
   Por comparación directa tomando como referencia la Norma ISO 7500-1: 2016, Materiales Metálicos, Calibración y Verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo tracción/compresión. Calibración y medición del sistema de medida de fuerza.

6. **Trazabilidad**

Patrón	Marca	Certificado	Trazabilidad
Celda de carga e indicador	MAVIN	INF-LE-0146-23	Celdas patrones calibradas en el Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH - Alemania
Termohigrómetro digital	No indica	051-2023-CT	INACAL

7. **Condiciones ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura Ambiental (°C)	19.0	18.7
Temperatura Relativa (% HR)	56	55

8. **Resultados**

Indicación del equipo (kgf)	Indicación del patrón (Ascenso)				
	Serie 1 (kgf)	Serie 2 (kgf)	Serie 3 (kgf)	Promedio (kgf)	E.C.V(*) (kgf)
1,000	1,002.09	1,004.87	1,004.74	1,003.90	-3.90
2,000	2,002.58	2,004.72	2,005.07	2,004.12	-4.12
3,000	3,002.04	3,004.85	3,004.43	3,003.77	-3.77
4,000	4,002.85	4,005.09	4,005.62	4,004.52	-4.52
5,000	5,002.67	5,005.30	5,005.08	5,004.35	-4.35
6,000	6,002.91	6,005.07	6,005.49	6,004.49	-4.49
7,000	7,002.59	7,005.34	7,004.86	7,004.26	-4.26
8,000	8,002.17	8,004.17	8,004.32	8,003.55	-3.55
9,000	9,002.06	9,004.49	9,004.81	9,003.79	-3.79
10,000	10,002.17	10,004.58	10,004.84	10,003.86	-3.86

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

Jr. Fray Martín de Porras 141, Comas, Lima; Telf: 1 6530135; web: www.detecso.com.pe
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LMF-0369-2023

PRENSA HIDRÁULICA DIGITAL

Indicación del equipo (kgf)	Exactitud (%)	Repetibilidad (%)	Reversibilidad (%)	Res. Relativa (%)	Incertidumbre (%)
1,000	-0.39	1.60	--	1.00	0.32
2,000	-0.21	2.33	--	0.50	0.32
3,000	-0.13	1.88	--	0.33	0.32
4,000	-0.11	2.71	--	0.25	0.32
5,000	-0.09	2.56	--	0.20	0.32
6,000	-0.07	2.82	--	0.17	0.32
7,000	-0.06	2.51	--	0.14	0.32
8,000	-0.04	2.12	--	0.12	0.32
9,000	-0.04	2.01	--	0.11	0.32
10,000	-0.04	2.12	--	0.10	0.32

Retorno a Cero f0	0.00 (%)

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura k=2.

Error relativo máximo permitido según la Clase de escala de la máquina de ensayo (ISO 7500-1)

Clase de escala de la máquina	Errores Relativos				
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resolución Relativa a (%)	Cero *f0 (%)*
0.5	± 0.50	± 0.50	± 0.75	± 0.25	± 0.05
1	± 1.0	± 1.0	± 1.5	± 0.5	± 0.1
2	± 2.0	± 2.0	± 3.0	± 1.0	± 0.2
3	± 3.0	± 3.0	± 4.5	± 1.5	± 0.3

9. Observaciones

- El equipo se encuentra en óptimas condiciones.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- La periodicidad de la calibración está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

DETECSO S.A.C.
FUTURE TECHNOLOGY

Fecha de emisión: 29/08/2023
Pág. 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LM-0100-2023

BALANZA DIGITAL

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	:	**Universidad Privada del Norte SAC**
Dirección:	:	Vía de Evitamiento s/n cuadra 15, Cajamarca

INFORMACIÓN DEL INSTRUMENTO

Marca	: OHAUS		**Capacidad Máxima (*Max*)**	:	80 kg
Modelo	: T31P		**Cap. Mínima (*Min*)**	:	0.01 kg
Número de Serie	: B000666JPQ		**División de escala real (*d*)**	:	0.01 kg
Código de ident.	: 2-013692		**División de verificación de escala (e)**	:	0.01 kg
Ubicación	: Laboratorio de Concreto				

INFORMACION DEL SERVICIO

Orden de Trabajo:	:	PER03-000083588
Lugar de Calibración:	:	Laboratorio de Concreto en las instalaciones de UPN sede Cajamarca
Fecha de Calibración:	:	6/07/2023

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

"La calibración se realizó por comparación directa con patrones certificados"

DECLARACIÓN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de Incertidumbres en la medición". El valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente el 95%. Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. **DETECSO S.A.C.** No se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento ni de una incorrecta interpretación de los resultados de calibración aquí declarados. Los resultados de calibración de este certificado de calibración no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de entidad que lo produce.

GERENCIA DE METROLOGIA DETECSO S.A.C.

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

Jr. Fray Martín de Porras 141, Comas, Lima; Telf: 1 6530135; web: www.detecso.com.pe
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

PATRONES UTILIZADOS

Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración	Trazabilidad
Juego de Pesas de 1mg a 500g (Clase de Exactitud F1)	001-2023-CM	INACAL
Juego de Pesas de 1Kg a 5Kg (Clase de Exactitud F1)	LM-C-015-2023	INACAL
Pesa de 10Kg (Clase de Exactitud F1)	LM-C-016-2023	INACAL
Juego de Pesas de 20Kg (Clase de Exactitud M2)	LM-004-2023	INACAL
Termohigrómetro digital	051-2023-CT	INACAL

INSPECCIÓN VISUAL

Plataforma:	Tiene	**Oscilación libre :**	No tiene
Sistema de traba:	No tiene	**Escala:**	No tiene
Nivelación:	Tiene	**Display:**	Tiene
Ajuste de cero:	Tiene	**Cursor:**	No tiene

RESULTADOS DE MEDICIÓN

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial:	15.7 °C	Humedad Inicial:	40 %
Temperatura Final:	16.1 °C	Humedad Final:	41 %

N° Pesada	Serie 1-Aprox. 50% *Máx.*	Carga Aplicada *L1* 40.0012 kg		Serie 2-Aprox. 100% *Máx.*	Carga Aplicada *L2* 80.0036 kg	
	Indicación (kg)	ΔL	E (kg)	Indicación (kg)	ΔL	E (kg)
1	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
2	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
3	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
4	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
5	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
6	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
7	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
8	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
9	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
10	40.00	0.01	-0.01	79.98	0.01	-0.03
	Diferencia Máxima Encontrada	0.00			Diferencia Máxima Encontrada	0.00
	E.M.P	0.01 kg			E.M.P	0.02 kg

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Cuadrado

Temperatura Inicial:	15.8 °C	Humedad Inicial:	39 %
Temperatura Final:	15.9 °C	Humedad Final:	39 %

Posición de Carga N°	*Determinación del Error en cero (Eo)*				*Determinación del Error Corregido (Ec)*				
	Carga (kg)	Indicación (kg)	ΔL	Eo (kg)	Carga (kg)	Indicación (kg)	ΔL	E (kg)	Ec (kg)
1	0.020	0.02	0.01	0.00	25.000	25.00	0.01	-0.01	0.00
2		0.02	0.01	0.00		25.00	0.01	-0.01	0.00
3		0.02	0.01	0.00		25.00	0.01	-0.01	0.00
4		0.02	0.01	0.00		24.98	0.01	-0.03	-0.02
5		0.02	0.01	0.00		25.00	0.01	-0.01	0.00
								E.M.P	0.01 kg

William Robinson Tejada Benites
Jefe de laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Inicial:	16.0 °C	Humedad Inicial:	41 %
Temperatura Final:	16.1 °C	Humedad Final:	39 %

Carga (L)	CRECIENTE				DECRECIENTE				Error Máximo Permitido
	Indicación	ΔL	E	Ec	Indicación	ΔL	E	Ec	
kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	
0.020	0.02	0.01	0.00						0.01 kg
6.500	6.50	0.01	-0.01	0.00	6.50	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
13.000	13.00	0.01	-0.01	0.00	13.00	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
19.500	19.50	0.01	-0.01	0.00	19.50	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
26.001	26.00	0.01	-0.01	0.00	26.00	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
32.501	32.50	0.01	-0.01	0.00	32.50	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
39.001	39.00	0.01	-0.01	0.00	39.00	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
45.502	45.50	0.01	-0.01	0.00	45.50	0.01	-0.01	0.00	0.01 kg
52.002	52.00	0.01	-0.01	0.00	52.00	0.01	-0.01	0.00	0.02 kg
58.502	58.50	0.01	-0.01	0.00	58.50	0.01	-0.01	0.00	0.02 kg
65.004	64.98	0.01	-0.03	-0.02	64.98	0.01	-0.03	-0.02	0.02 kg
71.504	71.48	0.01	-0.03	-0.02	71.48	0.01	-0.03	-0.02	0.02 kg
80.005	79.98	0.01	-0.03	-0.02	79.98	0.01	-0.03	-0.02	0.02 kg

Donde:

- **E.M.P.:** Error Máximo Permitido para balanzas de funcionamiento no automático de clase II
- **L:** Carga colocada sobre la balanza
- **E:** Error encontrado
- **Ec:** Error Corregido
- **Eo:** Error en cero
- **ΔL:** Carga agregada

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Lectura Corregida: $R_{corregida} = R + 0.000186184\ R$

Incertidumbre expandida de medición: $U_R = 2 \times \sqrt{0.000016667\ kg^2 + 0.083333387473633\ R^2}$

R: Indicacion de lectura de balanza : (kg)

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

DETECSO S.A.C.
FUTURE TECHNOLOGY

Fecha de emisión: 29/08/2023
Pág. 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LM-0101-2023

BALANZA DIGITAL

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Cliente: : **Universidad Privada del Norte SAC**

Dirección: : Vía de Evitamiento s/n cuadra 15, Cajamarca

INFORMACIÓN DEL INSTRUMENTO

Marca	: OHAUS	**Capacidad Máxima (*Max*)**	:	30000 g
Modelo	: R31P30	**Cap. Mínima (*Min*)**	:	1 g
Número de Serie	: 8337280279	**División de escala real (*d*)**	:	1 g
Código de ident.	: 2-013693	**División de verificación de escala (e)**	:	1 g
Ubicación	: Laboratorio de Suelos			

INFORMACION DEL SERVICIO

Orden de Trabajo: : PER03-000083588

Lugar de Calibración: : Laboratorio de Suelos en las instalaciones de UPN sede Cajamarca

Fecha de Calibración: : 6/07/2023

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

"La calibración se realizó por comparación directa con patrones certificados"

DECLARACIÓN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de Incertidumbres en la medición". El valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente el 95%. Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. **DETECSO S.A.C.** No se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento ni de una incorrecta interpretación de los resultados de calibración aquí declarados. Los resultados de calibración de este certificado de calibración no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de entidad que lo produce.

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

PATRONES UTILIZADOS

Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración	Trazabilidad
Juego de Pesas de 1mg a 500g (Clase de Exactitud F1)	001-2023-CM	INACAL
Juego de Pesas de 1Kg a 5Kg (Clase de Exactitud F1)	LM-C-015-2023	INACAL
Pesa de 10Kg (Clase de Exactitud F1)	LM-C-016-2023	INACAL
Juego de Pesas de 20Kg (Clase de Exactitud M2)	LM-004-2023	INACAL
Termohigrómetro digital	051-2023-CT	INACAL

INSPECCIÓN VISUAL

Plataforma:	Tiene	**Oscilación libre :**	No tiene
Sistema de traba:	No tiene	**Escala:**	No tiene
Nivelación:	Tiene	**Display:**	Tiene
Ajuste de cero:	Tiene	**Cursor:**	No tiene

RESULTADOS DE MEDICIÓN

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial:	15.9 °C	Humedad Inicial:	39 %
Temperatura Final:	16.3 °C	Humedad Final:	40 %

N° Pesada	Serie 1-Aprox. 50% *Máx.*	Carga Aplicada *L1* 15,000.03 g		Serie 2-Aprox. 100% *Máx.*	Carga Aplicada *L2* 30,001.23 g	
	Indicación (g)	ΔL	E (g)	Indicación (g)	ΔL	E (g)
1	15,000	1	-1	29,999	1	-3
2	15,000	1	-1	29,999	1	-3
3	15,000	1	-1	29,999	1	-3
4	15,000	1	-1	29,999	1	-3
5	15,000	1	-1	29,999	1	-3
6	15,000	1	-1	29,999	1	-3
7	15,000	1	-1	29,999	1	-3
8	14,999	1	-2	29,999	1	-3
9	15,000	1	-1	29,999	1	-3
10	15,000	1	-1	29,999	1	-3
	Diferencia Máxima Encontrada	1		Diferencia Máxima Encontrada		0
	E.M.P	2 g		E.M.P		3 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Cuadrado

Temperatura Inicial:	16.0 °C	Humedad Inicial:	38 %
Temperatura Final:	16.1 °C	Humedad Final:	38 %

Posición de Carga N°	*Determinación del Error en cero (Eo)*				*Determinación del Error Corregido (Ec)*				
	Carga (g)	Indicación (g)	ΔL	Eo (g)	Carga (g)	Indicación (g)	ΔL	E (g)	*Ec (g)*
1	1.0	1	1	-1	10,000.0	10,000	1	-1	0
2		1	1	-1		9,999	1	-2	-1
3		1	1	-1		10,000	1	-1	0
4		1	1	-1		10,000	1	-1	0
5		1	1	-1		10,000	1	-1	0
								E.M.P	2 g

William Robinson Tejada Benites
Jefe de laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Inicial:	16.2 °C	Humedad Inicial:	40 %
Temperatura Final:	16.3 °C	Humedad Final:	38 %

Carga (L)	CRECIENTE				DECRECIENTE				Error Máximo Permitido
	Indicación	ΔL	E	Ec	Indicación	ΔL	E	Ec	
g	g	g	g	g	g	g	g	g	
1.0	1	1	-1						1 g
2,500.0	2,500	1	-1	0	2,500	1	-1	0	1 g
5,000.0	5,000	1	-1	0	5,000	1	-1	0	1 g
7,500.0	7,500	1	-1	0	7,500	1	-1	0	2 g
10,000.0	10,000	1	-1	0	10,000	1	-1	0	2 g
12,500.0	12,500	1	-1	0	12,500	1	-1	0	2 g
15,000.0	15,000	1	-1	0	15,000	1	-1	0	2 g
17,500.0	17,500	1	-1	0	17,500	1	-1	0	2 g
20,000.0	20,000	1	-1	0	20,000	1	-1	0	3 g
22,501.2	22,499	1	-3	-2	22,499	1	-3	-2	3 g
25,001.2	24,999	1	-3	-2	24,999	1	-3	-2	3 g
27,501.2	27,499	1	-3	-2	27,499	1	-3	-2	3 g
30,001.2	29,999	1	-3	-2	29,999	1	-3	-2	3 g

Donde:

E.M.P.:	Error Máximo Permitido para balanzas de funcionamiento no automático de clase II
L:	Carga colocada sobre la balanza
E:	Error encontrado
Ec:	Error Corregido
Eo:	Error en cero
ΔL:	Carga agregada

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Lectura Corregida: $R_{corregida} = R + 0.000027915\ R$

Incertidumbre expandida de medición: $U_R = 2 \times \sqrt{0.266666667\ g^2 + 0.083333334275510\ R^2}$

R: Indicacion de lectura de balanza : (g)

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

DETECSO S.A.C.
FUTURE TECHNOLOGY

Fecha de emisión: 29/08/2023
Pág. 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: LM-0102-2023

BALANZA DIGITAL

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	:	**Universidad Privada del Norte SAC**
Dirección:	:	Vía de Evitamiento s/n cuadra 15, Cajamarca

INFORMACIÓN DEL INSTRUMENTO

Marca	:	OHAUS	**Capacidad Máxima (*Max*)**	:	4100 g
Modelo	:	PAJ4102N	**Cap. Mínima (*Min*)**	:	0.01 g
Número de Serie	:	8332070035	**División de escala real (*d*)**	:	0.01 g
Código de ident.	:	2-009503	**División de verificación de escala (e)**	:	0.01 g
Ubicación	:	Laboratorio de Suelos			

INFORMACION DEL SERVICIO

Orden de Trabajo:	:	PER03-0000083588
Lugar de Calibración:	:	Laboratorio de Masa de DETECSO S.A.C.
Fecha de Calibración:	:	5/07/2023

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

"La calibración se realizó por comparación directa con patrones certificados"

DECLARACIÓN

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de Incertidumbres en la medición". El valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente el 95%. Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. **DETECSO S.A.C**. No se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento ni de una incorrecta interpretación de los resultados de calibración aquí declarados. Los resultados de calibración de este certificado de calibración no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de entidad que lo produce.

GERENCIA DE METROLOGÍA DETECSO S.A.C.

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

PATRONES UTILIZADOS

Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración	Trazabilidad
Juego de Pesas de 1mg a 500g (Clase de Exactitud F1)	001-2023-CM	INACAL
Juego de Pesas de 1Kg a 5Kg (Clase de Exactitud F1)	LM-C-015-2023	INACAL
Termohigrómetro digital	051-2023-CT	INACAL

INSPECCIÓN VISUAL

Plataforma:	Tiene	**Oscilación libre :**	No tiene
Sistema de traba:	No tiene	**Escala:**	No tiene
Nivelación:	Tiene	**Display:**	Tiene
Ajuste de cero:	Tiene	**Cursor:**	No tiene

RESULTADOS DE MEDICIÓN

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial:	16.9 °C	Humedad Inicial:	39 %
Temperatura Final:	17.3 °C	Humedad Final:	40 %

N° Pesada	Serie 1-Aprox. 50% Máx.	Carga Aplicada L1 2,050.0021 g		Serie 2-Aprox. 100% Máx.	Carga Aplicada L2 4,100.0043 g	
	Indicación (g)	ΔL	E (g)	Indicación (g)	ΔL	E (g)
1	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
2	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
3	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
4	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
5	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
6	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
7	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
8	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
9	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
10	2,049.88	0.01	-0.13	4,099.86	0.01	-0.15
	Diferencia Máxima Encontrada	0.00		Diferencia Máxima Encontrada	0.00	
	E.M.P	0.03 g		E.M.P	0.03 g	

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Cuadrado

Temperatura Inicial:	17.0 °C	Humedad Inicial:	38 %
Temperatura Final:	17.1 °C	Humedad Final:	38 %

Posición de Carga N°	Determinación del Error en cero (Ec)				Determinación del Error Corregido (Ec)				
	Carga (g)	Indicación (g)	ΔL	Ec (g)	Carga (g)	Indicación (g)	ΔL	E (g)	Ec (g)
1	1,000	1.00	0.01	-0.01	1,300.002	1,299.94	0.01	-0.07	-0.06
2		1.00	0.01	-0.01		1,299.95	0.01	-0.06	-0.05
3		1.00	0.01	-0.01		1,299.94	0.01	-0.07	-0.06
4		1.00	0.01	-0.01		1,299.94	0.01	-0.07	-0.06
5		1.00	0.01	-0.01		1,299.94	0.01	-0.07	-0.06
								E.M.P	0.02 g

William Robinson Tejada Benites
Jefe de laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura Inicial:	17.2 °C	Humedad Inicial:	40 %
Temperatura Final:	17.3 °C	Humedad Final:	38 %

Carga (L)	CRECIENTE				DECRECIENTE				Error Máximo Permitido
	Indicación	ΔL	E	Ec	Indicación	ΔL	E	Ec	
g	g	g	g	g	g	g	g	g	
1.000	1.00	0.01	-0.01						0.01 g
340.000	339.98	0.01	-0.02	-0.02	339.98	0.01	-0.02	-0.02	0.01 g
679.999	679.97	0.01	-0.03	-0.03	679.97	0.01	-0.03	-0.03	0.02 g
1,020.002	1,019.94	0.01	-0.07	-0.06	1,019.94	0.01	-0.07	-0.06	0.02 g
1,360.002	1,359.94	0.01	-0.07	-0.06	1,359.94	0.01	-0.07	-0.06	0.02 g
1,700.002	1,699.90	0.01	-0.11	-0.10	1,699.90	0.01	-0.11	-0.10	0.02 g
2,040.002	2,039.88	0.01	-0.13	-0.12	2,039.88	0.01	-0.13	-0.12	0.03 g
2,380.002	2,379.88	0.01	-0.13	-0.12	2,379.88	0.01	-0.13	-0.12	0.03 g
2,720.001	2,719.88	0.01	-0.13	-0.12	2,719.88	0.01	-0.13	-0.12	0.03 g
3,060.004	3,059.88	0.01	-0.13	-0.12	3,059.88	0.01	-0.13	-0.12	0.03 g
3,400.004	3,399.86	0.01	-0.15	-0.14	3,399.86	0.01	-0.15	-0.14	0.03 g
3,740.004	3,739.86	0.01	-0.15	-0.14	3,739.86	0.01	-0.15	-0.14	0.03 g
4,100.004	4,099.86	0.01	-0.15	-0.14	4,099.86	0.01	-0.15	-0.14	0.03 g

Donde:

- **E.M.P.:** Error Máximo Permitido para balanzas de funcionamiento no automático de clase I
- **L:** Carga colocada sobre la balanza
- **E:** Error encontrado
- **Ec:** Error Corregido
- **Eo:** Error en cero
- **ΔL:** Carga agregada

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Lectura Corregida: $R_{corregida} = R + 0.000043674\ R$

Incertidumbre expandida de medición: $U_R = 2x \sqrt{0.000016667\ g^2 + 0.083333333338599\ R^2}$

R: Indicacion de lectura de balanza : (g)

William Robinson Tejada Benites
Jefe de Laboratorio

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE DETECSO SAC