

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

por inves087 vice

Fecha de entrega: 19-mar-2026 11:51a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2907456055

Nombre del archivo: T036_70618877_T.pdf (27.71M)

Total de palabras: 22908

Total de caracteres: 121051

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL
AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL
AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE :



Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO :



Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO :



Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS :



Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 258-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 07 de mayo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-2009 presentado por el (la) Bachiller: BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO, quien solicita NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN de la Tesis Titulado: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO, la misma que pertenece a la línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la NOMINACIÓN DE JURADOS integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO MAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Mgtr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI.

ARTÍCULO TERCERO.- APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de el (la) bachiller: BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO; del informe final de la investigación (tesis) titulado: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : jueves 15 de mayo del 2025
- * **HORA** : 09:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIALMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1948-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 31 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 17677 por el señor (a): BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1476 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 355-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 355-2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), Ing. WILFREDO DAVID SUPO PACORI.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. CILTRON QUISEP HUANCA
DECANO
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Efraín Pantoja Supe
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 804-2024-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de agosto del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 9725, presentado el señor (a) BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 748 -2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 228 -2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Mgtr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 228 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Ing. **WILFREDO DAVID SUPO PACORI**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. ARTHUR QUISEP HUANGA
DECANO
CIP. 47790


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
DIRECTOR
Dr. Edwin Pantoja Sosa
CIP. 47790
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)



METADATOS COMPLEMENTARIOS

TÍTULO DE LA TESIS	
INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Brigith Isabel Quiza Huaracallo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70618877
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-8785-0525
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Wilfredo David Supo Pacori
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02428673
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4821-3825
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Cesar Guillermo Camargo Najjar
Tipo de documento	DNI. 02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI. 41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Fritz Willy Mamani Apaza
Tipo de documento	DNI. 02306659

Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Coordenadas: Latitud: -15.53358 Longitud: -70.11748 URL Maps: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1gcK4yTrVzKRajtBuwfKPe6pb4DYP2qg&usp=sharing</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Febrero 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html Librería	<p>Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</p> <p>Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



Dr. Fritz Willy Mamoni Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo Brigith Isabel Quiza Huaracallo, identificado con DNI Nro. 70618877 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
 Programa de Segunda Especialidad,
 Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

Influencia del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo

Asesorado por: Mgtr. Wilfredo David Supo Pacori

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 49 de junio del 2025

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi refugio, mi fuente de fortaleza y la guía constante en mi vida. Por concederme salud, paz y el coraje necesario para alcanzar mis metas, así como por derramar sus bendiciones y ser mi compañero fiel en cada etapa de mi camino.

A mi padre, Andres Quiza, quien, aunque ya no está físicamente, sigue siendo el pilar que sostiene mis sueños; y a mi madre, Cecilia Huaracallo, cuya dedicación y amor son el motor de mi crecimiento diario. A mis familiares y amigos, quienes, con su apoyo incondicional y sus enseñanzas de esfuerzo y valores, me impulsan a superar cualquier obstáculo en la búsqueda de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Con profundo respeto y gratitud, agradezco al Ing. Wilfredo David Supo Pacori, mi asesor, por su paciencia y orientación invaluable durante el desarrollo de este proyecto de tesis. Sus consejos y dedicación hicieron posible llevar esta investigación a buen término.

A mi familia y amigos, quienes, con generosidad y sin esperar nada a cambio, me ofrecieron su apoyo constante, compartiendo conmigo sus conocimientos, alegrías y momentos difíciles. A todos los que, de alguna manera, formaron parte de este recorrido y contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad durante estos cinco años.

Gracias.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 El problema	1
1.1.1 Análisis de la situación problemática	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.2 Problemas específicos	2
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación del estudio.....	3
1.5 Hipótesis de la investigación	4

1.5.1	Hipótesis general	4
1.5.2	Hipótesis específicas	4
1.6	Operacionalización de variables	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1	Antecedentes de la investigación	7
2.1.1	Antecedente nacional.....	7
2.1.2	Antecedente internacional.....	8
2.2	Bases teóricas	13
2.2.1	Concreto compactado con rodillo.....	13
2.2.2	Materiales del concreto compactado con rodillo	15
2.2.3	Dosificación de mezclas del concreto compactado con rodillo	17
2.2.4	Propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo.....	19
2.2.5	Agregado de concreto reciclado.....	20
2.2.6	Características del RCA.....	21
2.2.7	Tamaño de partícula del RCA	23
2.3	Marco conceptual	24
2.3.1	Concreto compactado con rodillo.....	24
2.3.2	Agregado de concreto reciclado.....	24
2.3.3	Cemento Portland	24
2.3.4	Resistencia a la compresión ($f'c$).....	24
2.3.5	Módulo de rotura (MR)	25

2 CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Diseño de investigación.....	26
3.2	Tipo de investigación.....	27
3.3	Enfoque de investigación.....	27
3.4	Nivel de investigación.....	28
3.5	Técnicas e instrumento.....	28
3.5.1	Técnicas.....	28
3.5.2	Instrumentos de investigación.....	29
3.6	Población y muestra.....	29
3.6.1	Población.....	29
3.6.2	Muestra.....	29
3.7	Procedimiento de recolección de datos.....	30
3.7.1	Origen de recolección de datos.....	30
3.7.2	Caracterización de los agregados.....	30
3.7.3	Dosificación del CCR por el método de compactación de suelos.....	37
3.7.4	Elaboración de especímenes.....	40
3.7.5	Caracterización de las propiedades mecánicas del CCR.....	46

1 CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1	Caracterización de los agregados naturales.....	49
4.1.1	Resultados del ensayo de análisis granulométrico.....	51

4.1.2	¹⁶ Resultados del ensayo de peso unitario	54
4.1.3	Resultados del ensayo de Peso específico y absorción	55
4.1.4	⁶ Resultados del ensayo de contenido de humedad.....	56
4.2	Caracterización de los agregados reciclados	56
4.2.1	²⁶ Resultados del ensayo de análisis granulométrico	59
4.2.2	Resultados del ensayo de peso unitario	64
4.2.3	Resultados del ensayo de peso específico y absorción.....	66
4.2.4	⁶ Resultados del ensayo de contenido de humedad.....	67
4.3	Diseños de mezcla	67
4.4	Resistencia a compresión.....	71
4.5	⁷ Resistencia a flexión (Modulo de rotura)	74
4.6	Validación de los resultados de resistencia a la flexión	²⁵ 77
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		82
ANEXOS.....		88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	5
Tabla 2 Límites de graduación global de los agregados para pavimentos de CCR....	16
Tabla 3 Tamaños de partículas del RCA por granulometría	24
72 Tabla 4 Resumen de la caracterización de los agregados naturales.....	49
Tabla 5 Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso - Prueba Nro. 01	51
Tabla 6 Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino - Prueba Nro. 01	51
1 Tabla 7 Módulo de finura del agregado fino y grueso natural	53
Tabla 8 Coeficientes de uniformidad y curvatura del agregado natural para el CCR	53
Tabla 9 Ensayo de peso unitario del agregado fino natural	54
6 Tabla 10 Ensayo de peso unitario del agregado grueso natural	54
Tabla 11 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino y grueso natural	55
Tabla 12 Ensayo de contenido de humedad del agregado natural	56
Tabla 13 Resumen de la caracterización de los agregados reciclados	57
Tabla 14 Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (20)	59
4 Tabla 15 Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (15)	59
Tabla 16 Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (10)	60
Tabla 17 Ensayo de análisis granulométrico del RCA-F.....	60

Tabla 18 ¹ Módulo de finura del agregado fino y grueso reciclado.....	62
Tabla 19 ¹⁵ Ensayo de peso unitario del RCA-F.....	64
Tabla 20 Ensayo de peso unitario del RCA-G (20).....	65
Tabla 21 ⁶ Ensayo de peso unitario del RCA-G (15).....	65
Tabla 22 ⁶ Ensayo de peso unitario del RCA-G (10).....	65
Tabla 23 ⁵ Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino reciclado	66
Tabla 24 Ensayo de contenido de humedad del RCA	67
Tabla 25 Composición de las mezclas	70
Tabla 26 ⁴ Resistencia a compresión a los 28 días según tipo de mezcla CCR	72
Tabla 27 Resistencia a flexión promedio (Mr) a los 28 días según tipo de mezcla CCR	74
Tabla 28 Comparación entre resultados teóricos (según ACI y modelo de Ouellet) y valores experimentales de la ⁴ resistencia a la flexión (MR) del CCR a los 28 días.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Rotomartillo Industrial TOTAL TH1163855.	41
Figura 2 Placas de compactación para viguetas y cilindros.	42
Figura 3 Molde prismático de acero.	42
Figura 4 Molde cilíndrico de acero.	43
Figura 5 Distribución granulométricas del AN-G y AN-F	52
Figura 6 Distribución granulométricas del RCA-G y RCA-F con diferentes TMN.....	61
Figura 7 Relación entre TMN y los Coeficientes C_u y C_c	63
Figura 8 Distribución granulométrica de agregados reciclados y naturales global para el diseño de CCR.....	68
Figura 9 Relación entre TMN y los Coeficientes C_u y C_c	69
Figura 10 Relación entre tamaño máximo nominal de agregado y resistencia a compresión del CCR a los 28 días.....	72
Figura 11 Relación entre tamaño máximo nominal del RCA para una sustitución del 50% y resistencia a flexión promedio del CCR a los 28 días	75
Figura 12 Representación gráfica comparativa de los resultados teóricos (ACI y Ouellet) y los valores experimentales de la resistencia a la flexión (MR).....	78

RESUMEN

La presente investigación analiza la influencia del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado (RCA) en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo (CCR). Se aplicó un diseño cuasi-experimental con un enfoque cuantitativo y nivel explicativo. La caracterización de materiales se realizó siguiendo normas internacionales como ASTM, ACI, NTP y MTC. La muestra incluyó cuatro grupos de RCA obtenidos de la demolición de pavimentos en Juliaca, considerando tamaños de partícula de 4.75 mm a 10 mm, 4.75 mm a 15 mm, 4.75 mm a 20 mm (sustitución de 50%) y 0 mm a 20 mm (sustitución de 100%), comparados con un grupo de control que utilizó agregados naturales. Se efectuaron pruebas en 50 especímenes, evaluando parámetros como la resistencia a compresión y módulo de rotura a los 28 días. Los resultados mostraron que las mezclas CCR-10 y CCR-15, con resistencias a compresión de 269.05 kg/cm² y 271.30 kg/cm², concierne, superaron al CCR-AN20 (262.14 kg/cm²). En resistencia a flexión, CCR-15 alcanzó 43.97 kg/cm², mientras que CCR-RCA20 obtuvo 29.36 kg/cm², destacando que los tamaños menores de RCA optimizan las propiedades mecánicas del CCR. Estos hallazgos respaldan el uso moderado de RCA como alternativa sostenible, siempre considerando su tamaño y proporción en el diseño de mezclas.

Palabras Claves: Concreto compactado con rodillo, agregado de concreto reciclado, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

ABSTRACT

The present investigation analyzes the influence of recycled concrete aggregate (RCA) particle size on the mechanical properties of roller compacted concrete (RCC). A quasi-experimental design with a quantitative approach and explanatory level was applied. The material characterization was performed following international standards such as ASTM, ACI, NTP and MTC. The sample included four groups of RCA obtained from pavement demolition in Juliaca, considering particle sizes from 4.75 mm to 10 mm, 4.75 mm to 15 mm, 4.75 mm to 20 mm (50% substitution) and 0 mm to 20 mm (100% substitution), compared to a control group using natural aggregates. Tests were performed on 50 specimens, evaluating parameters such as compressive strength and modulus of rupture at 28 days. The results showed that the CCR-10 and CCR-15 mixes, with compressive strengths of 269.05 kg/cm² and 271.30 kg/cm², respectively, outperformed CCR-AN20 (262.14 kg/cm²). In flexural strength, CCR-15 achieved 43.97 kg/cm², while CCR-RCA20 obtained 29.36 kg/cm², highlighting that smaller RCA sizes optimize the mechanical properties of CCR. These findings support the moderate use of RCA as a sustainable alternative, always considering its size and proportion in mix design.

Keywords: Roller compacted concrete, recycled concrete aggregate, compressive strength, flexural strength.

INTRODUCCIÓN

El mundo de la construcción destaca entre los más importantes generadores de emisiones de CO₂, con la fabricación de cemento como uno de sus mayores contribuyentes. Además, la creciente generación de residuos procedentes de la construcción y demolición (C&D) plantea un desafío ambiental, superando los 3.000 millones de toneladas anuales a nivel mundial. El uso de agregados reciclados de concreto (RCA) se presenta como una solución para reducir la contaminación y la explotación de recursos naturales (Tam et al., 2018; Kheirbek et al., 2022).

En este contexto, el concreto compactado con rodillo (CCR) ha ganado popularidad por sus ventajas en la pavimentación, y diversos estudios han analizado el impacto de los agregados reciclados en sus propiedades. Sin embargo, existe una brecha en el conocimiento sobre cómo el tamaño de partícula del RCA influye en las propiedades mecánicas del CCR, como la resistencia a compresión y flexión

La finalidad de esta investigación es analizar la influencia del tamaño de partícula del RCA en las propiedades mecánicas del CCR, buscando optimizar su desempeño sin comprometer su rendimiento estructural. La importancia de este estudio radica en promover la sostenibilidad en la construcción, reduciendo residuos y conservando recursos naturales.

La metodología utilizada es cuasi-experimental, con un planteamiento cuantitativo y grado explicativo, manipulando el tamaño de partícula del RCA y evaluando sus efectos en las propiedades mecánicas del CCR. Los resultados

contribuirán un fundamento firme para la implementación de agregados reutilizados en la construcción y ofrecerán pautas para futuras investigaciones.

Este trabajo de investigación ⁴⁰ se estructura en cuatro capítulos. El Capítulo I plantea el problema, justifica la investigación y expone los objetivos, hipótesis y variables. El Capítulo II presenta los antecedentes, fundamentos teóricos y marco ⁶⁸ conceptual. El Capítulo III describe la metodología, procedimientos y cálculos realizados. El Capítulo IV analiza y discute los resultados, incluyendo la validación de hipótesis. ² Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos, asegurando el desarrollo adecuado del estudio.

³ CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 El problema

1.1.1 *Análisis de la situación problemática*

El sector de la construcción alberga múltiples factores que liberan una elevada cantidad de emisiones de carbono, entre ellos la fabricación de cemento y agregados, el traslado de materiales y otros procesos asociados, del conjunto de estos elementos, el cemento es uno de los que más emisiones de carbono produce. La fabricación de cemento genera el 7% del total mundial de emisiones de CO₂ (Oh et al., 2014).

La industrialización ha generado una gran cantidad de desechos de ²³ construcción y demolición (C&D). En general, la producción de residuos de construcción y demolición sobrepasa los 3.000 millones de toneladas en el mundo entero (Akhtar & Sarmah, 2018). Ante esta realidad, la trituración de desechos de concreto en ¹⁸ agregados de concreto reciclado (RCA), destinados a la elaboración de concreto nuevo, puede ser una forma eficaz de reducir la contaminación ambiental, al reducir la eliminación de este material de desecho en vertederos y evitar la explotación desmedida de los recursos naturales (Tam et al., 2018), (Kheirbek et al., 2022).

En los últimos tiempos, se ha otorgado una gran atención a la tecnología del concreto compactado con rodillo (CCR) para el uso en carreteras por sus múltiples ventajas frente a otros materiales de pavimentación convencionales. Numerosos estudios han analizado el efecto que deja la integración del RCA en las propiedades del CCR. El comportamiento plástico y endurecido del CCR tiene mucho que ver con el tipo y tamaño de los agregados, la granulometría de los agregados, el contenido de cemento y el contenido de agua (Selvam et al., 2022).

Por las razones expuestas, este estudio tiene como interés analizar el impacto del tamaño de partícula del RCA, buscando mejorar las propiedades mecánicas del CCR.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo influye el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo serán las propiedades del agregado natural para el concreto compactado con rodillo?
- ¿Cómo serán las propiedades del agregado de concreto reciclado para el concreto compactado con rodillo?
- ¿Cómo influye el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo?
- ¿De qué manera la resistencia a compresión del concreto compactado con rodillo se ve influenciada por el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado?

- ¿De qué manera la resistencia a flexión del concreto compactado con rodillo se ve influenciada por el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Analizar la influencia del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades del agregado natural para el concreto compactado con rodillo.
- Caracterizar las propiedades del agregado de concreto reciclado para el concreto compactado con rodillo.
- Diseñar la mezcla del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.
- Caracterizar la resistencia a compresión del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.
- Caracterizar la resistencia a flexión del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.

1.4 Justificación del estudio

El sector de la construcción es uno de los pilares fundamentales y en constante evolución a escala mundial. Sin embargo, es también uno de los más grandes productores de residuos sólidos en el planeta (Soto-Paz et al., 2023). De hecho, se considera que los residuos de construcción y demolición

constituyen como mínimo el 30% de los residuos sólidos producidos en todo el mundo (Kabirifar et al., 2020). Este estudio surgió de la exigencia de explorar y evaluar el empleo de agregado de concreto reciclado en el CCR como una forma de promover la sostenibilidad y la reutilización de materiales en la construcción. El CCR es una técnica de construcción eficiente y económica, y la incorporación de RCA puede contribuir a disminuir la demanda de material pétreo natural y atenuar la producción de residuos de construcción y demolición.

Si bien se han realizado numerosas investigaciones sobre los agregados del concreto reciclado en el CCR, aún existen brechas en el conocimiento actual en las que es necesario profundizar, una de ellas es la influencia del tamaño de partícula de los agregados reciclados sobre las propiedades mecánicas del CCR. Al destacar esta brecha de conocimiento se proporciona una guía para futuras investigaciones. Esta investigación también busca proporcionar una base sólida y científica para el desarrollo y la aplicación del CCR con agregados de concreto reciclado.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

- Existe una influencia significativa del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Las propiedades del agregado natural cumplen con las especificaciones técnicas establecidas para el concreto compactado con rodillo.

- Las propiedades del agregado de concreto reciclado cumplen con las especificaciones técnicas establecidas para el concreto compactado con rodillo.
- Las variaciones en el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado afectan en el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo.
- El CCR que incorpora RCA de 4.75 a 15 mm presenta una resistencia a compresión más alta en comparación con el grupo control que incorpora agregado natural grueso.
- El CCR que incorpora RCA de 4.75 a 10 mm presenta una resistencia a flexión más alta en comparación con el grupo control que incorpora agregado natural grueso.

2 1.6 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES	VALORES FINALES/ESCALA	TIPO DE VARIABLE
Variable Independiente:			
Tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría (mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • 4.75 – 10 mm • 4.75 – 15 mm • 4.75 – 20 mm • 0 – 20 mm 	Continua
Variable Dependiente:			
Propiedades mecánicas del concreto compactado con	<ul style="list-style-type: none"> • $F'c$ (kg/cm²) • M_r (kg/cm²) 	<ul style="list-style-type: none"> • < 420 kg/cm² • < 85 kg/cm² 	Continua

 rodillo

Variables**Intervinientes:**

Nivel parcial de sustitución del RCA para elaborar mezclas de CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de sustitución • ⁴ F' c de diseño (kg/cm²) 	<ul style="list-style-type: none"> • 50% RCA grueso • 100% RCA grueso y fino • 250 kg/cm² 	Continua
Tipo de agregado natural	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Canto rodado de la cantera Isla 	Nominal
Tipo de agregado de concreto reciclado	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Trituración y tamizado de concreto residual proveniente del pavimento rígido demolido 	Nominal
Método de dosificación del CCR	<ul style="list-style-type: none"> • Método 	<ul style="list-style-type: none"> • Dosificación basada en pruebas de compactación del suelo 	Nominal
Tipo de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo 	<ul style="list-style-type: none"> • Capa base en pavimentos con alta densidad de vehículos pesados 	Nominal

² CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes de la investigación

Respecto a ² con estudios previos ^{del} problema del estudio se puede referenciar:

2.1.1 Antecedente nacional

Aguilar Coro, (2019), presentó su estudio, con el fin de conocer el cambio en ⁵ la resistencia a la compresión del CCR al reemplazarse ^{el} agregado grueso natural por agregado grueso y reciclado ^{en} cantidades de 25, ⁵⁰, 75 y 100% ^{respecto a} una mezcla ^{de} ³⁸ $f'c=210$ kg/cm², al ser utilizado ^{en} los pavimentos rígidos. Se calcularon ^{las} características físico-mecánicas de los agregados naturales y ^{de los} agregados gruesos reciclados, y se prepararon 150 ⁴ probetas cilíndricas de concreto por ^{la} técnica para compactación ^{de} suelos, y ^{se} ¹ ^{evaluó} la resistencia a la compresión ^{en} distintas etapas ^{de} maduración del material, específicamente a los 7, 14 y 28 días de curado. Después de 28 días, la fuerza compresiva del concreto compactado con 25% y 50% de agregados reciclados incrementó en 6.04% y 1.47%, respectivamente, comparado con el concreto con agregados naturales. Sin embargo, la fuerza compresiva del concreto compactado con 75% y 100% de agregados reciclados disminuyó en 7.64% y

10.98%, respectivamente. Por consiguiente, el agregado grueso reciclado puede reemplazar el 50% del agregado grueso natural total en el concreto compactado sin reducir la fuerza compresiva.

2.1.2 Antecedente internacional

Según (Selvam et al., 2022) en su estudio, ofrece una visión general actualizada de las investigaciones publicadas sobre el uso de materiales alternativos en las RCCP entre 1997 y 2021. En él se analizan todas las ventajas e inconvenientes de la producción sostenible de RCCP con materiales reciclados. Los agregados alternativos que se han considerado son agregados de concreto reciclado, agregados de pavimento de asfalto reciclado, caucho de neumático y agregados de escoria de acero de horno de arco eléctrico. La finalidad fue determinar el potencial de estos agregados alternativos en función de sus propiedades en fresco, mecánicas y de durabilidad. Además, se buscó identificar el porcentaje óptimo de estos agregados alternativos para la elaboración sostenible de RCCP y destacar las brechas en el conocimiento actual y las áreas de investigación futura en este campo. El potencial de estos agregados alternativos para RCCP se ha evaluado críticamente basándose en las propiedades frescas (contenido óptimo de humedad, densidad seca máxima, tiempo de vebe), mecánicas (resistencia a la compresión, a la flexión, a la tracción por división, a la abrasión, módulo de elasticidad) y de durabilidad (porosidad, absorción de agua, congelación-descongelación y reacción alcali-sílice). Según los resultados, las características morfológicas y las propiedades inherentes de los agregados alternativos tienen un profundo efecto en el rendimiento de la RCCP. Las técnicas de mejora de la resistencia pueden mejorar el rendimiento de la RCCP. Para la capa superficial/base, la RCA, la

RAP, la escoria de EAF y el neumático de caucho pueden utilizarse en niveles de sustitución del 50%, 50%, 100% y 10%. En consecuencia, se recogen los factores fundamentales de estos materiales que afectan al comportamiento de los RCCP y las formas de abordarlos. En esta investigación también se destacan varias brechas que deben subsanarse a través de conocimientos científicos y de campo, y se esbozan los posibles ámbitos de investigación en el futuro.

De acuerdo con Zhou et al. (2021), realizaron su investigación, con el fin de investigar la influencia del rango de tamaño de partícula del agregado fino reciclado (RFA) en las características microestructurales y ²⁵ propiedades mecánicas del concreto de ultra alto rendimiento (UHPC) mediante la realización de pruebas de caracterización a nano, micro y macro escala. La metodología de esta investigación consistió en preparar muestras de concreto de ultra alto rendimiento (UHPC) utilizando cemento Portland 52.5R, humo de sílice, agregados finos reciclados o agregados finos seleccionados, agua, fibras de acero y aditivos superplastificantes. La gradación de RFA de 0 a 0,5 mm se determinó mediante un analizador láser de tamaño de partículas, mientras que la gradación de los otros tipos de RFA se determinó mediante tamizado. Se siguieron las proporciones y procedimientos establecidos. Se realizaron 3 métodos de prueba. El método de la prueba mecánica, consistió en realizar las pruebas de compresión de prismas de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ a la edad de 7 y 28 días, se ejecutaron pruebas de tracción uniaxiales para caracterizar el comportamiento de tracción del UHPC. El método de la prueba de caracterización de microestructura. Se realizaron pruebas de ¹¹ porosimetría de intrusión de mercurio (MIP) para analizar la estructura porosa y la distribución de tamaño de poros en la matriz de UHPC. Además, se utilizó microscopía de

barrido electrónico (SEM) para observar y analizar el aspecto morfológico microscópico de la matriz de UHPC. El método de la prueba de caracterización de ITZ. Se realizó una prueba de nanoindentación para caracterizar las propiedades de la zona de transición interfacial (ITZ) en el UHPC. Se seleccionaron puntos de indentación en la ITZ N1 y la ITZ N2, y se realizaron mediciones de dureza y módulo elástico. Los resultados de esta investigación fue que la incorporación de agregado fino reciclado (RFA) en el hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) mejoró sus propiedades mecánicas. El UHPC que incorporó RFA con un tamaño de partícula entre 0-1 mm presentó la mayor resistencia a compresión y tracción uniaxial, superando a las demás muestras que contenían RFA de distintos tamaños y arena de cuarzo (QS) como referencia. Esto se atribuyó al efecto de segunda hidratación de las fases anhidras presentes en el RFA. Además, la incorporación de RFA en el rango de tamaño de 0-1 mm favoreció la optimización de la gradación de los constituyentes sólidos en el UHPC, lo que contribuyó a la densificación de la matriz cementante y la refinación de los microporos. El área de transición interfacial (ITZ) entre el RFA y de la matriz de UHPC mostró una buena adhesión y estaba densamente empaquetada con geles de C-S-H. Estos resultados indican que es posible obtener un UHPC de alta calidad utilizando 100% de RFA mediante una adecuada selección de los ingredientes utilizados.

De acuerdo con Kheirbek et al. (2022), quienes realizaron su trabajo científico, con la finalidad de investigar el efecto de los agregados reciclados (AR) en las características físico-mecánicas del CCR. Se empleó la sinergia del método de diseño de mezclas Dreux-Gorisse y el ensayo Proctor modificad para confeccionar un espécimen de referencia con agregados naturales, acompañado

de tres variantes experimentales, en el que los agregados gruesos eran reemplazados estratégicamente por agregados reciclados en proporciones del 50%, 70% y 100%. Se utilizaron pruebas de absorción de agua y permeabilidad a los gases para evaluar las propiedades físicas del CCR, y para determinar las características mecánicas se emplearon pruebas de compresión, tracción y flexión en 3 puntos. Los hallazgos obtenidos a partir de las pruebas físicas demostraron que tanto la facultad de absorción de agua como la permeabilidad a los gases aumentan proporcionalmente con los porcentajes de sustitución. El resultado de las pruebas mecánicas indicó que la clase de resistencia a la compresión era aproximadamente constante para la totalidad de las combinaciones desarrolladas a la edad de 28 días. Para una proporción de sustitución del 100%, se produjo un deterioro en la fuerza de compresión de tan sólo el 6%. El deterioro de la fuerza de tracción y flexión fue más pronunciado que el de la fuerza de compresión y se situó en torno al 10% para la mezcla con el 100% de áridos reciclados. Se comprobó que la fuerza aumenta con el tiempo y puede estimarse a cualquier edad utilizando los métodos analíticos adoptados en los concretos convencionales hidráulicos. Basándose en los resultados obtenidos, se concluyó que la incorporación de agregados reciclados en una proporción de hasta 50% no genera cambios en las propiedades físico-mecánicas del CCR.

Según Hosseinezhad et al. (2021), en su trabajo de investigación, tuvo el objetivo de investigar las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo (CCR) que incorpora agregado de concreto reciclado (RCA). Se investigó la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por división, la velocidad de impulso y la resistencia al impacto por peso de caída de mezclas

de CCR que contenían RCA. El contenido de cemento de las mezclas de CCR se estableció entre 150, 200 y 250 kg/m³. Adicionalmente a las mezclas de control que no contenían RCA, el 25, 50, 75 y 100 % en peso del agregado de piedra caliza triturada fue reemplazado por RCA. De esta forma, se elaboraron 15 mezclas de CCR. La cantidad de agua de los especímenes de CCR se determinó por el método de densidad máxima. Los hallazgos revelaron que el aumento de la cantidad de agregado reciclado reducía las características mecánicas del concreto. No obstante, hasta un nivel de sustitución del 25%, el agregado reciclado no tuvo un efecto perjudicial relevante sobre las propiedades del CCR. Asimismo, el efecto perjudicial de la sustitución del RCA fue más pronunciado en las mezclas más pobres y se redujo al aumentar el contenido de cemento del CCR de este artículo se puede rescatar que el uso de RCA en la producción de CCR puede ser beneficioso para la sostenibilidad y la reducción de residuos, pero se debe tener en cuenta su impacto en las características mecánicas del concreto y seleccionar la proporción adecuada de RCA en el diseño para garantizar un desempeño mecánico adecuado del concreto.

⁸ Fardin y Santos (2020), en su trabajo de investigación, tuvo como objetivo de investigar las características físicas y mecánicas de las combinaciones de concreto compactado con rodillo (CCR) con diferentes niveles de incorporación de ¹⁸ agregado de concreto reciclado (RCA) como sustituto al agregado grueso natural en las bases de pavimentos. Se empleó la metodología de la máxima densidad seca para la creación de mezclas de CCR tomando como base un diseño de 200 kg/m³. Se fabricaron cuatro mezclas de CCR con diferentes proporciones de incorporación de RCA (0%, 5%, 15% y 30%). Para examinar las características físico-mecánicas de las combinaciones se efectuaron pruebas de

compactación,¹ resistencia a la compresión, tracción por división, tracción por flexión y módulo de elasticidad, porosidad, densidad y absorción de agua. Se utilizó un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) para identificar las influencias del RCA sobre las propiedades mecánicas del CCR. Se evidenció que, conforme se incrementaba la proporción de RCA en las mezclas, ciertas características mecánicas experimentaban una disminución, como el módulo de elasticidad; sin embargo, este efecto no se refleja en la fuerza a la tracción por división, la cual permaneció estable. Tras 28 días de curado, todos los especímenes de CCR lograron superar los 15.0 MPa en resistencia a la compresión,⁸ 1.9 MPa en resistencia a la tracción por división, 2.9 MPa en resistencia a la tracción por flexión y 19.0 GPa en módulo de elasticidad. El uso de RCA en CCR podría ser una alternativa sostenible para reducir la extracción de materiales naturales como agregados y atenuar el impacto medioambiental de la construcción de carreteras.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 ⁹ *Concreto compactado con rodillo*

El CCR para pavimentos es sin duda el avance más relevante en la tecnología de pavimentos de concreto y que aún está evolucionando (Rahmani et al., 2021). El uso del CCR ha hecho posible que innumerables pavimentos nuevos sean económicamente viables gracias a la reducción de costos resultante del rápido método de construcción y a que las calzadas de CCR no requieren dovelas, armaduras de acero ni encofrados (ACI Committee 325, 2014).

ACI Committee 325 (2014), describe al CCR para pavimentos como una mezcla compactada con agregados (tamaño máximo nominal no superior a 19 mm), materiales cementantes y agua, que se coloca en capas con un espesor compactado no mayor a 254 mm, usualmente con una máquina pavimentadora de concreto asfáltico. Posteriormente, se realiza el curado con agua u otros medios para proporcionar una superficie resistente y duradera. En el caso de que el CCR se utilice como capa de rodadura, se suele especificar una resistencia mínima a la compresión de 27,6 MPa (4000 psi).

Así mismo el ACI Committee 325 (2014) indica que los métodos de dosificación y las características de las mezclas de CCR se distinguen de las utilizadas para el concreto tradicional debido a la rigidez relativa del CCR fresco y al empleo de agregados de granulometría atípica.

Las principales diferencias en las proporciones de las mezclas de CCR y de los pavimentos de concreto convencionales son las siguientes:

- El CCR generalmente carece de aire atrapado.
- El CCR presenta un menor contenido de agua.
- El CCR contiene menos pasta.
- Por lo general, el CCR requiere un mayor porcentaje de agregado fino para conseguir un agregado combinado bien graduado y estable bajo la compactación por rodillo vibratorio.
- Usualmente, el CCR se elabora con agregados cuyo tamaño máximo nominal no supera los 19 mm, buscando domar la segregación y obtener una textura superficial lisa.

El CCR tiene aplicación en dos áreas principales de la industria de la construcción para presas y pavimentos de bajo tráfico como pisos industriales, zonas de depósito, estacionamiento de aeronaves, etc. (Rambabu et al., 2023).

2.2.2 Materiales del concreto compactado con rodillo

2.2.2.1 Agregados

Según ACI Committee 325 (2014), los agregados representan del 75 al 85 % del contenido volumétrico de una mezcla de CCR. Elegir los agregados adecuados puede mejorar la economía y la durabilidad de los pavimentos de CCR. Los agregados pueden ser finos [más finos que el tamiz 4,75 mm (n.º 4)] o gruesos, y su calidad debe evaluarse según el estándar de la ASTM C 33. Los agregados gruesos suelen consistir ⁴ en grava, triturada o no, piedra triturada o una mezcla de ambas. Los agregados finos generalmente se encuentran formados por arena natural, industrial o una mezcla de ambas. Aunque la grava no triturada requiere menos agua que la triturada para alcanzar una consistencia dada, puede ser más difícil compactarla.

Para minimizar la segregación, se recomienda un tamaño máximo nominal de agregado práctico igual o inferior de 19 mm. La combinación adecuada de agregados gruesos y finos es esencial para lograr una mezcla bien graduada. Además, el uso de agregados más finos puede reducir los huecos, pero su efecto en las propiedades del CCR debe evaluarse cuidadosamente.

El estándar ACI Committee 325 (2014) ha fijado límites de gradación de agregados que se han utilizado para obtener con satisfacción mezclas de CCR para pavimentos, que figuran en la Tabla 2.

Tabla 2

Límites de graduación global de los agregados para pavimentos de CCR

Tamaño del tamiz N°	mm.	Porcentaje que pasa (%)	
		Límite inferior	Límite superior
1"	25.40	100	100
3/4"	19.05	82	100
1/2"	12.40	72	93
3/8"	9.53	66	85
N° 4	4.75	51	69
N° 8	2.36	38	56
N° 16	1.18	28	46
N° 30	0.60	18	36
N° 50	0.30	11	27
N° 100	0.15	6	18
N° 200	0.08	2	8

Nota. Fuente: ACI Committee 325, 2014

2.2.2.2 Cemento

El CCR puede elaborarse empleando los distintos tipos estándar de cemento Pórtland o cemento hidráulico mezclado, pudiendo también incorporar puzolana o escoria granulada de alto horno (ACI Committee 207, 2011).

En ACI 225R se encuentra una información exhaustiva sobre la selección y uso de cementos hidráulicos, siendo los más utilizados habitualmente en los pavimentos de CCR el ¹ cemento Portland Tipo I o II y las cenizas volantes Clase F o Clase C. La inclusión de cenizas volantes es efectiva para suministrar material de granulometría fina adicional indispensable para alcanzar una compactación óptima, especialmente en mezclas de CCR que contienen agregado fino de concreto de gradación estándar. Por lo general, el contenido de cenizas volantes varía dentro del rango de 15% y el 20% del capacidad completa de material cementante (ACI Committee 325, 2014).

2.2.2.3 ²⁸ Agua

Los estándares de calidad del agua aplicable al pavimento de CCR son equivalentes a los requisitos establecidos ¹⁹ para el concreto tradicional. De acuerdo con la ASTM C1602/C1602M-22 (2022), se permite el uso de agua potable y no potable, e incluye agua de lote, hielo, agua añadida durante el transporte, y agua en los agregados y aditivos. Se controlan la f'c, el tiempo de fraguado y la densidad del agua, con límites opcionales para cloruro, sulfato, álcalis y sólidos totales.

2.2.3 Dosificación de mezclas del CCR

Según establece el estándar del ACI Committee 325 (2014), se han empleado diversos métodos para la dosificación de las ¹ mezclas de pavimento de CCR, los cuales se pueden clasificar en 02 grupos:

⁴ 2.2.3.1 Dosificación basada en pruebas de consistencia del concreto

Este método implica ajustar la mezcla de CCR para lograr una consistencia adecuada y el nivel de resistencia requerido, utilizando un dispositivo como el Vebe (ACI Committee 211, 2002). Este dispositivo fue adaptado por el equipo de especialistas en colaboración con la entidad de recuperación para su uso con el CCR. Consiste en una mesa vibratoria con un contenedor metálico adherido, donde se coloca una muestra representativa de CCR bajo una sobrecarga específica de 13.30 o 22.7 kg. La consistencia se determina por el tiempo de vibración necesario para la consolidación completa del concreto. Para aplicaciones de pavimento, los tiempos Vebe mejorados bajo sobrecarga de 22.70 kg., de 30 a 40 segundos son más adecuados. El tiempo Vebe debe compararse con los resultados de ensayos de compactación in situ para determinar si se necesitan modificaciones en las cantidades de la mezcla.

Elementos como la porción de agua, el cemento, ¹IMN del agregado, cantidad de agregado fino y cantidad de agregado muy fino que atraviesa la malla del tamiz N° 200 influyen en el tiempo Vebe modificado óptimo. Es importante seleccionar la relación adecuada entre el volumen libre de aire de la pasta y del mortero para garantizar la compatibilidad de la mezcla y la textura superficial del pavimento (ACI Committee 325, 2014).

⁴2.2.3.2 Dosificación basada en pruebas de compactación del suelo

A fin de preparar la mezcla con este método, primero se relaciona ⁴el peso unitario seco o húmedo y la cantidad de agua que contiene el CCR. Para esto, se compactan muestras con diferentes niveles de humedad, parecido a cómo se hace con suelos y mezclas de suelo y agregado. Se emplean equipos y esfuerzos de compactación descritos en ASTM D 1557, Método D. La cantidad de material cementante se fija según la resistencia y durabilidad que necesita el pavimento, expresado generalmente ³³como un porcentaje del peso seco total de los materiales (cemento y agregado). En las mezclas de CCR para pavimento, este porcentaje suele estar entre el 10 % y el 17 %. El agregado grueso y fino se unen para obtener una mezcla óptimamente graduada. El contenido óptimo de humedad es aquel que permite alcanzar la mayor densidad posible, y se determina según ¹¹las propiedades de los agregados y la cantidad de cemento en la mezcla. Se realizan pruebas de humedad-densidad para establecer curvas que determinen el contenido mínimo de material cementante para cumplir con los requisitos de diseño. Luego, se compactan probetas de ensayo de ³³resistencia con el contenido óptimo de humedad para cada contenido específico de material cementante. A partir de estos ensayos, se define una gráfica de resistencia en función de la cantidad de material cementante (o relación agua-material

cementante) para seleccionar el contenido adecuado de materiales cementantes que se desee (ACI Committee 325, 2014).

2.2.4 Propiedades mecánicas del CCR

2.2.4.1 Resistencia a la compresión

La capacidad del concreto para resistir cargas axiales se efectúa según ASTM C39/C39M. La f'_c es clave en el control de calidad, por lo que la selección de materias primas debe ser cuidadosamente considerada en el diseño de la mezcla. Durante la fase de construcción, los ensayos de resistencia a la compresión se usan para corroborar las características de diseño, evaluar la variabilidad de la mezcla y con fines de historial. Los testigos obtenidos según ASTM C42/C42M, pueden emplearse para determinar el comportamiento a largo plazo (ACI Committee 207, 2011).

La incorporación del RCA podría reducir la resistencia a compresión de las mezclas de CCR. Se ha observado que la inclusión de RCA reduce la resistencia a la compresión del CCR entre un 5 y un 35%, aunque depende la proporción de RCA que se utilice (Fardin y Santos, 2020). Se recomienda realizar un método de tratamiento al RCA para eliminar el mortero adherido antiguo alrededor de la periferia del mismo (Selvam et al., 2022).

2.2.4.2 Resistencia a flexión

Son varios los parámetros que afectan al comportamiento a flexión de los pavimentos de CCR: pero los más importantes son la proporción de agua en función con el cemento y el uso de agregado reciclado (RCA). Así como sucede con la resistencia a la compresión, la inclusión de RCA en la composición provoca también una disminución de la MR (Fardin & Santos, 2020). Se

recomienda realizar un método de tratamiento para reducir la porosidad del RCA (Selvam et al., 2022).

Existen correlaciones establecidas entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del CCR, las cuales se pueden obtener mediante ecuaciones semiempíricas. Además, se mencionan los modelos del ACI y el modelo de Ouellet (modelo francés), los cuales también se utilizan para realizar esta correlación, cada uno con sus propias constantes. Estos modelos se emplean para validar los resultados experimentales obtenidos en la investigación, proporcionando un fundamento sólido a la estimación del módulo de rotura del CCR. La validación de estos modelos es un paso crucial para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados en el diseño del pavimento de CCR (Brotman et al., 2007).

2.2.5 Agregado de concreto reciclado

Hoy en día, el agregado de concreto reciclado (RCA), nacido de la transformación de escombros de construcción y demolición mediante trituración, se destaca como el principal material de reciclaje empleado en la industria del concreto. Dicha práctica ha sido reconocida como una estrategia sostenible para fomentar la economía circular, mostrando su potencial especialmente en la construcción de pavimentos. Sin embargo, la composición del RCA, que abarca desde mortero hasta diversos materiales agregados como escoria y piedras trituradas, presenta dificultades debido a la presencia inevitable de otros materiales no deseados en las estructuras de concreto de las que se extrae. Estos materiales indeseables son rocas, ladrillos, cerámica, yeso, etc. (Ardalan et al., 2020; Ravindra K Dhir y Chao Qun Lye, 2019).

El proceso para obtener RCA implica una serie de etapas fundamentales:

- a) Recolección de residuos
- b) Separación y clasificación
- c) Trituración
- d) Selección del tamaño y forma
- e) Eliminación de materiales no deseados
- f) Evaluación de la calidad
- g) Mejora (opcional)
- h) Aplicación en construcción

Estos procedimientos aseguran que el RCA obtenido sea de alta calidad y pueda ser empleado de manera efectiva en proyectos de construcción, contribuyendo así a la sostenibilidad y la reducción de residuos en la industria de la construcción (Fanijo et al., 2023).

2.2.6 Características del RCA

2.2.6.1 Tamaño de partícula

Es la magnitud de las partículas de agregado, que puede variar desde partículas finas hasta gruesas, y que influye en las características del concreto. Es recomendable que el tamaño de los agregados sea lo más grande posible, ya que una mayor dimensión de las partículas suele estar asociada a una mayor resistencia del agregado. Esto, a su vez, ayuda a reforzar la resistencia mecánica del concreto. Solo las regulaciones KS F2573 y BS 8500-2 consideran el tamaño máximo del grano, con valores similares para el RCA de 25 a 20 mm en la normativa coreana y 20 mm en la británica. (Martín-Morales et al., 2013).

2.2.6.2 Forma y textura de las partículas

El RCA exhibe una apariencia áspera, porosa y angulosa, derivado del triturado del concreto antiguo y de la unión de pasta/mortero de cemento

endurecido a las superficies del agregado grueso original. Por lo general, las partículas de RCA retienen entre un 30% y un 60% de pasta/mortero de cemento antiguo, cuya cantidad depende del tamaño del agregado. Las fracciones más pequeñas del agregado grueso tienden a retener una mayor porción de pasta/mortero de cemento antiguo. Aunque las partículas de RCA tienen una forma similar a la roca triturada, la variación en el equipo utilizado para la trituración afecta la gradación y otras características y propiedades del concreto (Selvam et al., 2022).

2.2.6.3 Granulometría

La manera en que se produce el RCA y el tipo de trituradora usada tienen un gran impacto en su forma y tamaño. El contenido de grava suele oscilar entre el 60% y el 90% del total de RCA producido y está influenciado por el tamaño máximo de la grava y la constitución del CCR original. Las curvas de gradación del RCA son similares a las del agregado natural, sugiriendo que su gradación es aceptable según los estándares aplicables (Fanijo et al., 2023).

2.2.6.4 Densidad

El mortero que se adhiere al RCA es menos denso que el agregado natural del mismo tamaño, lo que conduce a una reducción en la densidad del RCA (Fanijo et al., 2023).

Safiuddin et al., (2013) indican que la densidad del RCA generalmente varía entre 2100 y 2500 kg/m³.

2.2.6.5 Absorción

La capacidad de absorción del RCA suele ser mayor que la de los agregados naturales debido a diversos factores, como la existencia de pasta

cementicia adherida y material cerámico, lo que afecta tanto la densidad del concreto como su comportamiento. Los coeficientes de absorción varían según el tipo de agregado. Para el RCA la absorción va oscilando entre 4 y un 10 %, mientras que para los agregados naturales varían entre 1 a 2% (Fanijo et al., 2023; Selvam et al., 2022).

2.2.7 Tamaño de partícula del RCA

En esta investigación, al hablar del tamaño máximo del RCA nos referimos al tamiz más grande de la serie granulométrica a través del cual atraviesa el 100% de la muestra del RCA. Es decir, es el límite superior del tamaño de partícula presente en el material, representando la partícula más grande del agregado reciclado.

Por otro lado, el tamaño máximo nominal es un poco más específico: es el tamiz más fino dentro de la serie granulométrica que retiene más del 5% del material, es decir, el tamiz donde se concentra una fracción significativa del RCA. Este tamaño nos dice cuál es la "talla" predominante que afecta de forma directa la forma en que las partículas se distribuyen, se acomodan y trabajan juntas dentro del CCR.

Para lograr un CCR fuerte y duradero, es fundamental controlar estos dos tamaños. En este estudio, analizamos mezclas de RCA con tamaños máximos comprendidos entre 10 mm hasta 20 mm, y tamaños máximos nominales que oscilan entre aproximadamente 4.75, 9.5 y 12.4 mm. Estos tamaños nos permiten entender y controlar la granulometría para optimizar la resistencia y la compactación del CCR.

Tabla 3

Tamaños de partículas del RCA por granulometría.

TAMAÑO DE RCA	RCA 4.75-10 (mm)	RCA 4.75-15 (mm)	RCA 4.75-20 (mm)
TM	9.53	12.40	19.05
TMN	4.75	9.53	12.40

Nota. TM: tamaño máximo por el que pasa toda la muestra. TMN: menor tamiz que retiene más del 5% del material.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Concreto compactado con rodillo

ACI 116 (como se citó en Adaska, 2006) define al CCR; como concreto ¹⁰ que en su estado no endurecido soportará un rodillo mientras es compactado.

2.3.2 Agregado de concreto reciclado

De acuerdo con Awoyera et al. (2021), el RCA es, por lo general, un ²⁰ concreto proveniente de desechos de la construcción y demolición que reemplaza parcial o totalmente a los agregados naturales convencionales.

2.3.3 Cemento Portland

"Es un aglutinante hidráulico constituido por clínker de cemento Portland, entre un 0 y un 5% de piedra caliza o escoria granulada de alto horno y una cantidad limitada de yeso" (Zhang, 2011, p. 47).

2.3.4 Resistencia a la compresión (f'_c)

"La capacidad máxima que puede soportar una probeta ⁴ de concreto o mortero ante una carga de compresión axial, representada como la fuerza aplicada por unidad de área de su sección transversal, o bien, la resistencia de

diseño empleada en los cálculos estructurales" (ACI Committee 116, 2002, p. 58).

2.3.5 ¹⁷ Módulo de rotura (MR)

El esfuerzo máximo a flexión se denomina módulo de rotura. Según ACI Committee 116 (1985), define al MR como:

¹⁰ Medida de la capacidad de carga última de una viga, algunas veces llamado módulo de ruptura o resistencia a la rotura. Se calcula para la tensión de tracción aparente en la fibra extrema de una probeta de ensayo transversal bajo la carga que produce rotura. (p. 70).

² CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño de investigación

El diseño experimental tiene dos significados distintos. En términos amplios, implica ejecutar una acción y analizar sus efectos, abarcando desde tareas básicas hasta procesos sofisticados con múltiples variables. Por otro lado, en un contexto científico, un experimento implica manipular variables independientes con el fin de analizar cómo afectan a variables dependientes en una situación controlada

⁴⁸ De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), en estudios con diseño experimental y muestras reducidas, cuando se cuenta con un control riguroso de variables y las diferencias entre grupos son notoriamente consistentes, es posible sustentar conclusiones mediante análisis descriptivo sin requerir necesariamente pruebas estadísticas inferenciales.

³ Este estudio adoptó un diseño cuasi-experimental porque, aunque el tamaño de partícula del RCA (variable independiente) fue manipulado intencionalmente, no fue posible realizar una asignación aleatoria de los grupos experimentales. La finalidad era estudiar el efecto de dicha variable sobre las

características mecánicas del CCR (variable dependiente) en un entorno semicontrolado.

46

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada porque busca resolver un problema real y concreto dentro de la ingeniería civil: optimizar el uso de agregados reciclados en el concreto compactado con rodillo para mejorar sus propiedades mecánicas. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada se caracteriza por su enfoque práctico y científico, orientado a la solución de problemas específicos que contribuyen a mejorar procesos, productos o técnicas en contextos reales.

En este estudio, al emplear un diseño experimental que manipula el tamaño de partícula del RCA para evaluar su efecto en el desempeño del CCR, se busca precisamente ese impacto directo en la práctica profesional, combinando rigor científico con utilidad concreta.

3.3 Enfoque de investigación

La investigación siguió un enfoque cuantitativo, proporcionando un análisis preciso y objetivo sobre cómo el tamaño de partícula del RCA impactaba en las propiedades mecánicas del CCR. Este enfoque se fundamentó en la medición precisa de variables, el uso de estándares internacionales (ASTM, AASHTO y NTP) y el control riguroso de condiciones experimentales para minimizar la incertidumbre y garantizar la validez de los resultados.

Por medio de un examen detallado de la bibliografía y los marcos teóricos vigentes, se establecieron hipótesis claras que se sometieron a prueba mediante diseños cuasi-experimentales, con el objetivo de generar datos cuantificables y

replicables que contribuyeran a fortalecer el conocimiento sobre la sostenibilidad en materiales de construcción y su aplicación práctica (Creswell, John W., 2014)

3.4 Nivel de investigación

Para Hernández Sampieri ³⁴ et al. (2014), "Los estudios explicativos pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian" (p. 95).

Basándonos en este concepto, pudimos inferir que el alcance de esta investigación fue principalmente explicativo, esto se debió a que el objetivo fue determinar las causas de cómo el tamaño de partícula del RCA afectaba las características mecánicas del CCR. En este sentido, se buscó generar un entendimiento más profundo sobre la relación entre estas variables y establecer si existía un vínculo de causa y efecto ²⁰ entre el tamaño de partícula del agregado y las características mecánicas del concreto reciclado.

3.5 Técnicas e instrumento

3.5.1 Técnicas

Se aplicó la técnica de observación para estudiar cómo el tamaño de las partículas del RCA afectaba las características mecánicas del CCR. Esto incluyó definir categorías, realizar ensayos mecánicos en laboratorio con diferentes tamaños de partículas, y analizar sistemáticamente los resultados para validar las hipótesis planteadas.

En esta investigación se emplearon normativas internacionales, como ASTM y ACI, junto con normas locales peruanas como MTC y NTP. Estas normativas guiaron la realización de ensayos estandarizados tanto física como mecánicamente. Además, se recurrió a literatura especializada (antecedentes

científicos) para fundamentar ⁵⁷ el diseño experimental y la interpretación de los datos; garantizando así la confiabilidad y validez de la investigación.

3.5.2 Instrumentos de investigación

- Fichas técnicas
- Formatos de laboratorio para los ensayos
- Hojas de calculo
- Cuadernos de campo

3.6 Población y muestra

3.6.1 Población

³ En esta investigación, la población fue todas las posibles combinaciones del ²² agregado grueso y fino de concreto reciclado ²² que podrían haber sido utilizadas en la producción del CCR. Esto incluyó todos los diferentes tamaños de partícula del ²² agregado grueso y fino de concreto reciclado ²² que podrían haber estado disponibles para su uso en la fabricación del CCR.

3.6.2 Muestra

La muestra fue determinada por procedimiento no probabilístico a conveniencia del investigador. Estuvo conformada por cuatro grupos de RCA grueso, obtenidos a partir de la trituración, lavado y tamizado de concreto residual proveniente de la demolición ² del pavimento rígido en la Av. Circunvalación Este, en la ciudad de Juliaca. El concreto original presentó ³ una resistencia a la compresión de 210 kg/cm².

Los tamaños de partícula considerados fueron de 4.75 mm a 10 mm, 4.75 mm a 15 mm, 4.75 mm a 20 mm y de 0 mm a 20 mm, los cuales se emplearon

para el diseño y producción del CCR. Estos grupos de agregado reciclado se seleccionaron con el objetivo de comparar las características mecánicas frente a un grupo de control que utilizó agregado natural. Los grupos con tamaños de partícula de 4.75 mm a 10 mm, 4.75 mm a 15 mm y 4.75 mm a 20 mm reemplazaron el agregado grueso natural en un 50%, mientras que el grupo de 0 mm a 20 mm sustituyó tanto el agregado grueso como el fino en un 100%.

62

3.7 Procedimiento de recolección de datos

3.7.1 Origen de recolección de datos

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto – Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - UANCV, sede central (salida a Puno). En este espacio se implementó el proceso de elaboración de especímenes de CCR para cada tamaño de partícula del RCA, incluyendo un grupo de control.

Los AN fueron extraídos de la cantera "Isla" en la ciudad de Juliaca, mientras que los RCA se obtuvieron mediante la trituración, lavado y tamizado de concreto residual procedente de la demolición del pavimento rígido en la Av. Circunvalación Este, en la ciudad de Juliaca. Posteriormente, se realizaron ensayos para caracterizar física y mecánicamente ambos tipos de agregados.

3.7.2 Caracterización de los agregados

Se determinó de la valoración de las particularidades físicas del agregado fino, grueso y RCA grueso, usados en la mezcla del CCR. Las pruebas se realizaron siguiendo normas específicas (MTC, NTP, ACI, ASTM).

A lo largo de esta sección se describen detalladamente cada uno de ellos:

3.7.2.1 Análisis granulométrico

Se denominó granulometría a la clasificación de partículas de un material granular (fino o grueso) en distintos tamaños, expresados como porcentajes acumulativos o porcentajes dentro de ciertos intervalos de tamaño definidos por dichos tamices. El resultado del análisis granulométrico se interpretó a través de gráficas granulométricas. Así mismo, proporcionó parámetros, como el tamaño máximo de las partículas y el módulo de finura, elementos esenciales que actuaron como brújula en el diseño de cualquier mezcla de concreto (ASTM C136/C136M-19, 2020).

Las técnicas utilizadas en este análisis siguieron con precisión las pautas establecidas en las normas ASTM C136/C136M y MTC E 204, garantizando rigor y confiabilidad en los resultados.

Para determinar el módulo de finura de los agregados, se sumaron los porcentajes acumulados de material retenido en los tamices, desde el No. 100 hasta los de 37.5 mm y mayores, organizados en una progresión donde cada abertura fue aproximadamente el doble de la anterior. Finalmente, el valor obtenido se dividió entre 100, proporcionando un índice que permitió evaluar la granulometría del material con exactitud.

$$MF = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulados de tamices específicos}}{100}$$

3.7.2.2 Tamaño máximo y tamaño máximo nominal

Según las normativas NTP 400.037 y ASTM C33/C33M, el TM se refiere al tamaño del último tamiz donde no queda retenido ningún material, lo que significa que el 100 % del agregado pasa a través de este tamiz durante el análisis granulométrico. Por otro lado, el TMN indica el tamaño del menor tamiz de la serie utilizada en el análisis que retiene entre el 5 % y el 10 % del material.

3.7.2.3 Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura

Son parámetros fundamentales para evaluar la escala de tamaños de partículas en un agregado o material granular. Según la norma ASTM D2487, estos coeficientes son esenciales para clasificar suelos y agregados en función de su gradación y comportamiento en aplicaciones de construcción.

- **Coeficiente de Uniformidad (Cu):** El Cu nos indica qué tan uniforme es la distribución de los tamaños de partículas en un material. Cuanto más grande sea el Cu, mayor es la diferencia entre el tamaño de las partículas grandes y las pequeñas, lo que generalmente es bueno para la compactación.

Si $Cu > 4$, el material es bien graduado (tiene una variedad de tamaños de partículas, lo que mejora la compactación).

Si $Cu < 4$, el material es uniforme o mal graduado (las partículas tienen tamaños similares, lo que reduce la compactación).

- **Coeficiente de Curvatura (Cc):** El Cc mide la forma de la curva granulométrica, es decir, cómo están distribuidas las partículas de diferentes tamaños. Este coeficiente también ayuda a evaluar si el material tiene una buena gradación para la compactación.

Si $1 < Cc < 3$, el material tiene una gradación eficiente (distribución adecuada de partículas de diferentes tamaños, lo que favorece una buena compactación).

Si $Cc < 1$ o $Cc > 3$, el material tiene una gradación deficiente, lo que puede dificultar la compactación y afectar la resistencia.

Las fórmulas utilizadas para su cálculo son las siguientes:

- Coeficiente de uniformidad:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- Coeficiente de curvatura:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

D₁₀: Es el tamaño de la partícula en el cual el 10% de las partículas son más pequeñas.

D₃₀: Es el tamaño de la partícula en el cual el 30% de las partículas son más pequeñas.

D₆₀: Es el tamaño de la partícula en el cual el 60% de las partículas son más pequeñas.

3.7.2.4 Peso unitario

Este ensayo sigue ¹ las normas NTP 400.017 y ASTM C 29 y se encarga de medir el peso unitario del agregado en dos estados: suelto y compactado. Esto permite conocer cómo se acomoda el material en un recipiente, ya sea en su estado natural sin compactar o cuando se asienta con vibración o golpes, información clave para el diseño de mezclas de concreto:

- **Peso Unitario Seco Suelto:** Representa la proporción entre la masa del agregado en su forma más libre y el volumen del recipiente que lo alberga. El agregado se deposita concéntricamente en el molde, manteniéndolo lo más suelto posible (ASTM C29/C29M-23, 2023).
- **Peso Unitario Seco Compactado:** Expresa asociación entre la masa del agregado una vez compactado y el volumen del recipiente que lo alberga. En este caso, el agregado se deposita en

el molde en tres capas sucesivas, asegurando una compactación uniforme mediante 25 golpes con una varilla normada en cada nivel (ASTM C29/C29M-23, 2023).

Las fórmulas utilizadas para su cálculo son:

- 1 **Peso específico del agua:**

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

- **Coeficiente del recipiente:**

$$F = \frac{Pe}{W - T}$$

- **Peso unitario:**

$$PU = (G - T) \times F$$

Donde:

1 **A: Peso de la fiola con agua (g)**

B: Peso de la fiola vacía (g)

C: Volumen de la fiola (cm³)

Pe: Peso específico del agua (kg/m³)

W: Peso del recipiente lleno de agua (g)

T: Peso del recipiente vacío (g)

F: Coeficiente del recipiente (1/m³)

G: Peso del recipiente con agregado (g)

3.7.2.5 Peso específico y absorción

Las pruebas para la grava se llevaron a cabo con precisión milimétrica, guiadas por los estándares MTC E 206 y ASTM C 127. Por otro lado, el análisis

del agregado fino siguió fielmente los lineamientos de las normativas MTC E 205 y ASTM C 128, garantizando rigor y confiabilidad en cada medición. Estas normas definieron:

- **Peso Específico de Masa (Pe):** Vínculo entre la masa contenida en una unidad de volumen de un material poroso, considerando sus intrincados espacios vacíos, y la masa equivalente de agua destilada libre de impurezas, mantenida a una temperatura invariable (ASTM C128-22, s. f.).
- **Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (Pe_{ssa}):** Similar al peso específico de masa, pero incluyendo el agua en los poros permeables (ASTM C128-22, s. f.).
- **Peso Específico Aparente (Pe_a):** Vínculo de la masa de un volumen unitario de material y la masa de un volumen igual de agua destilada sin gas, considerando solo la porción impermeable del material (ASTM C128-22, s. f.).
- **Absorción:** Habilidad del agregado para retener agua, medida a través del aumento de su peso tras permanecer 24 horas sumergido y luego ser secado hasta eliminar el exceso de humedad superficial (ASTM C128-22, s. f.).

Para el cálculo se emplearon las siguientes formulas:

A. Cálculos para el agregado grueso

- **Peso específico de masa:**

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

- **Peso específico de masa saturada con superficie seca:**

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

- **Peso específico aparente:**

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

- **Absorción:**

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

Donde:

A: *Peso de la muestra secada al horno (g)*

B: *Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)*

C: *Peso en el agua de la muestra saturada (g)*

B. Cálculos para el agregado fino

- **Peso específico de masa:**

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

- **Peso específico de masa saturada con superficie seca:**

$$PeSSS = \frac{500}{V - Va}$$

- **Peso específico aparente:**

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

- **Absorción:**

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

Donde:

w: *Peso en el aire de la muestra secada al horno (g)*

V: *Volumen de la fiola (cm³)*

Va: *Volumen del agua añadida a la fiola (cm³)*

3.7.2.6 Contenido de Humedad

El exceso de humedad y la capacidad de absorción de los agregados fueron fundamentales para calcular la cantidad exacta de agua necesaria en la mezcla de concreto (ASTM C566-19, 2019). El proceso fue ejecutado con precisión, siguiendo al pie de la letra los dictámenes de las normativas MTC E 215 y ASTM C566.

Para el cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$w (\%) = \frac{(W - D)}{D} \times 100\%$$

Donde:

w (%): Porcentaje de humedad (%)

W : Peso de la muestra húmeda (g)

D : Peso de la muestra seca (g)

3.7.3 Dosificación del CCR por el método de compactación de suelos

Para definir la dosificación del CCR en este estudio, se empleó el método de compactación de suelos según las directrices establecidas en las normativas ACI 325.10R-95 y ACI 211.3R-02. Siguiendo los pasos:

3.7.3.1 Selección de la combinación bien gradada de agregados

Se determinaron los porcentajes de agregados para lograr una granulometría por continuo según la verificación de los límites granulométricos para pavimentos de CCR conforme al ACI 325.10R-95, descritos en la tabla 2.

3.7.3.2 Selección del material cementante

Para esta investigación se seleccionó el cemento Rumi Portland tipo I debido a su uso general y la falta de restricciones o requisitos especiales,

cumpliendo con la norma NTP 334.009. En este enfoque, la presencia ¹ del cemento se manifiesta como un porcentaje calculada en función del peso seco que ostentan los agregados, determinando así su proporción dentro de la mezcla (ACI Committee 325, 2014). Basado en pruebas preliminares, se empleó un contenido de cemento equivalente al 14 % respecto a la masa seca total de los agregados, considerando ³⁹ un peso específico del cemento de 3.10 g/cm³.

⁷ 3.7.3.3 Determinación del contenido óptimo de humedad

Para hallar el punto ideal de humedad a través de la correlación entre humedad y densidad, se llevó a cabo un experimento de compactación Proctor Modificado, acatando los lineamientos de la norma ASTM D1557, método C (ACI Committee 325, 2014). La prueba se efectuó preparando cuatro probetas, cada una de ellas compuesta por la misma dosificación ¹ de agregados y cemento (14 % del peso seco de los agregados). La variable fue el porcentaje de agua, el cual se incrementó de forma gradual en cada muestra. Posteriormente, se trazó una curva que mostró ² la relación entre la densidad seca y el contenido de humedad. El punto máximo de esta curva definió el contenido de humedad óptimo. El resultado arrojó ¹ una densidad seca máxima de 2,013 g/cm³ y un porcentaje de humedad óptimo de 6,40 %.

⁴ 3.7.3.4 Proporción de los componentes de la mezcla

La proporción de los especímenes siguió meticulosamente los lineamientos trazados por las normativas ACI 325.10R-95 y ACI 211.3R-02. El peso final de la mezcla, tras ser compactada en su estado óptimo de humedad y con la proporción adecuada de material cementante, se determinó considerando la participación de cada componente dentro del volumen del molde. Este valor fue luego escalado a 1 m³ mediante los principios de la norma ACI 211.3R,

ajustándolo con precisión para reflejar las influencias del contenido de aire y humedad. Todo el procedimiento se llevó a cabo siguiendo las fórmulas descritas por Escalaya (2006).

$$P = P_w + P_s + P_c$$

Donde:

P: Peso total de la mezcla (en el molde de volumen *V*) después de la compactación.

P_w: Peso del agua

P_s: Peso seco de los agregados

P_c: Peso del material cementante

El contenido óptimo de humedad, calculado en relación con la masa total de los sólidos, se expresa mediante:

$$w = \frac{P_w}{P_s + P_c}$$

Además, la masa del material cementante (*P_c*) se determina para la dosificación como un porcentaje respecto a la masa seca del agregado.

$$P_c = \frac{n}{100} \times P_s$$

Resolviendo las dos ecuaciones anteriormente indicadas, se determina la parte proporcional en peso de cada elemento presente en el volumen *V* del molde Proctor. Posteriormente, estas proporciones deben extrapolarse a un volumen estándar de 1 m³.

A fin de hacer la conversión a volúmenes absolutos, se aplica el protocolo descrito en la directriz ACI 211.3R, utilizando los pesos máxicos específicos de

los componentes; el peso se divide por el peso másico específico, obteniéndose la unidad en m³ de cada componente.

Se asumió un contenido de aire atrapado por m³ en función del TMN del agregado grueso. En esta investigación, se consideró un 2 % de aire atrapado para agregados de 3/4". Estos valores fueron utilizados en cada tipo de diseño de mezcla y se basan en las recomendaciones establecidas en el ACI 211.3R.

$$V_{total\ sin\ aire} (1m^3) = 1 - 0.020 = 0.980m^3$$

Para obtener la dosificación correspondiente a 1 m³ de concreto, se debe multiplicar el volumen de cada componente por un factor de corrección F.

$$F = \frac{V_{total\ sin\ aire} (1m^3)}{\sum V_{cada\ material}}$$

$$F = \frac{0.980}{\sum V_{cada\ material}}$$

Se calculan las cantidades de materiales, en volumen y peso, necesarias para 1 m³ de concreto compactado. Estas cantidades corresponden a una condición seca idealizada, por lo que deben ajustarse considerando el contenido de humedad real de los materiales.

3.7.4 Elaboración de especímenes

El proceso de elaboración de especímenes de CCR siguió una secuencia de técnicas descritas en la norma ASTM C1435/C1435M-20:

3.7.4.1 Compactación mecánica y herramientas

Según Gurreonero Díaz (2020), la compactación se simula utilizando un martillo Proctor, aplicando 38 golpes en 3 capas para cilindros y 496 golpes en 3 capas para vigas, teniendo en cuenta tanto la fragmentación de las partículas

como la energía aplicada. De manera similar, Carrión Vivar & Masapanta Delgado (2018); emplearon un martillo HILTI TE 805, generalmente utilizado para demoler roca y concreto, adaptado para compactar especímenes con un tiempo de compactación adecuado para lograr la densidad seca máxima.

Esta investigación se realizó siguiendo la norma ASTM C1435M, que emplea un martillo vibratorio para compactar ⁴¹especímenes.

Para la creación de los especímenes de CCR, se utilizaron herramientas especializadas que garantizan una compactación eficiente y precisa:

El rotomartillo industrial fue de marca y modelo TOTAL TH1163855, con un peso de 10.20 kg, potencia de 1600 W y capacidad de 3850 golpes por minuto, cumple con la norma ASTM C1435M y fue clave en la compactación tanto de cilindros como de viguetas.

Figura 1

Rotomartillo Industrial TOTAL TH1163855.



Se emplearon placas de compactación una circular para cilindros y otra cuadrangular de 15x15 cm para viguetas como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Placas de compactación para viguetas y cilindros.



Los moldes cilíndricos mostrados en la Figura 3, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, y los moldes prismáticos de la Figura 4, con una sección de 15 x 15 cm y una longitud de 50 cm, ambos fabricados en acero, brindaron la estabilidad necesaria durante el proceso de compactación. Estas herramientas garantizaron la obtención de especímenes que cumplieran con los requisitos normativos y de calidad.

Figura 3

Molde prismático de acero.



Figura 4

Molde cilíndrico de acero.



3.7.4.2 Definición de la cantidad de capas y duración de la compactación

Según la norma ASTM C1435/C1435M-20, el material debe distribuirse en 03 capas, cada una pesando aproximadamente 4.5 kg. La compactación no es solo cuestión de golpear por golpear, sino de ejercer presión hasta que aparezca un sutil anillo de mortero o la superficie luzca bien apretada y cohesionada durante al menos 20 segundos. De acuerdo con Huamaní, (2016) para simplificar, existe un enfoque más técnico y conservador que consiste en calcular el tiempo de compactación a partir de la energía aplicada, obteniendo así un valor de referencia preciso y bien fundamentado.

Para el cálculo se emplearon las siguientes formulas:

- Energía de compactación

$$EC = \frac{N \times n \times W \times H}{V}$$

Donde:

N = Cantidad de golpes por capa

$n =$ Cantidad de capas

$W =$ Peso del martillo

$H =$ Altura de caída del martillo

$V =$ Volumen del molde

- Número de golpes por capa

$$N = Nixt$$

Donde:

$Ni =$ Numero de impactos por segundo del martillo

$t =$ Tiempo de compactación por capa

- Tiempo de compactación

$$t = \frac{ECxV}{NixnxWxH}$$

El proceso arrancó con la evaluación de la energía de compactación producida por el rotomartillo, el cual posee un peso de $W = 10.20$ kg, considerando una altura de $h = 45.70$ cm. Durante la compactación, la herramienta consolidó el material dentro de un molde de $V = 5509.08$ cm³ (dimensiones exactas del molde cilíndrico radio 7.60 cm y altura de 30.36 cm), aplicando $N = 56$ golpes por capa, en un total de $n = 5$ capas. Como resultado, se alcanzó una energía de compactación de $E = 2323407.68$ N-m/m³.

A continuación, se determinó el tiempo requerido para compactar cada capa del molde cilíndrico. Para ello, se utilizó el rotomartillo industrial TOTAL, certificado bajo la norma ASTM C 1435M, operando con un peso de $W = 100.03$ N, considerando una altura de caída de $h = 0.05$ m y una potencia de 3850 golpes/min, lo que equivale a una intensidad $Ni = 64.17$ golpes/seg.

$$t = \frac{2323407.68 \frac{Nm}{m^3} \times 5509.08 \times 10^{-6} m^3}{64.17 \frac{golpes}{seg} \times 3 capas \times 100.03 N \times 0.05 m} = 13.29 seg \approx 13 seg$$

El tiempo de compactación obtenido de 13 segundos se encuentra dentro de un rango adecuado según la literatura y cumple con la norma ASTM C1435M, que establece que la compactación debe realizarse en tres capas, asegurando que la mezcla alcance la formación del anillo de mortero alrededor de la placa de apisonamiento en especímenes cilíndricos.

Si bien Huamani (2016) reportó 5 segundos, Ruelas (2010) señala que este tiempo no es suficiente para alcanzar el 98% de la densidad máxima, sugiriendo valores entre 15 y 50 segundos. Dado que la norma fija un límite de 20 segundos por capa para evitar una compactación excesiva que afecte la estructura del material, los 13 segundos calculados representan un punto intermedio que respeta la normativa.

Siguiendo las directrices de la ASTM C1435M, se recomendó realizar pruebas experimentales observando la formación del anillo de mortero y ajustando el tiempo de compactación si es necesario, garantizando así una densidad óptima sin comprometer la calidad del CCR.

3.7.4.3 Fabricación de cilindros para ensayos de resistencia a compresión

Las mezclas de prueba se prepararon manualmente, controlando rigurosamente el contenido de humedad. Los moldes cilíndricos se compactaron en 3 capas con un rotomartillo vibratorio, variando el tiempo por capa según el tipo de agregado (16-20 segundos para agregados naturales y 13-20 segundos para reciclados). La capa final se niveló utilizando una barra de acero. Tras 24

horas, los especímenes se desencofraron y se curaron sumergiéndolos en agua para su conservación.

3.7.4.4 Fabricación de viguetas para ensayos de resistencia a la flexión o módulo de ruptura

Para determinar el módulo de rotura no cuenta con un protocolo estandarizado, lo que implica la ausencia de un método absoluto. Ante esta situación, fue necesario adaptar los procedimientos de compactación de briquetas establecidos en la norma ASTM C1435 para aplicarlos a la compactación de viguetas.

El proceso de elaboración de las viguetas siguió la misma lógica utilizada en las briquetas, pero con una distribución uniforme de la compactación a lo largo de todo el molde. Para lograr esto, se empleó una placa cuadrangular 15x15 cm, posicionándola inicialmente en un tercio de la longitud del molde y aplicando compactación durante 13 a 20 segundos, repitiendo el procedimiento en los dos tercios restantes hasta completar toda la longitud del espécimen.

3.7.5 Caracterización de las propiedades mecánicas del CCR

3.7.5.1 Resistencia a compresión

La capacidad de soportar carga a compresión en cilindros de concreto, evaluada tras 28 días de curado, se determinó conforme con las normas NTP 339.034 y ASTM C39/C39M, que especifican los procedimientos y requisitos para llevar a cabo este ensayo.

3.7.5.2 Resistencia a flexión

Se realizó pruebas de resistencia a flexión a los 28 días para cada mezcla de CCR, calculando la resistencia a la flexión como el módulo de rotura según las normas NTP 339.078 y ASTM C78/C78M.

La resistencia a la flexión es una medida crucial de la resistencia a la tensión del concreto, conocida también como módulo de rotura. Este valor se obtiene aplicando una carga en una viga de concreto hasta su rotura, utilizando el método estándar ASTM C 78, donde se aplica carga en los tercios del claro, o el método ASTM C 293, en el que la carga se coloca en el centro de la viga. De los dos, el método con carga en los tercios es preferido, ya que genera un estado de esfuerzo constante en el tercio central de la viga, lo que facilita la rotura dentro de esta zona.

El módulo de rotura (MR) se determina utilizando la fórmula siguiente:

$$MR = \frac{Pxl}{bxh^2}$$

Donde P es la carga máxima aplicada, l es la longitud de la viga, b es el ancho y h es el peralte. En caso de que la rotura ocurra fuera del tercio central, se utiliza una fórmula ajustada que toma en cuenta la distancia entre la línea de fractura y el apoyo más cercano. Este análisis es esencial para determinar la capacidad de carga de las estructuras y para validar las propiedades mecánicas del concreto en el diseño de pavimentos y otros proyectos (ASTM C78/C78M-18, 2021; Brotman et al., 2007).

3.7.5.3 Validación de los resultados de resistencia a la flexión

Zdiri (2008) empleó la relación propuesta por el American Concrete Institute (ACI) para estimar la resistencia a la flexión del CCR a los 28 días de curado, a partir de su resistencia a la compresión. Esta relación se expresa mediante la fórmula:

$$f_r = 0.6 x \sqrt{f'_c}$$

Donde f_r corresponde a la resistencia a la flexión del CCR (en MPa) y f'_c representa la resistencia promedio a la compresión del mismo material a los 28 días (en MPa).

Adicionalmente, el autor consideró el modelo empírico propuesto por Ouellet (citado en Zdiri, 2008), el cual establece la siguiente ecuación:

$$f_r = (f'_c)^{0.459}$$

Este modelo fue originalmente presentado por Ouellet, Marchand y Reid (1998) en un estudio sobre el comportamiento mecánico y la resistencia al congelamiento del CCR, difundido por la sección Québec y del Este de Ontario del ACI.

Dado que no existe un procedimiento estandarizado para la elaboración de las vigas utilizadas en estas pruebas, se hace necesario verificar los resultados obtenidos. Los valores de f'_c utilizados corresponden a los promedios de resistencia a la compresión del CCR para cada tipo.

2 CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Caracterización de los agregados naturales

El primer objetivo de esta investigación fue caracterizar las particularidades físicas del agregado natural fino (AN-F) y grueso (AN-G) utilizados en la fabricación de CCR.

Tabla 4

Resumen de la caracterización de los agregados naturales

5	Descripción	Unidad	AN-F	AN-G
	Tamaño máximo nominal	mm	-	12.40
	Tamaño máximo	mm	-	19.05
	Módulo de finura	37	2.51	6.47
	Peso específico de masa	g/cm ³	2.45	2.46
	Peso específico SSS	g/cm ³	2.55	2.53
	Peso específico aparente	g/cm ³	2.73	2.64
	Absorción	%	4.15	2.80
	Peso unitario suelto seco	Kg/cm ³	1562.00	1356.00
	Peso unitario compactado seco	Kg/cm ³	1712.00	1498.00
	Contenido de humedad	%	2.15	1.30

Los resultados de la caracterización física del agregado natural fino (AN-F) y el agregado natural grueso (AN-G) se presentan en la Tabla 4. El agregado grueso mostró un tamaño máximo nominal de 12.40 mm y un tamaño máximo

de 19.05 mm, mientras que el agregado fino no presenta TMN definido para el rango analizado. El MF de los agregados fue adecuado para la trabajabilidad y cohesión del concreto, con valores de 2.51 para AN-F y 6.47 para AN-G. En cuanto a los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc), AN-F presentó un Cu de 10.8 y un Cc de 1.1, lo que indica una excelente distribución de tamaños y gradación eficiente, ideal para mejorar la trabajabilidad y cohesión del concreto. En cambio, AN-G tuvo un Cu de 1.7 y un Cc de 1.0, mostrando una distribución de tamaños más restringida. Aunque su Cc está dentro del rango recomendado, su Cu es inferior al ideal, lo que lo hace aceptable para CCR, pero menos eficiente que AN-F para lograr una alta compactación.

Los pesos específicos de masa fueron 2.45 g/cm³ y 2.46 g/cm³ para AN-F y AN-G respectivamente, mientras que el peso específico en condición saturada superficialmente seca (SSS) y el peso específico aparente variaron ligeramente entre ambos tipos, confirmando una composición granulométrica estable y adecuada.

En cuanto a la absorción, el agregado fino mostró un valor del 4.15%, superior al 2.80% del agregado grueso, lo cual es esperado dada la mayor porosidad superficial de las partículas finas. Los pesos unitarios sueltos secos y compactados secos también evidenciaron buena densidad y capacidad de compactación, con valores de 1562.00 kg/m³ y 1712.00 kg/m³ para AN-F, y 1356.00 kg/m³ y 1498.00 kg/m³ para AN-G respectivamente.

Finalmente, el contenido de humedad fue de 2.15% para AN-F y 1.30% para AN-G, reflejando las características propias de cada tipo de agregado. Estos resultados confirman que ambos agregados cumplen con las

especificaciones técnicas necesarias para su uso en CCR, aportando a la resistencia, estabilidad y durabilidad del material.

4.1.1 Resultados del ensayo de análisis granulométrico

Se realizaron ensayos granulométricos para los agregados, según la norma ASTM C136 (equivalente a la NTP 400.037), para determinar la distribución granulométrica de los materiales en el diseño de la mezcla para CCR.

Tabla 5

1 *Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso - Prueba Nro. 01*

Tamaño del tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)	(%)
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.40	1548.88	40.88	40.88	59.12
3/8"	9.53	1770.23	21.48	62.36	37.64
N° 4	4.75	1517.34	26.12	88.48	11.52
FONDO	0.00	163.55	11.52	100.00	0.00
SUMA		5000.00	100.00		

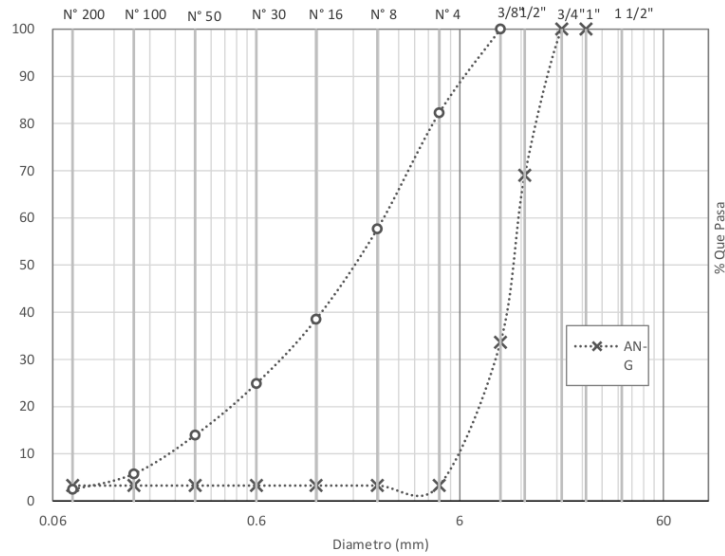
Tabla 6

1 *Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino - Prueba Nro. 01*

Tamaño del tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)	(%)
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	88.80	1.44	1.44	98.56
N° 8	2.36	122.95	8.23	9.67	90.33
N° 16	1.18	95.63	16.43	26.10	73.90
N° 30	0.60	68.31	20.31	46.40	53.60
N° 50	0.30	54.64	28.85	75.25	24.75
N° 100	0.15	40.98	16.93	92.18	7.82
N° 200	0.08	16.39	6.43	98.61	1.39
FONDO	0.00	12.3	1.39	100.00	0.00
SUMA		500.00	100.00		

Figura 5

Distribución granulométricas del AN-G y AN-F



²⁹ Nota. El gráfico muestra el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz en función del TMN en milímetros (mm), usando una escala logarítmica invertida. Las diferentes curvas corresponden a mezclas de NA con TMN de 12.40 mm.

⁷³ El análisis granulométrico del agregado grueso natural cumple con los límites de gradación del ACI Committee 325 sobre mezclas de CCR en pavimentos, con un TMN permitido de 19 mm, siendo en este caso 19.05 mm y un TMN de 12.40 mm. Así mismo, el agregado fino presenta una granulometría adecuada, cumpliendo con la norma ASTM C33, lo que favorece la trabajabilidad y cohesión del concreto, haciéndolo apto para mezclas de CCR.

4.1.1.1 Módulo de fineza del agregado fino y grueso

Tabla 7

Módulo de finura del agregado fino y grueso natural

Tipo de AN	MF Experimental	MF Teórico máximo	MF Teórico mínimo
AN-F	2.51	2.3	3.1
AN-G	6.47	5.5	6.0

El MF del AN-F fue de 2.51, dentro del rango ideal de 2.3–3.1 según la norma ASTM C33, favoreciendo la trabajabilidad del concreto. El AN-G presentó un valor de 6.47, superior al rango recomendado (5.5–6.0), lo que podría afectar la compactación, como indica Aguilar Coro (2019). Para optimizar las propiedades del CCR, se recomienda ajustar la proporción entre los agregados y la relación agua-cemento, siguiendo las normativas ACI 325.10R-95 y ASTM C33, que resaltan la importancia de una gradación adecuada para garantizar una buena compactación y resistencia del concreto (ACI Committee 325, 2014; ASTM C33, 2019).

4.1.1.2 Coeficientes de uniformidad y curvatura en el CCR:

Tabla 8

Coeficientes de uniformidad y curvatura del agregado natural para el CCR

AN20	TMN (mm)	Cu	Cc	Uso para CCR
AN-G	12.40	1.7	1.0	Aceptable
AN-F	-	10.8	1.1	Ideal

El análisis de los coeficientes de Cu y Cc según la norma ASTM D2487 muestra que el AN-G, con un Cu de 1.7 y un Cc de 1.0, tiene una distribución de tamaños más restringida, por lo que no es ideal para usos que exigen una alta

eficiencia en la compactación, como el CCR. Sin embargo, su C_c está dentro del rango recomendado, lo que lo hace aceptable para su uso en CCR.

Por otro lado, el agregado AN-F, con un C_u de 10.8 y un C_c de 1.1, tiene una excelente distribución de tamaños y una gradación eficiente, por lo que es un material ideal para mejorar la trabajabilidad y cohesión del concreto. Los resultados indicaron que el AN-F es altamente apropiado para su uso en CCR, proporcionando una mejor compactación y resistencia.

4.1.2 Resultados del ensayo de peso unitario

Se hicieron tres ensayos para los agregados a fin garantizar resultados confiables y representativos.

Tabla 9

Ensayo de peso unitario del agregado fino natural

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm ³)	Peso unitario compactado (kg/cm ³)
01	1567	1726
02	1546	1705
03	1572	1705
Valor Promedio	1562	1712

Tabla 10

Ensayo de peso unitario del agregado grueso natural

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm ³)	Peso unitario compactado (kg/cm ³)
01	1360	1490
02	1349	1497
03	1360	1506
Valor Promedio	1356	1498

El resultado del peso unitario suelto y compactado para los AN-F y AN-G se ajusta a los intervalos fijados por la norma ASTM C29 y ACI 325.10R-95. El AN-F presentó un peso unitario suelto de 1562 kg/m³ y un compactado de 1712 kg/m³, dentro de los rangos ideales de 1450-1600 kg/m³ y 1700-1800 kg/m³, correspondientemente, indicando buena capacidad de compactación y estabilidad en la mezcla de CCR. El AN-G mostró un peso unitario suelto de 1356 kg/m³ y un compactado de 1498 kg/m³, dentro del rango permitido de 1300-1500 kg/m³ para suelto y 1500-1700 kg/m³ para compactado, lo que también lo hace adecuado para CCR, aunque con una capacidad de compactación algo menor que el agregado fino. Ambos agregados son adecuados para producir concreto resistente y duradero, siempre que se ajusten correctamente otros parámetros como la relación agua-cemento.

4.1.3 Resultados del ensayo de Peso específico y absorción

Se realizó el ensayo, obteniendo resultados dentro de los valores establecidos por las normas ASTM C127 y ASTM C128.

Tabla 11

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino y grueso natural

Tipo	Peso específico de masa (gr/cm ³)	Peso específico SSS (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Absorción (%)
AN-F	2.45	2.55	2.73	4.15
AN-G	2.46	2.53	2.64	2.80

El agregado fino mostró un peso específico de masa de 2.45 gr/cm³ (2.50 - 2.70 gr/cm³) y una absorción de 4.15% (1% - 5%), mientras que el agregado

grueso presentó un peso específico de 2.46 gr/cm³ (2.40 - 2.70 gr/cm³) y una absorción de 2.80% (1% - 5%).

Ambos agregados satisfacen las condiciones necesarias para ser empleados en CCR, con absorciones dentro de los valores adecuados, lo que favorece el control sobre la relación agua-cemento y asegura una buena compactación, durabilidad y resistencia del material.

4.1.4 ¹⁵ Resultados del ensayo de contenido de humedad

Tabla 12

Ensayo de contenido de humedad del agregado natural

Tipo	Contenido de humedad (%)
AN-F	2.15
AN-G	1.30

El contenido de humedad del AN-F fue 2.15% y del AN-G 1.30%, reflejando su mayor porosidad y área superficial. Estos valores deben considerarse para ajustar la mezcla y garantizar la trabajabilidad, compactación y uniformidad del CCR.

4.2 Caracterización de los agregados reciclados

El segundo objetivo fue caracterizar las particularidades de los agregados reciclados finos (RCA-F) y gruesos (RCA-G) en función de su uso en la mezcla del CCR.

Tabla 13

Resumen de la caracterización de los agregados reciclados

Descripción	Unidad	RCA-F	RCA-G (20)	RCA-G (15)	RCA-G (10)
5 Tamaño máximo nominal	mm	-	12.40	9.53	4.75
Tamaño máximo	mm	-	19.05	12.40	9.53
Módulo de finura	37	2.58	6.75	6.29	5.69
Peso específico de masa	g/cm ³	2.30	2.31	2.30	2.30
Peso específico SSS	g/cm ³	2.49	2.49	2.49	2.49
Peso específico aparente	g/cm ³	2.90	2.82	2.83	2.86
Absorción	%	9.02	7.90	8.26	8.64
Peso unitario seco suelto	Kg/cm ³	1452	1267	1212	1363
Peso unitario seco compactado	Kg/cm ³	1567	1389	1331	1475
Contenido de humedad	%	0.53	0.31	0.37	0.44

Los agregados reciclados presentaron características más variables debido a la presencia de mortero adherido en el material reciclado. Los resultados de la caracterización (Tabla 12) mostraron que el agregado fino reciclado (RCA-F) tuvo un módulo de finura de 2.58, dentro del rango adecuado (2.3–3.1) según la norma ASTM C33, lo que lo hace apto para mezclar con otros materiales para obtener una buena trabajabilidad. Sin embargo, la absorción promedio de RCA-F (9.02%) fue considerablemente mayor ²² en comparación con los agregados naturales, lo cual es una característica común en ²² los agregados reciclados debido a la mayor porosidad generada por el mortero adherido.

En cuanto a los coeficientes de uniformidad y curvatura, los RCA-F no son adecuados para CCR debido a su baja uniformidad, mientras que los RCA-G (10) y RCA-G (15) son aceptables, pero el RCA-G (20) es deficiente, afectando la compactación y resistencia del concreto.

Los resultados obtenidos son coherentes con los de Fardin y Santos (2020), quienes concluyeron que el agregado reciclado tiende a tener mayor

⁴² absorción y menor densidad en comparación con los agregados naturales, ¹² lo cual afecta la relación agua/cemento y la resistencia del concreto. Zhou et al. (2021) también observó que el mortero adherido al RCA afecta su capacidad de compactación y ¹⁷ que, a medida que disminuye el tamaño de las partículas recicladas, se mejora la distribución granulométrica y la trabajabilidad del concreto.

La alta absorción de los RCAs puede explicarse por la porosidad y el mortero adherido presente en el material reciclado. Esta característica es inherente al RCA y afecta directamente la porción de agua que se necesita en la mezcla, ¹ lo que influye en la trabajabilidad y en las características finales del CCR. A pesar de esto, el RCA-F y RCA-G mostraron valores de peso unitario y densidad adecuados para su incorporación en mezclas de CCR.

Teóricamente, los resultados indican que el uso de RCA con tamaños controlados es factible para mezclas de CCR, pero se debe tener en cuenta la alta absorción para ajustar correctamente la ¹⁸ porción de agua en la mezcla. Prácticamente, este comportamiento de los agregados reciclados sugiere que, para su uso eficiente, la dosis de agua debe ser controlada y la absorción de RCA debe ser considerada para evitar la reducción de la resistencia y durabilidad del concreto.

Una limitación importante del estudio es que no se evaluó el impacto del mortero adherido en la transición interfacial entre el RCA y la pasta cementicia no fue completamente investigado. Futuras investigaciones podrían abordar estos aspectos, evaluando el desempeño del CCR con RCA en condiciones de campo y bajo exposición ambiental. También sería relevante explorar

tratamientos previos para reducir la absorción del RCA, como el lavado o el uso de aditivos que mejoren su comportamiento en mezclas de concreto.

4.2.1 Resultados del ensayo de análisis granulométrico

Se efectuaron tres ensayos granulométricos para el agregado grueso reciclado en los rangos de 4.75 a 10 mm, 4.75 a 15 mm y 4.75 a 20 mm, además de un ensayo general para el agregado fino reciclado. Todos los procedimientos se realizaron de acuerdo a la directriz de la norma ASTM C136 (NTP 400.037), con el objetivo de caracterizar de manera precisa la distribución granulométrica de las partículas.

Tabla 14

Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (20)

Tamaño del tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)	(%)
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.40	2263	45.26	45.26	54.74
3/8"	9.53	1487	29.74	75.00	25.00
N° 4	4.75	1225	24.50	99.50	0.50
FONDO	0.00	25	0.50	100.00	0.00
SUMA		5000.00	100.00		

Tabla 15

Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (15)

Tamaño del tamiz		Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)	(%)
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.40	0.00	0.00	0.00	100
3/8"	9.53	3012	60.24	60.24	39.76
N° 4	4.75	1968	39.36	99.60	0.40
FONDO	0.00	20	0.40	100	0.00
SUMA		5000.00	100.00		

Tabla 16

Ensayo de análisis granulométrico del RCA-G (10)

Tamaño del tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00
1/2"	12.40	0.00	0.00	0.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
N° 4	4.75	4981	99.62	99.62
FONDO	0.00	19	0.38	100
SUMA		5000.00	100.00	

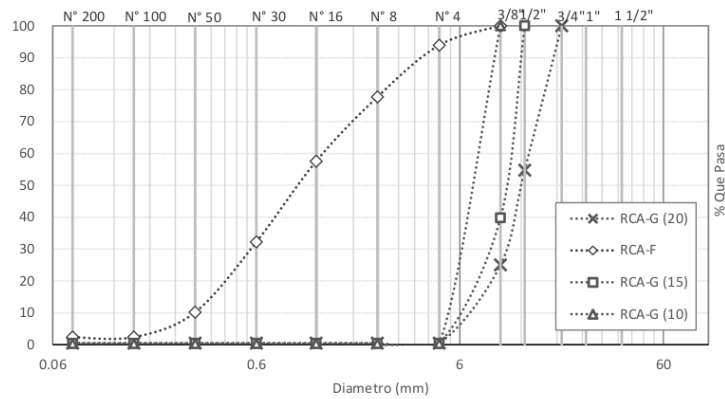
Tabla 17

Ensayo de análisis granulométrico del RCA-F

Tamaño del tamiz	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	mm.	parcial (gr.)	parcial (%)	acumulado (%)
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00
N° 4	4.75	8.91	1.78	1.78
N° 8	2.36	48.21	9.64	11.42
N° 16	1.18	79.25	15.85	27.27
N° 30	0.60	99.28	19.86	47.13
N° 50	0.30	152.35	30.47	77.60
N° 100	0.15	74.62	14.92	92.52
N° 200	0.08	32.15	6.43	98.95
FONDO	0.00	5.23	1.05	100.00
SUMA		500.00	100.00	

Figura 6

Distribución granulométricas del RCA-G y RCA-F con diferentes TMN



29
 Nota. El gráfico muestra el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz en función del TMN en milímetros (mm), usando una escala logarítmica invertida. Las diferentes curvas corresponden a mezclas de RCA con TMN de 4.75 mm, 9.53 mm y 12.40 mm.

Los ensayos granulométricos del RCA-G y RCA-F muestran diferentes distribuciones de partículas. El RCA-G tiene una mayor concentración de partículas gruesas, especialmente en el rango de 12.40 mm, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren material grueso. Por otro lado, el RCA-F tiene una distribución más uniforme y una alta proporción de partículas finas, lo que mejora la cohesión y trabajabilidad del concreto.

La combinación adecuada de ambos agregados puede resultar en una mezcla eficiente para CCR, proporcionando un buen equilibrio entre resistencia y fluidez.

4.2.1.1 ²⁶ Módulo de fineza del agregado fino y grueso

Tabla 18

Módulo de finura del agregado fino y grueso reciclado

Prueba Nro.	Módulo de finura			
	RCA-G (20)	RCA-G (15)	RCA-G (10)	RCA-F
01	6.75	6.29	5.69	2.58

El agregado fino reciclado ¹¹ presentó un módulo de finura de 2.58, que se encuentra dentro del rango establecido por la norma ASTM C33 (2.3–⁵3.1), lo que indica una gradación adecuada que favorece la trabajabilidad y cohesión de la mezcla para un concreto compacto y uniforme.

Por su parte, el agregado grueso reciclado mostró una variación en el MF en función del TMN. El RCA-G con rango 4.75–20 mm registró un módulo de 6.75, el cual se encuentra dentro del rango recomendado para agregado grueso (5–7). Para los rangos 4.75–15 mm y 4.75–10 mm, los valores fueron 6.29 y 5.69, respectivamente. Esta disminución en el módulo de finura refleja la reducción en la proporción de partículas gruesas conforme disminuye el tamaño máximo nominal.

Estos módulos de finura son adecuados para su uso en mezclas de CCR, ya que aseguran una buena distribución de partículas y facilitan ¹² el diseño de mezcla en relación con el tamaño de agregado utilizado.

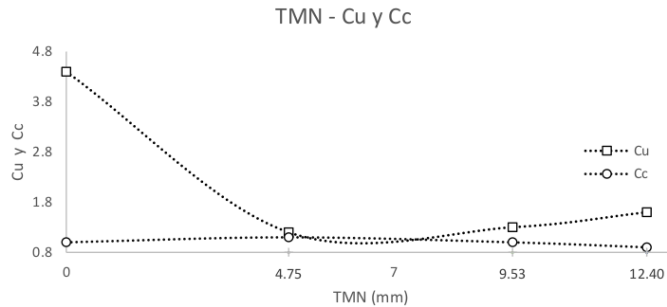
4.2.1.2 Coeficientes de Uniformidad y Coeficientes de Curvatura en el CCR:

Este análisis evalúa los Cu y Cc de distintos tipos de RCA y cómo afectan el desempeño del CCR. Estos indicadores son esenciales para entender la

distribución de los tamaños de las partículas, lo que tiene un impacto directo en la compactación y la resistencia del concreto.

Figura 7

Relación entre TMN y los Coeficientes Cu y Cc



El RCA-F presenta un valor de $Cu = 4.4$ y $Cc = 1.0$. Dado que el Cu para el agregado fino debe ser mayor a 6 para garantizar una distribución adecuada de partículas, este agregado no cumple con los requisitos necesarios. Su Cu bajo indica que la distribución de tamaños de partículas no es eficiente, lo cual podría repercutir en la trabajabilidad y la compactación del concreto. Por lo tanto, el RCA-F no es adecuado para su uso en CCR.

El RCA-G (10) tiene un $Cu = 1.2$ y $Cc = 1.1$, lo cual es aceptable para su uso en CCR. Aunque el Cu es bajo comparado con lo que se espera para agregados finos, el valor de Cc está dentro del rango ideal ($1 < Cc < 3$), lo que asegura que la distribución de partículas es razonablemente eficiente. Por lo tanto, este material es apto para mezclas de concreto compactado, proporcionando buena compactación y resistencia, aunque con una ligera reducción en la eficiencia de distribución.

El RCA-G (15) tiene un C_u de 1.3 y $C_c = 1.0$, lo que sigue siendo aceptable para el CCR. Aunque el C_u sigue siendo relativamente bajo, el C_c dentro del rango ideal asegura que las partículas están suficientemente bien distribuidas, lo que permite una compactación adecuada. Similar al RCA-G (10), el rendimiento en términos de compactación y resistencia es aceptable, aunque el valor de C_u podría mejorarse para optimizar la mezcla.

El RCA-G (20) tiene un $C_u = 1.6$ y $C_c = 0.9$, lo que lo hace deficiente para el uso en CCR. El valor de C_c está por debajo del límite mínimo aceptable, lo que indica que la distribución de partículas no es eficiente. Esto puede influir negativamente la compactación y la resistencia del concreto, haciéndolo inadecuado para mezclas de CCR, ya que su baja distribución de partículas dificulta obtener un concreto homogéneo y de alta calidad.

Este análisis cumple con los lineamientos de la norma ASTM D2487, que clasifica suelos y materiales según su gradación y distribución de partículas, esenciales para evaluar su desempeño en concreto y construcción.

4.2.2 Resultados del ensayo de peso unitario

Se realizaron tres ensayos granulométricos independientes para el agregado fino reciclado y para cada rango de agregado grueso reciclado (4.75 a 10 mm, 4.75 a 15 mm y 4.75 a 20 mm).

Tabla 19

Ensayo de peso unitario del RCA-F

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm^3)	Peso unitario compactado (kg/cm^3)
01	1452	1565
02	1449	1569
03	1455	1566
Valor Promedio	1452	1567

Tabla 20

6 *Ensayo de peso unitario del RCA-G (20)*

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm ³)	Peso unitario compactado (kg/cm ³)
01	1269	1390
02	1267	1389
03	1265	1388
Valor Promedio	1267	1389

6 **Tabla 21**

Ensayo de peso unitario del RCA-G (15)

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm ³)	Peso unitario compactado (kg/cm ³)
01	1214	1332
02	1212	1331
03	1210	1330
Valor Promedio	1212	1331

6 **Tabla 22**

Ensayo de peso unitario del RCA-G (10)

Prueba Nro.	Peso unitario suelto (kg/cm ³)	Peso unitario compactado (kg/cm ³)
01	1363	1474
02	1360	1478
03	1366	1475
Valor Promedio	1363	1475

Los ensayos de peso unitario para los agregados reciclados (fino y grueso) mostraron que tanto el agregado fino reciclado (RCA-F) como el agregado grueso reciclado (RCA-G), en los rangos de 4.75 a 10 mm, 4.75 a 15 mm y 4.75 a 20 mm, tienen una buena capacidad de compactación. Los valores de peso unitario suelto y compactado fueron adecuados, destacando que el

RCA-F tuvo un promedio de 1452 kg/m³ suelto y 1567 kg/m³ compactado, mientras que los agregados gruesos variaron de 1212 kg/m³ a 1363 kg/m³ sueltos y de 1331 kg/m³ a 1475 kg/m³ compactados. Esto indica que los agregados reciclados tienen una densidad apropiada y responden bien al proceso de compactación, lo que los hace aptos para su uso en mezclas de CCR.

4.2.3 Resultados del ensayo de peso específico y absorción

Se realizaron ensayos para el RCA-F y para cada tamaño de RCA-G (4.75 a 10 mm, 4.75 a 15 mm y 4.75 a 20 mm).

Tabla 23

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino reciclado

TIPO	Peso específico de masa (gr/cm ³)	Peso específico SSS (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	Absorción (%)
RCA-F	2.30	2.51	2.90	9.02
RCA-G (10)	2.30	2.49	2.86	8.64
RCA-G (15)	2.30	2.49	2.83	8.26
RCA-G (20)	2.31	2.49	2.82	7.90

De acuerdo con la norma ASTM C33, los RCA deben cumplir con ciertas especificaciones para ser utilizados en la producción de CCR. La absorción de los agregados reciclados debe estar dentro del rango de 1% a 5% para asegurar una adecuada durabilidad y resistencia del concreto (ACI Committee 325, 2014). En este caso, los agregados reciclados evaluados, con absorciones que van de 7.90% a 9.02%, están por encima del rango recomendado, lo que sugiere la necesidad de ajustes en la relación agua-cemento para optimizar el rendimiento del concreto.

4.2.4 ¹⁵ Resultados del ensayo de contenido de humedad

Tabla 24

Ensayo de contenido de humedad del RCA

Tipo	Contenido de humedad (%)
RCA-F	0.53
RCA-G (20)	0.31
RCA-G (15)	0.37
RCA-G (10)	0.44

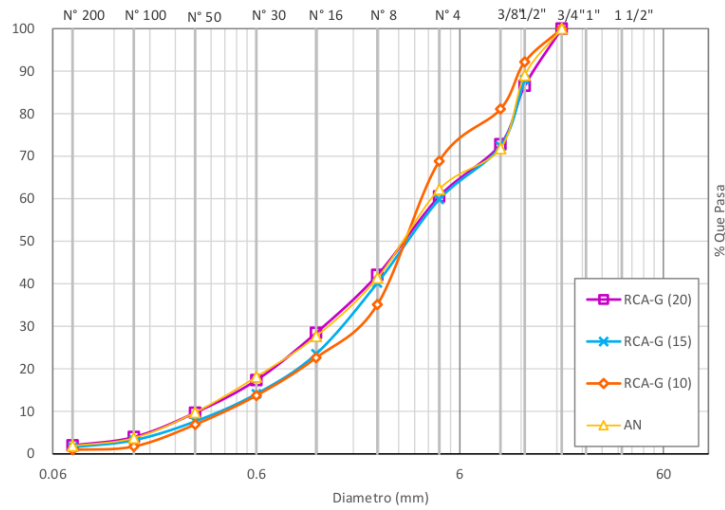
Los resultados indicaron que el RCA-F retiene más agua 0.53% debido a su mayor área superficial, mientras que los agregados gruesos reciclados presentan valores menores, entre 0.31% y 0.44%, según el rango de tamaño. Estos resultados son clave para ajustar la proporción de agua en las mezclas, afectando la trabajabilidad y propiedades del CCR.

4.3 Diseños de mezcla

Se seleccionaron nuevos agregados globales con el objetivo de lograr una distribución más eficiente de las partículas. Esta selección busca optimizar las propiedades mecánicas y la trabajabilidad de la mezcla. Los porcentajes de los agregados se tomaron considerando un 14% de cemento en la mezcla, distribuyéndose en ¹³ 53% de agregado fino y 33% de agregado grueso. Sin embargo, la aceptación de una buena gradación se determinará mediante los Cu y Cc, los cuales serán evaluados para confirmar la idoneidad de la mezcla.

Figura 8

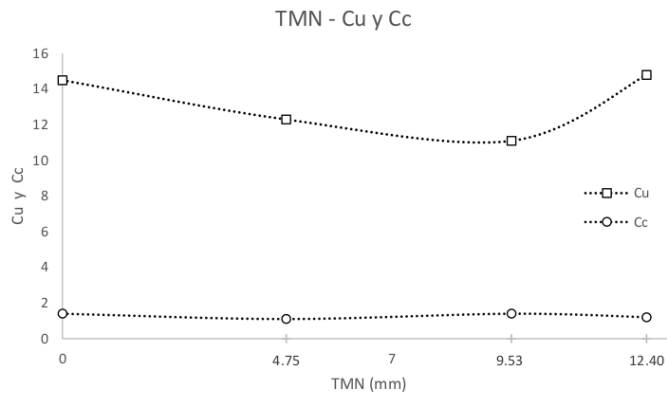
Distribución granulométrica de agregados reciclados y naturales global para el diseño de CCR



29
 Nota. El gráfico muestra el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz según el TMN (tamaño máximo nominal) en milímetros (mm), utilizando una escala logarítmica invertida. Las curvas representan mezclas de RCA con TMN de 4.75 mm, 9.53 mm y 12.40 mm, y el grupo control con TMN de 0.00 mm.

Figura 9

Relación entre TMN y los Coeficientes Cu y Cc



Este análisis global muestra que todos los tipos de agregados, tanto reciclados como naturales, presentan características que los hacen ideales para el uso en CCR, según los Cu y Cc. Los RCA (10, 15 y 20) muestran una distribución adecuada de partículas, lo que garantiza buena compactación, cohesión y resistencia en las mezclas de concreto. Los valores obtenidos para Cu y Cc aseguran que los agregados reciclados pueden ser utilizados de manera efectiva en el diseño de CCR, contribuyendo tanto a la sostenibilidad como a la calidad del concreto. El Cu debe estar en un rango superior a 4, lo que asegura una buena distribución de partículas, y el Cc debe estar dentro del rango ideal de $1 < Cc < 3$, lo que garantiza que la mezcla será homogénea y sin segregación. Todos los agregados analizados cumplen con estos rangos, asegurando un rendimiento óptimo en el diseño de CCR.

El diseño de mezcla analizó el efecto del tamaño y porcentaje de reemplazo del RCA en el CCR, considerando tres mezclas con 50 % de sustitución del agregado grueso natural (CCR-10, CCR-15 y CCR-20) y una con reemplazo total de agregados finos y gruesos (CCR-RCA20). Estas se compararon con una mezcla control con agregados naturales (CCR-AN20). El procedimiento completo se detalla en el ANEXO 2.

Tabla 25

Composición de las mezclas

Identificación de la mezcla	Proporciones (m3)					
	Cemento (Kg)	AN-F (Kg)	AN-G (Kg)	RCA-F (Kg)	RCA-G (Kg)	Agua (Lt)
CCR-10	294.54	1136.22	573.29	-	131.65	185.97
CCR-15	293.88	1133.68	496.31	-	206.27	189.92
CCR-20	292.88	1129.81	351.04	-	347.61	197.29
CCR-RCA20	281.69	-	-	1069.41	668.66	279.12
CCR-AN20	295.68	1140.64	708.81	-	-	177.86

Los resultados evidenciaron que el tamaño de partícula del RCA incidió en las proporciones de los materiales, especialmente en el consumo de agua, el cual se incrementó conforme aumentó el tamaño del agregado reciclado: 185.97 Lt en CCR-10, 189.92 Lt en CCR-15 y 197.29 Lt en CCR-20. Este aumento se relaciona con la mayor superficie específica y porosidad del RCA de mayor tamaño, que tiende a retener más agua. Estos hallazgos son coherentes con estudios como los de Hosseinezhad et al. (2021) y Fardin y Santos (2020), quienes señalaron que el comportamiento del CCR con RCA es muy dependiente de la granulometría y de la porosidad del material reciclado, y que reemplazos mayores al 25 % pueden afectar las propiedades mecánicas. En términos prácticos, el uso de RCA con diferentes tamaños de partícula en proporciones del 50 % de agregado grueso es viable para el diseño de CCR,

siempre que se realicen ajustes en la dosificación del agua y del cemento para contrarrestar la absorción y mantener la trabajabilidad.

Estos resultados refuerzan lo propuesto por los lineamientos del ACI 211.3R y ACI 325.10R sobre la necesidad de adaptar los diseños de mezcla en función de las características del agregado. No obstante, se reconoce como limitación que no se evaluaron factores como la exposición a sulfatos, cloruros o ciclos de congelación/descongelación pueden no estar completamente contemplados en el diseño inicial.

Durante la fabricación, una de las principales limitaciones fue mantener una consistencia adecuada (trabajabilidad) sin comprometer la resistencia o durabilidad, ya que esta puede verse afectada por el tiempo de mezcla, transporte y colocación. En ese sentido, futuras investigaciones podrían enfocarse en tratamientos específicos para reducir la absorción del RCA y optimizar el uso de aditivos. Además, sería relevante analizar el desempeño de estas mezclas en condiciones de campo, incluyendo ciclos de carga y exposición prolongada a humedad y temperatura, para garantizar su viabilidad en aplicaciones de pavimentación.

4.4 Resistencia a compresión

Se evaluaron cinco mezclas con cinco pruebas cada una. El cuarto objetivo específico fue caracterizar ³ la resistencia a compresión del CCR en función del tamaño de partícula del RCA.

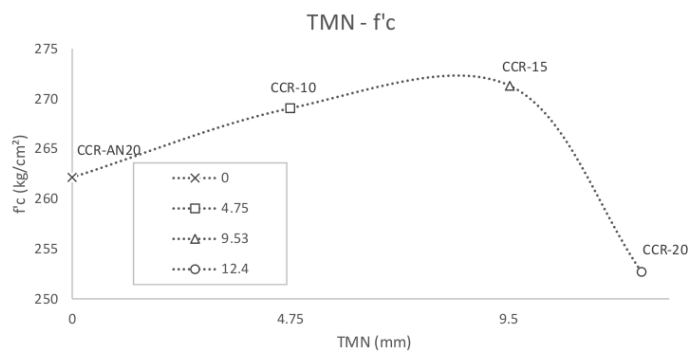
Tabla 26

1 Resistencia a compresión a los 28 días según tipo de mezcla CCR

Tipo de mezcla	TMN (mm)	f _c Promedio (Kg/cm ²)
CCR-AN20	0.00	262.14
CCR-10	4.75	269.05
CCR-15	9.53	271.30
CCR-20	12.4	252.68

Figura 10

4 Relación entre tamaño máximo nominal de agregado y resistencia a compresión del CCR a los 28 días



1 Nota. Variación promedio de la resistencia a compresión (f'c, kg/cm²) en relación con el tamaño máximo nominal de agregado (TMN, mm).

50 Los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión a los 28 días indican que las mezclas con RCA de tamaños de partícula más pequeños, específicamente CCR-10 y CCR-15, presentaron valores superiores a la mezcla control CCR-AN20. Los promedios fueron 269.05 kg/cm² y 271.30 kg/cm² respectivamente, lo que representa un incremento relativo de

aproximadamente 2.59% y 3.53% respecto a CCR-AN20 (262.14 kg/cm²). Esto confirma la hipótesis de que el concreto reciclado con RCA de tamaños pequeños puede desempeñarse igual o mejor que el concreto con agregado natural.

En contraste, las mezclas CCR-20 y CCR-RCA20 mostraron ²⁷ una **disminución en la resistencia a compresión, con promedios de 252.68 kg/cm² y 197.15 kg/cm² respectivamente, representando reducciones del 3.62% y 24.74%. Esto sugiere que el aumento en el tamaño de las partículas de RCA (CCR-20) y el reemplazo total del agregado natural por RCA (CCR-RCA20) afectan negativamente las propiedades del concreto, posiblemente debido a una mayor porosidad y menor cohesión en la matriz.**

Estos resultados están en consonancia ⁵⁸ con los hallazgos de Kheirbek et al. (2022), quienes reportaron que el reemplazo parcial de agregados naturales con RCA bien graduados mejora la resistencia a compresión del concreto, siempre que el reemplazo no supere el 50%. De manera similar, Hosseinnezhad et al. (2021) señalaron que un adecuado contenido de cemento es clave para mantener la resistencia cuando se usan RCA bien graduados. Por el contrario, un aumento en el tamaño del RCA, como se observa en CCR-20, incrementa la porosidad y reduce la resistencia.

Zhou et al. (2021) explican que la mejora en mezclas con RCA fino puede atribuirse a la densificación de la matriz por hidratación secundaria de fases anhídras presentes en el agregado reciclado fino. Esto puede explicarse por qué CCR-15, con partículas de hasta 15 mm, logra una estructura más compacta en comparación con CCR-20, que incorpora partículas más grandes y posiblemente con mortero adherido más débil.

Desde una perspectiva teórica, estos resultados refuerzan la importancia del tamaño y la calidad del RCA en el diseño de mezclas de CCR, especialmente para pavimentos y aplicaciones estructurales donde la resistencia a compresión es crítica. En la práctica, el uso de RCA con tamaños controlados (CCR-10 y CCR-15) es una opción viable para mantener o mejorar la resistencia estructural, optimizando así el uso de materiales reciclados en construcción.

Este estudio presenta limitaciones importantes, como la falta de evaluación de ³¹ condiciones ambientales adversas (ciclos de congelación/descongelación, exposición a sulfatos o cloruros), y no considerar propiedades complementarias como resistencia a tracción o desgaste. También, la trabajabilidad durante la mezcla pudo influir en la homogeneidad de las probetas.

Para futuras investigaciones se recomienda evaluar la durabilidad del concreto reciclado bajo condiciones ambientales reales, el uso de aditivos para mejorar la cohesión del RCA, y el comportamiento bajo cargas dinámicas. Esto permitirá validar la viabilidad y rendimiento del concreto con RCA a largo plazo.

4.5 Resistencia a flexión (Modulo de rotura)

Se evaluaron cinco mezclas con cinco pruebas cada una.

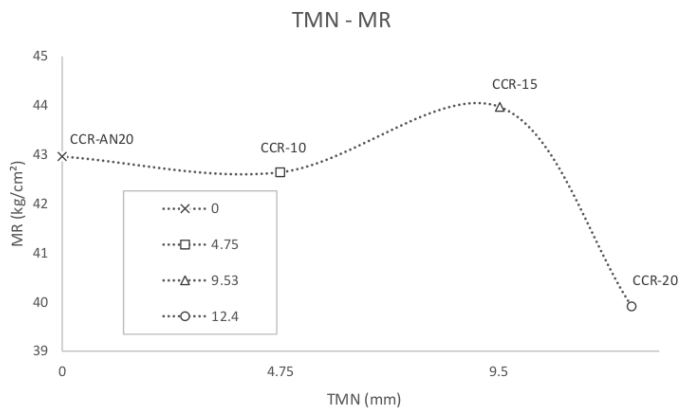
Tabla 27

³⁹ Resistencia a flexión promedio (M_r) a los 28 días según tipo de mezcla CCR

Tipo de mezcla	TMN (mm)	Mr Promedio (Kg/cm ²)
CCR-AN20	0.00	42.96
CCR-10	4.75	42.64
CCR-15	9.53	43.97
CCR-20	12.4	39.91

Figura 11

Relación entre tamaño máximo nominal del RCA para una sustitución del 50% y resistencia a flexión promedio del CCR a los 28 días



Nota. Resistencia a flexión (MR, kg/cm²) en función del tamaño máximo de agregado (TMN, mm). El gráfico muestra la resistencia a flexión promedio a los 28 días para la sustitución del 50% del RCA en los tipos de CCR.

El quinto objetivo fue caracterizar la resistencia a flexión del CCR para cada tamaño de partícula del RCA. La hipótesis planteaba que el CCR-10 tendría la mayor resistencia a flexión, pero los resultados mostraron que CCR-15 fue el mejor con una resistencia de 43.97 kg/cm², superando incluso al grupo control.

El grupo CCR-15 alcanzó la mayor resistencia, lo que sugiere que el tamaño de partícula no siempre es el factor más importante. La mejor distribución de partículas en CCR-15 pudo haber mejorado la compactación y la cohesión de la mezcla, resultando en una mayor resistencia. CCR-10, aunque con partículas más pequeñas, no superó al CCR-15.

Los resultados coinciden con Hosseinnezhad et al. (2021), quienes destacaron que el hecho de la resistencia a flexión depende tanto del tamaño del RCA como de la granulometría y porosidad. Fardin y Santos (2020) también encontraron que aumentar el porcentaje de RCA reduce las propiedades mecánicas, pero CCR-15 mostró mejores resultados, contraviniendo la tendencia general. ¹⁹ Por otro lado, Zhou et al. (2021) constataron que la resistencia a tracción mejora en mezclas con RCA cuando existe una buena gradación y una matriz densa, lo cual también puede explicar los mejores resultados observados con CCR-15, ya que la mezcla podría haber tenido una mejor cohesión entre los agregados reciclados y la pasta cementicia.

El desempeño superior de CCR-15 puede explicarse por su mejor granulometría y distribución de tamaños, que favoreció la cohesión entre el RCA y la pasta cementicia. CCR-10, aunque con partículas más pequeñas, presentó una menor resistencia, posiblemente debido a la presencia de micro fisuras y baja cohesión en los agregados reciclados.

Teóricamente, estos resultados refuerzan la importancia de la granulometría y la calidad del RCA, sugiriendo que el desempeño del CCR no depende únicamente del tamaño de partícula, sino también de la interacción entre el RCA y la pasta cementicia. En la práctica, los resultados indican que el uso de CCR-15 es viable para aplicaciones donde la resistencia a flexión es importante, aunque se deben considerar ajustes en la dosificación de agua y cemento.

El estudio no evaluó factores ambientales como exposición a sulfatos o ciclos de congelación/descongelación, que podrían afectar la durabilidad del concreto. Además, la trabajabilidad fue un desafío y las pruebas se limitaron a resistencia a flexión, sin analizar otras particularidades relevantes como la resistencia a la compresión. Futuras investigaciones deberían evaluar la exposición ambiental del CCR con RCA, explorar el uso de aditivos para mejorar la interacción entre el RCA y la pasta cementicia, y analizar el desempeño bajo cargas dinámicas en condiciones reales de uso, lo que podría proporcionar una visión más completa de su viabilidad para aplicaciones estructurales y pavimentación.

4.6 ⁷ Validación de los resultados de resistencia a la flexión

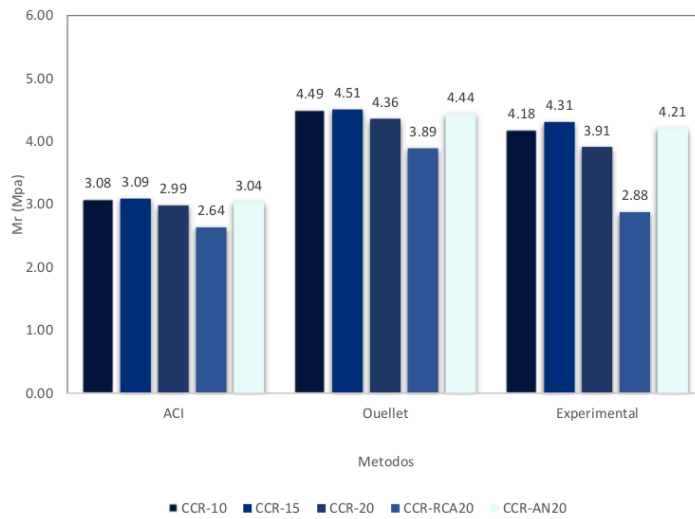
Tabla 28

Comparación entre resultados teóricos (según ACI y modelo de Ouellet) y valores experimentales de ⁷ la resistencia a la flexión (MR) del CCR a los 28 días

Identificación de la mezcla	f'c		fr teórico ACI (MPa)	fr teórico Ouellet (MPa)	fr experimental (kgf/cm ²)	fr experimental (Mpa)
	Promedio del CCR (Kgf/cm ²)	f'c (Mpa)				
CCR-10	269.05	26.38	3.08	4.49	42.64	4.18
CCR-15	271.3	26.60	3.09	4.51	43.97	4.31
CCR-20	252.68	24.77	2.99	4.36	39.92	3.91
CCR-RCA20	197.15	19.33	2.64	3.89	29.36	2.88
CCR-AN20	262.14	25.70	3.04	4.44	42.96	4.21

Figura 12

Representación gráfica comparativa de los resultados teóricos (ACI y Ouellet) y los valores experimentales de la resistencia a la flexión (MR).



De acuerdo con la Tabla 32 y la Figura 12, los valores de MR calculados con la fórmula ACI son menores que los obtenidos experimentalmente, lo que podría reflejar las limitaciones del modelo. En cambio, el modelo de Ouellet proporciona resultados más alineados con los datos experimentales, lo que indica que es más preciso ²⁸ para estimar la resistencia a la flexión del CCR en este caso.

CONCLUSIONES

PRIMERA. El tamaño de partícula del RCA influye en las propiedades mecánicas del CCR. Las mezclas con RCA de 4.75–10 mm y 4.75–15 mm mostraron un incremento en la resistencia a compresión de 2.6% (269.05 kg/cm²) y 3.5% (271.30 kg/cm²) en comparación con el control (CCR-AN20, 262.14 kg/cm²). Sin embargo, las mezclas con partículas de 12.4 mm y 20 mm mostraron una disminución en la resistencia, con 252.68 kg/cm² y 197.15 kg/cm², respectivamente. Además, los RCA de mayor tamaño presentan mayor absorción de agua, lo que requiere ajustar la dosificación de agua y cemento.

SEGUNDA. El AN presentó una absorción de agua de 0.52% y un peso específico de 2.64 g/cm³, cumpliendo con los estándares para garantizar la calidad del CCR. Además, mostró una excelente distribución de tamaños con un coeficiente de uniformidad (Cu) de 10.8 y un coeficiente de curvatura (Cc) de 1.1, lo que favorece la compactación y resistencia del concreto.

TERCERO. El RCA mostró variaciones en la absorción de agua, siendo mayor en los tamaños de partícula más grandes, con valores de 0.31%, 0.35% y 0.44% para los tamaños de 4.75–10 mm, 10–15 mm y 15–20 mm, respectivamente. Además, el RCA presentó una distribución menos eficiente, especialmente en el caso del RCA fino (Cu = 4.4, Cc = 1.0) y el RCA grueso de 4.75–20 mm (Cu = 1.6, Cc = 0.9), lo que afecta negativamente la compactación y resistencia del concreto reciclado.

CUARTA. Se observó que, se seleccionaron agregados con una distribución eficiente, con un 53% de agregado fino, 33% de agregado grueso y 14% de cemento, lo que optimizó la trabajabilidad y resistencia. Los resultados

mostraron que el tamaño de partícula del RCA afectó la dosificación de agua, aumentando de 185.97 L en CCR-10 a 197.29 L en CCR-20 debido a su mayor absorción. El uso de RCA en un 50% fue viable, pero se requirió ajustar la mezcla para mantener la trabajabilidad y resistencia, sugiriendo que futuras investigaciones optimicen tratamientos para reducir la absorción del RCA.

QUINTA. El CCR con RCA grueso (CCR-10 y CCR-15) mostraron resistencias a compresión superiores al concreto con agregado natural, con incrementos de 2.59% y 3.53% respectivamente. En contraste, CCR-20 y CCR-RCA20 redujeron la resistencia en 3.62% y 24.74%. Esto indica que controlar el tamaño y porcentaje de RCA es clave para mantener la calidad estructural del concreto reciclado.

SEXTA. El CCR-15 mostró la mayor resistencia a flexión (43.97 kg/cm²), superando incluso al grupo control, lo que indica que una mejor granulometría y distribución de partículas favorecen la cohesión y compactación de la mezcla más que el tamaño mínimo de partícula. Esto resalta que el MR del CCR depende no solo del tamaño del RCA, sino también de su gradación y calidad de interacción con la pasta cementicia. Por tanto, el uso de CCR-15 es recomendable para aplicaciones donde la resistencia a flexión es clave, aunque se deben considerar ajustes en la mezcla para optimizar su desempeño.

RECOMENDACIONES

- Para mejorar la sostenibilidad del concreto, se sugiere evaluar RCA con tamaños entre 9.5 mm y 19 mm y porcentajes de sustitución del 50%, 75% e incluso 100% en aplicaciones no estructurales. Con un adecuado tratamiento del material y ajustes en la dosificación, es posible mantener un buen desempeño, lo que permitiría identificar configuraciones óptimas que equilibren resistencia, durabilidad y beneficio ambiental.
- Caracterizar adecuadamente el RCA antes de su uso, analizando propiedades como absorción, densidad y contenido de mortero adherido, para ajustar la dosificación de agua y cemento y optimizar las propiedades del CCR.
- Aplicar tratamientos para mejorar la calidad del RCA, como la reducción de porosidad y mejorar la adherencia con la pasta cementicia, lo que fortalecerá la resistencia del CCR.
- Usar aditivos (reductores de agua y mejoradores de adherencia) que mejoren la trabajabilidad, cohesión y densidad del CCR, especialmente con altos niveles de reemplazo.
- Ampliar investigaciones sobre la durabilidad del CCR con RCA, evaluando su comportamiento bajo condiciones extremas como ciclos de congelación/descongelación y exposición a químicos.
- Realizar pruebas en campo para simular condiciones reales de uso, como tráfico pesado y ambientes climáticos variables, para validar los resultados de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 116. (1985). *Cement and Concrete Terminology*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 116. (2002). *Terminología del Cemento y del Concreto ACI 116R-00*. IMCYC.
- ACI Committee 207. (2011). *ACI PRC-207.5-11 Report on Roller-Compacted Mass Concrete* (p. 71).
https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=207511&Format=PROTECTED_PDF&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- ACI Committee 211. (2002). *211.3R-02: Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (Reapproved 2009)*. <https://doi.org/9780870310775>
- ACI Committee 325. (2014). *ACI PRC-325.10-95: Report on Roller-Compacted Concrete Pavements (Reapproved 2001)—Spanish Language* (ICCYC, Trad.; p. 32).
https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=32510S01&Format=DOWNLOAD&Language=Spanish&Units=US_Units
- Adaska, W. S. (2006). Chapter 51: Roller-Compacted Concrete (RCC). En *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials* (pp. 595-604). ASTM International.
<https://doi.org/10.1520/STP37769S>
- Aguilar Coro, D. I. (2019). Variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado. *Universidad Nacional de Cajamarca*.
<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3487>
- Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective.

- Journal of Cleaner Production*, 186, 262-281.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.085>
- Ardalan, N., Wilson, D. J., & Larkin, T. J. (2020). Analyzing the Application of Different Sources of Recycled Concrete Aggregate for Road Construction. *Transportation Research Record*, 2674(8), 300-308.
<https://doi.org/10.1177/0361198120924664>
- ASTM C29/C29M-23. (2023). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*.
https://doi.org/10.1520/C0029_C0029M-23
- ASTM C78/C78M-18. (2021). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*.
https://doi.org/10.1520/C0078_C0078M-18
- ASTM C128-22. (s. f.). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. <https://doi.org/10.1520/C0128-22>
- ASTM C136/C136M-19. (2020). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. https://doi.org/10.1520/C0136_C0136M-19
- ASTM C566-19. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. <https://doi.org/10.1520/C0566-19>
- Awoyera, P. O., Thomas, C., & Kirgiz, M. S. (2021). *The Structural Integrity of Recycled Aggregate Concrete Produced with Fillers and Pozzolans* (Primera edición). Elsevier, Woodhead Publishing.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128241059/the-structural-integrity-of-recycled-aggregate-concrete-produced-with-fillers-and-pozzolans#book-description>

- Brotman, I., Cristo, M., & Gaul, J. (2007). Roller Compacted Concrete Pavement: Properties, Design, and Construction. *ResearchGate*.
[https://doi.org/10.1061/40913\(232\)4](https://doi.org/10.1061/40913(232)4)
- Carrión Vivar, H. V., & Masapanta Delgado, V. H. (2018). *Hormigón compactado con rodillo utilizando agregados reciclados para emplearlo en pavimento rígido* [Universidad central del ecuador].
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Creswell, John W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4^a ed.).
<https://adams.marmot.org/Record/.b40623245>
- Fanijo, E. O., Kolawole, J. T., Babafemi, A. J., & Liu, J. (2023). A comprehensive review on the use of recycled concrete aggregate for pavement construction: Properties, performance, and sustainability. *Cleaner Materials*, 9, 100199. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100199>
- Fardin, H. E., & Santos, A. G. dos. (2020). Roller Compacted Concrete with Recycled Concrete Aggregate for Paving Bases. *Sustainability*, 12(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/su12083154>
- Gurreonero Diaz, J. P. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un concreto convencional y un concreto compactado con rodillo para pavimentos, Lima 2019* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/56122>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta). McGraw Hill España.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>

- Hosseinnezhad, H., Hatungimana, D., Yazıcı, Ş., Ramyar, K., Hosseinnezhad, H., Hatungimana, D., Yazıcı, Ş., & Ramyar, K. (2021). Mechanical properties of roller compacted concrete containing recycled concrete aggregate. *Revista de la construcción*, 20(2), 277-290. <https://doi.org/10.7764/rdlc.20.2.277>
- Huamán, A. W. (2016). *Análisis y diseño de pavimentos de ccr (concreto compactado con rodillo): Propuesta de aplicación a la avenida las torres del distrito de yura*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa - Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, 121265. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121265>
- Kheirbek, A., Ibrahim, A., Asaad, M., & Wardeh, G. (2022a). Experimental Study on the Physical and Mechanical Characteristics of Roller Compacted Concrete Made with Recycled Aggregates. *Infrastructures*, 7(4), 54-54. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040054>
- Kheirbek, A., Ibrahim, A., Asaad, M., & Wardeh, G. (2022b). Experimental Study on the Physical and Mechanical Characteristics of Roller Compacted Concrete Made with Recycled Aggregates. *Infrastructures*, 7(4), 54-54. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7040054>
- Martín-Morales, M., Zamorano, M., Valverde-Palacios, I., Cuenca-Moyano, G. M., & Sánchez-Roldán, Z. (2013). 11—Quality control of recycled aggregates (RAs) from construction and demolition waste (CDW). En F. Pacheco-Torgal, V. W. Y. Tam, J. A. Labrincha, Y. Ding, & J. de Brito

- (Eds.), *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste* (pp. 270-303). Woodhead Publishing.
<https://doi.org/10.1533/9780857096906.2.270>
- Oh, D.-Y., Noguchi, T., Kitagaki, R., & Park, W.-J. (2014). CO2 emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 796-810.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.036>
- Rahmani, E., Sharbatdar, M. K., & H.A. Beygi, M. (2021). Influencia del contenido de cemento en los parámetros de fractura del pavimento de hormigón compactado con rodillos (RCCP). *Construction and Building Materials*, 289, 123159. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123159>
- Rambabu, D., Sharma, S. K., & Akbar, M. A. (2023). Evaluation of roller compacted concrete for its application as high traffic resisting pavements with fatigue analysis. *Construction and Building Materials*, 401, 132977.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132977>
- Ravindra K Dhir & Chao Qun Lye. (2019). *ICE Themes Recycled Aggregates: Use in Concrete*.
<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/book/10.1680/icetra.64638>
- Safiuddin, M., Alengaram, U. J., Rahman, M. M., Salam, M. A., & Jumaat, M. Z. (2013). Use of recycled concrete aggregate in concrete: A review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(6), Article 6.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2013.799093>
- Selvam, M., Debbarma, S., Singh, S., & Shi, X. (2022). Utilization of alternative aggregates for roller compacted concrete pavements – A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 317. ScienceDirect.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125838>

- Soto-Paz, J., Arroyo, O., Torres-Guevara, L. E., Parra-Orobio, B. A., & Casallas-Ojeda, M. (2023). The circular economy in the construction and demolition waste management: A comparative analysis in emerging and developed countries. *Journal of Building Engineering*, 78, 107724. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107724>
- Tam, V. W. Y., Soomro, M., & Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, 172, 272-292. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.240>
- Zdiri, M. (2008). *Etude de formulation et de comportement mécanique des Bétons Compactés au Rouleau (BCR): Applications routières - Cas des matériaux de gisements locaux* [These de doctorat, Artois]. <https://theses.fr/2008ARTO0202>
- Zhang, H. (Ed.). (2011). 4—Cement. En *Building Materials in Civil Engineering* (pp. 46-423). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845699567.46>
- Zhou, Y., Guo, D., Xing, F., & Guo, M. (2021). Multiscale mechanical characteristics of ultra-high performance concrete incorporating different particle size ranges of recycled fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 307, 125131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125131>

ANEXOS

- **ANEXOS 1:** MATRIZ DE CONSISTENCIA
- **ANEXOS 2:** PANEL FOTOGRÁFICO
- **ANEXOS 3:** CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS EN EL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO —UANCV
- **ANEXO 4:** DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL PARA EL DISEÑO CCR

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	VALORES FINALES/ESCALA	POBLACIÓN Y MUESTRA	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo influye el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cómo serán las propiedades del agregado natural para el concreto compactado con rodillo?</p> <p>¿Cómo serán las propiedades del agregado de concreto reciclado para el concreto compactado con rodillo?</p> <p>¿Cómo influye el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo?</p> <p>¿De qué manera la resistencia a compresión del concreto compactado con rodillo se ve influenciada por el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado?</p> <p>¿De qué manera la resistencia a flexión del concreto compactado con rodillo se ve influenciada por el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Analizar la influencia del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>Caracterizar las propiedades del agregado natural para el concreto compactado con rodillo.</p> <p>Caracterizar las propiedades del agregado de concreto reciclado para el concreto compactado con rodillo.</p> <p>Diseñar la mezcla del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.</p> <p>Caracterizar la resistencia a compresión del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.</p> <p>Caracterizar la resistencia a flexión del concreto compactado con rodillo para cada tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Existe una influencia significativa del tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado en las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>Las propiedades del agregado natural cumplen con las especificaciones técnicas establecidas para el concreto compactado con rodillo.</p> <p>Las propiedades del agregado de concreto reciclado cumplen con las especificaciones técnicas establecidas para el concreto compactado con rodillo.</p> <p>Las variaciones en el tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado afectan en el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo.</p> <p>El CCR que incorpora RCA de 4.75 a 15 mm presenta una resistencia a compresión más alta en comparación con el grupo control que incorpora agregado natural grueso.</p> <p>El CCR que incorpora RCA de 4.75 a 10 mm presenta una resistencia a flexión más alta en comparación con el grupo control que incorpora agregado natural grueso.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Tamaño de partícula del agregado de concreto reciclado <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> Propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo <p>VARIABLES INTERVINIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> Nivel parcial de sustitución del RCA para elaborar mezclas de CCR Tipo de agregado natural Tipo de agregado de concreto reciclado Método de dosificación del CCR Tipo de aplicación 	<ul style="list-style-type: none"> Granulometría (mm) F'c (kg/cm²) Mr (kg/cm²) Nivel de sustitución F'c de diseño (kg/cm²) Tipo Tipo Método Tipo 	<ul style="list-style-type: none"> 4.75 – 10 mm 4.75 – 15 mm 4.75 – 20 mm 0 – 20 mm <420 kg/cm² <85 kg/cm² 50% RCA grueso 100% RCA grueso y fino 250 kg/cm² Canto rodado de la cantera Isia Triturado y tamizado de concreto residual proveniente del pavimento rígido Dosificación basada en pruebas de compactación del suelo Capa base en pavimentos de alta densidad de vehículos pesados 	<p>POBLACIÓN:</p> <p>La población son todas las posibles combinaciones del agregado grueso y fino de concreto reciclado que podrían ser utilizadas en la producción del CCR. Esto incluye todos los diferentes tamaños de partícula del agregado grueso y fino de concreto reciclado que podrían estar disponibles para su uso en la fabricación del CCR.</p> <p>MUESTRA:</p> <p>La muestra fue determinada por procedimiento no probabilístico a conveniencia del investigador. Se utilizó 04 grupos de RCA, provenientes de la demolición de pavimento rígido en Juliaca, con un diseño de f'c = 210 kg/cm². Los tamaños de partícula considerados fueron de 4.75 mm a 10 mm, 4.75 mm a 15 mm, 4.75 mm a 20 mm y de 0 mm a 25 mm, los cuales se emplearon para el diseño y producción del CCR. Los grupos con tamaños de partícula de 4.75 mm a 10 mm, 4.75 mm a 15 mm y 4.75 mm a 20 mm reemplazaron el agregado grueso natural en un 50%, mientras que el grupo de 0 mm a 25 mm sustituyó tanto el agregado grueso como el fino en un 100%.</p>	<p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Cuantitativo</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Quasi-experimental</p> <p>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Observación Pruebas estandarizadas e inventarios <p>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Fichas técnicas Formatos de laboratorio para los ensayos Hojas de cálculo Cuadernos de campo.

ANEXO 2

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Ubicación de la calle donde se obtuvo el concreto reciclado.



Fotografía 2

Extracción del concreto reciclado.



Fotografía 3

Trituración, lavado y tamizado de concreto residual.



Fotografía 4

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.



Fotografía 5

Prueba de peso unitario del agregado fino.



Fotografía 6

Prueba de peso unitario del agregado grueso.



Fotografía 7

Prueba de peso específico del agregado grueso y fino.



Fotografía 8

Prueba de contenido de humedad de los agregados.



Fotografía 9

Prueba de Proctor Modificado.



Fotografía 10

Proporción de los componentes de las mezclas.



Fotografía 11

Mezclado de los componentes de la mezcla.



Fotografía 12

Slump para diseño de mezclas.



Fotografía 13

Elaboración, compactación de cilindros.



Fotografía 14

Codificación de especímenes.



Fotografía 15

Elaboración, compactación de viguetas.



Fotografía 16

Codificación de especímenes



Fotografía 17

Ensayo de resistencia a la compresión.



Fotografía 18

Ensayo de módulo de rotura.



ANEXO 3

**CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS EN EL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONCRETO Y ASFALTO —UANCV**



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

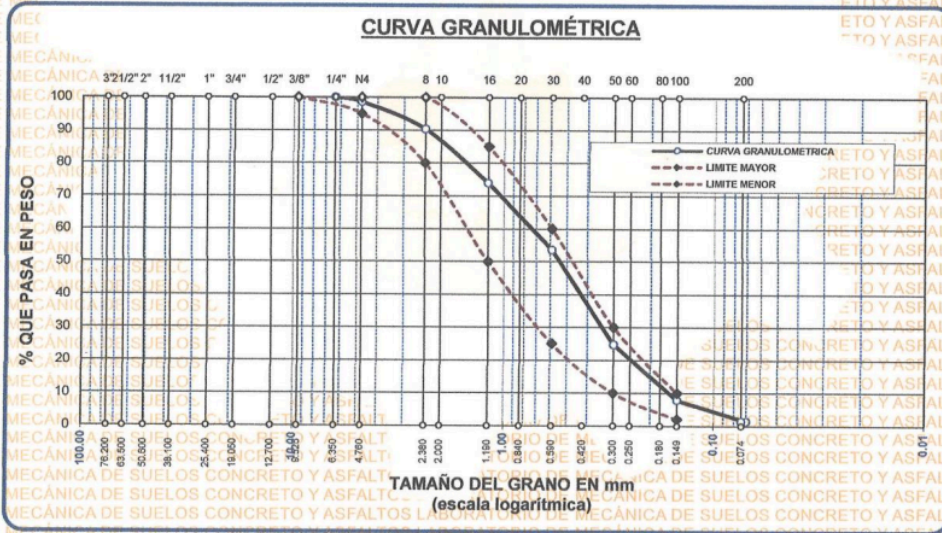


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA : ARENA
FECHA : 08 DE NOVIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr. Módulo de Fineza = 2.51 OBSERVACIONES:
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00		
No4	4.760	7.20	1.44	1.44	98.56	95 - 100 %	
No8	2.380	41.15	8.23	9.67	90.33	80 - 100 %	
No10	2.000						
No16	1.190	82.13	16.43	26.10	73.90	50 - 85 %	
No20	0.840						
No30	0.590	101.54	20.31	46.40	53.60	25 - 60 %	
No40	0.420						
No 50	0.300	144.23	28.85	75.25	24.75	10 - 30 %	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	84.65	16.93	92.18	7.82	2-10%	
No200	0.074	32.15	6.43	98.61	1.39		
BASE		6.95	1.39	100	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA		1.39					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL

Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

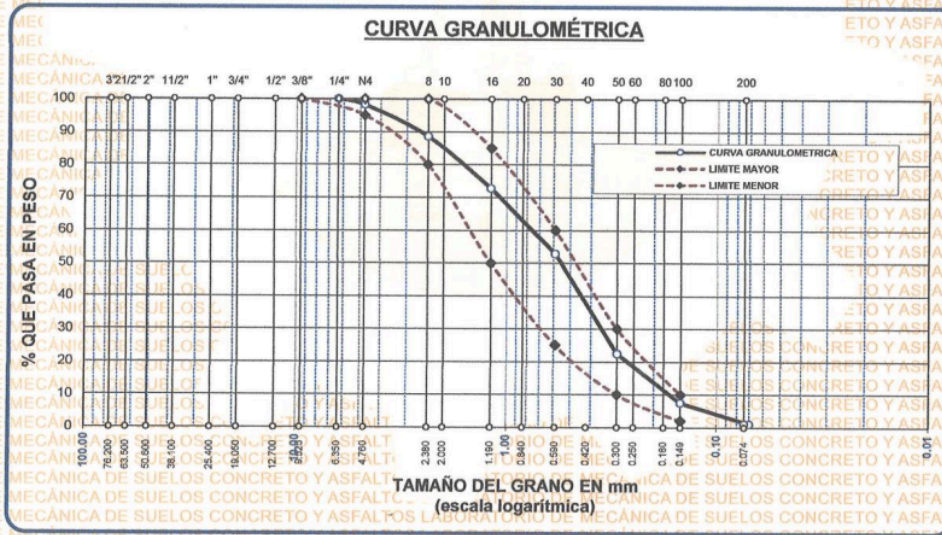


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO FINO
FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr. Módulo de Fineza = 2.58 OBSERVACIONES:
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00		
No4	4.760	8.91	1.78	1.78	98.22	95 - 100 %	
No8	2.380	48.21	9.64	11.42	88.58	80 - 100 %	
No10	2.000						
No16	1.190	79.25	15.85	27.27	72.73	50 - 85 %	
No20	0.840						
No30	0.590	99.28	19.86	47.13	52.87	25 - 60 %	
No40	0.420						
No 50	0.300	152.35	30.47	77.60	22.40	10 - 30 %	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	74.62	14.92	92.52	7.48	2-10%	
No200	0.074	32.15	6.43	98.95	1.05		
BASE		5.23	1.05	100	0.00		
MECÁNICA TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA							



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCV - FICP
 GAP INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO M.S.C.A.
 M. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



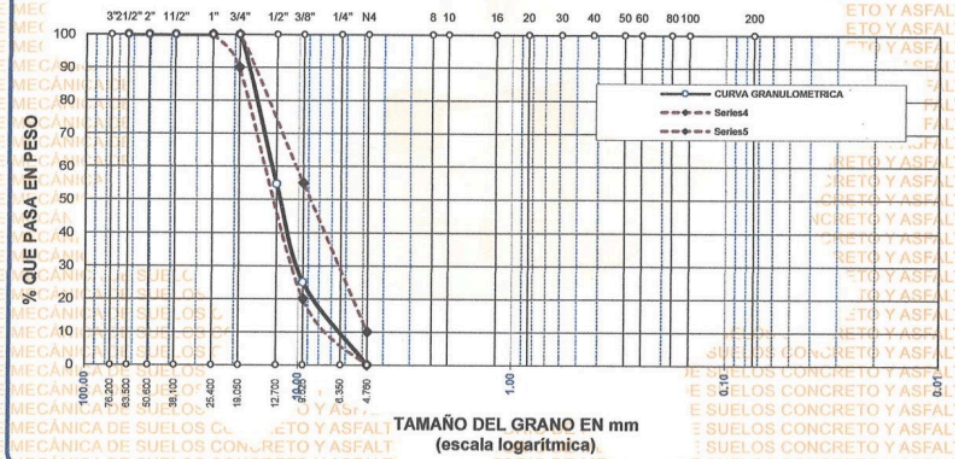
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE: Bach. BRIGHIT ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (20)
FECHA: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	Peso Inicial = 5000 gr Tamaño máx. nominal = 3/4" OBSERVACIONES: HUSO 67
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100 %	
1/2"	12.700	2263.00	45.26	45.26	54.74	20 - 55 %	
3/8"	9.525	1487.00	29.74	75.00	25.00	0 - 10 %	
1/4"	6.350						
No4	4.760	1225.00	24.50	99.50	0.50		
BASE		25.00	0.63	0.0	100.0		
TOTAL		5000.00	100.00				
% PERDIDA		0.50					

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNANCY - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 MGR. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

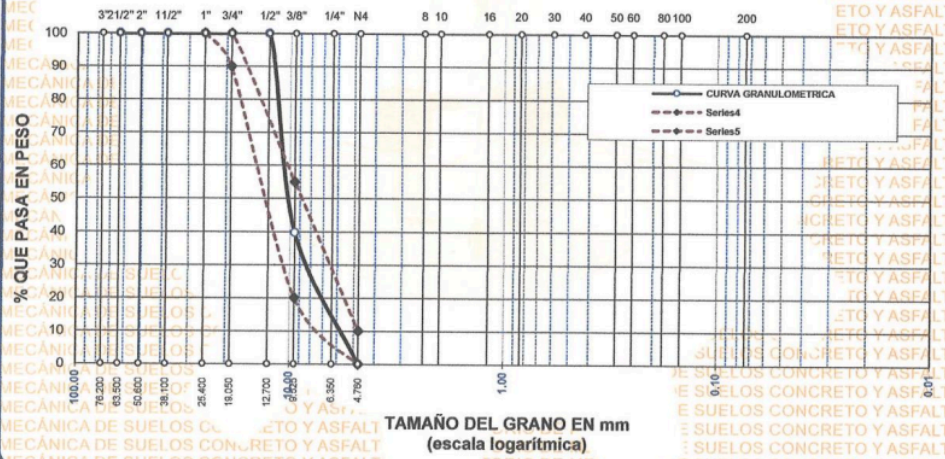
NORMA: ASTM C 33

TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)
FECHA: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		Peso Inicial = 5000 gr.
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		Tamaño máx. nominal = 3/8"
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100 %	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	3012.00	60.24	60.24	39.76	20 - 55 %	
1/4"	6.350						
No4	4.760	1968.00	39.36	99.60	0.40	0 - 10 %	
BASE		20.00	0.50	0.0	100.0		
TOTAL		5000.00	100.00				
% PERDIDA		0.40					

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
 Peso Inicial = 5000 gr.
 Tamaño máx. nominal = 3/8"
OBSERVACIONES:
 HUSO 67

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RÓDILLO

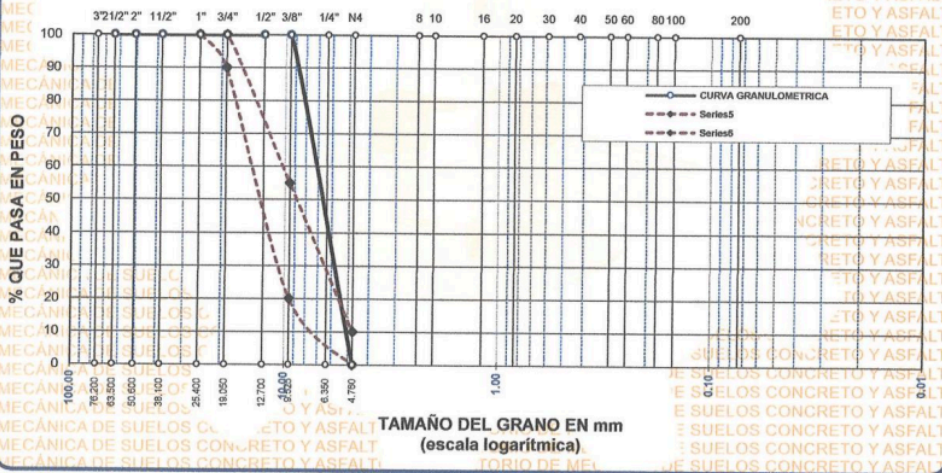
SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial = 5000 gr Tamaño máx. nominal = N° 4 OBSERVACIONES: HUSO 67
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100 %	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	20 - 55 %	
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	0 - 10 %	
1/4"	6.350						
No4	4.760	4981.00	99.62	99.62	0.38		
BASE		19.00	0.48	0.0	100.0		
TOTAL		5000.00	100.00				
% PERDIDA		0.38					

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UANCV FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA REICLADO EN LAS

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO REICLADO FINO

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO (ARF)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	9016.00 gr	9028.00 gr	9009.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	3046.00 gr	3058.00 gr	3039.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.451 gr/cm ³	1.457 gr/cm ³	1.448 gr/cm ³
PROMEDIO		1.452 gr/cm ³	

DENSIDAD MÁXIMA AGREGADO (ARF)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9264.00 gr	9245.00 gr	9268.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3294.00 gr	3275.00 gr	3298.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.569 gr/cm ³	1.560 gr/cm ³	1.571 gr/cm ³
PROMEDIO		1.567 gr/cm ³	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



LANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL

Mgr. RONALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS
 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (20)

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO GRUESO- RCA-G (20)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	8640.00 gr	8631.00 gr	8618.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	2670.00 gr	2661.00 gr	2648.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.272 gr/cm ³	1.267 gr/cm ³	1.261 gr/cm ³
PROMEDIO		1.267 gr/cm ³	

DENSIDAD MÁXIMA AGREGADO GRUESO - RCA-G (20)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	8884.00 gr	8898.00 gr	8875.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	2914.00 gr	2928.00 gr	2905.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.388 gr/cm ³	1.395 gr/cm ³	1.384 gr/cm ³
PROMEDIO		1.389 gr/cm ³	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm3	2099 cm3	2099 cm3
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	8532.00 gr	8502.00 gr	8512.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	2562.00 gr	2532.00 gr	2542.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.220 gr/cm3	1.206 gr/cm3	1.211 gr/cm3
PROMEDIO		1.212 gr/cm3	

DENSIDAD MINIMA AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm3	2099 cm3	2099 cm3
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	8761.00 gr	8774.00 gr	8759.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	2791.00 gr	2804.00 gr	2789.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.329 gr/cm3	1.336 gr/cm3	1.328 gr/cm3
PROMEDIO		1.331 gr/cm3	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNACV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 MSc. BRUNO YANUARRES
 CP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	8818.00 gr	8851.00 gr	8828.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	2848.00 gr	2881.00 gr	2858.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.357 gr/cm ³	1.372 gr/cm ³	1.361 gr/cm ³
PROMEDIO		1.363 gr/cm ³	

DENSIDAD MÁXIMA AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)

PESO DEL MOLDE	5970 gr	5970 gr	5970 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2099 cm ³	2099 cm ³	2099 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9042.00 gr	9087.00 gr	9069.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3072.00 gr	3117.00 gr	3099.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.463 gr/cm ³	1.485 gr/cm ³	1.476 gr/cm ³
PROMEDIO		1.475 gr/cm ³	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UANGCV- FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚBICAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO FINO
LUGAR CIUDAD DE JULIACA
FECHA 13 DE NOVIEMBRE DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO FINO	
N° DE TARRO	A
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (g)	365.20
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (g)	363.50
PESO DEL TARRO (g)	45.20
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (g)	320.00
PESO DE LA MUESTRA seca (g)	318.30
PESO DEL AGUA (g)	1.70
% HUMEDAD	0.53

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO FINO

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro
3/8"	0	0.00	0.00	100.00	A -Peso de muestra secada al horno = 458.65 B -Peso de muestra saturada seca (SSS) = 500.00 Wc -Peso del picnómetro con agua = 1313.43 W -Peso del Pic. + muestra + agua = 1596.35 PESO ESPECÍFICO $Wc+B = 1813$ $Wc+B-W = 217$ $Pe = \frac{B}{Wc+B-W} = 2.30 \text{ gr/cm}^3$ ABSORCIÓN $B = 500.00$ $B-A = 41.35$ $Abs. = \frac{(B-A) \times 100}{B} = 9.02\%$
N° 4	8.91	1.78	1.78	98.22	
N° 8	48.21	9.64	11.42	88.58	
N° 16	79.25	15.85	27.27	72.73	
N° 30	99.28	19.86	47.13	52.87	
N° 50	152.35	30.47	77.60	22.40	
N° 100	74.62	14.92	92.52	7.48	
N° 200	32.15	6.43	98.95	1.05	
FONDO	5.23	1.05	100.00	0.00	
SUMA	500.00	100.00			
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico					
Mf = MÓDULO DE FINEZA = 2.58					

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mjr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 703267

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (20)

LUGAR: CIUDAD DE JULIACA

FECHA: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO RCA-G (20)	
N° DE TARRO	B
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (g)	371.80
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (g)	370.80
PESO DEL TARRO (g)	58.00
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (g)	325.70
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	324.70
PESO DEL AGUA (g)	1.00
% HUMEDAD	0.31

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO RCA-G (20)

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro	
2"	0	0.00	0.00	100.00	A	-Peso de muestra secada al horno 741.45
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	B	-Peso de muestra saturada seca (SSS) 800.00
1"	0	0.00	0.00	100.00	Wc	-Peso del picnómetro con agua 1313.43
3/4"	0	0.00	0.00	100.00	W	-Peso del Pic. + muestra + agua 1766.38
1/2"	2263	45.26	45.26	54.74	PESO ESPECÍFICO	
3/8"	1487	29.74	75.00	25.00	Wc+B =	2113
1/4"	1225	24.50	99.50	0.50	Wc+B-W =	347
FONDO	25.00	0.50	100.00	0.00	Pe =	$\frac{B}{Wc+B-W} = \frac{800.00}{2113-347} = 2.31 \text{ gr/cm}^3$
SUMA	5000.00	100.00			ABSORCIÓN	
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico					B =	800.00
MODULO DE FINURA			7.19		B-A =	58.55
					Abs =	$\frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{58.55 \times 100}{800.00} = 7.32\%$

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 M. Sc. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚRAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)
LUGAR: CIUDAD DE JULIACA
FECHA: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)	
N° DE TARRO	C
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (g)	377.50
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (g)	376.30
PESO DEL TARRO (g)	48.10
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (g)	329.40
PESO DE LA MUESTRA SECA (g)	328.20
PESO DEL AGUA (g)	1.20
% HUMEDAD	0.37

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (15)

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
2"	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00
1"	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	3012	60.24	60.24	39.76
1/4"	1968	39.36	99.60	0.40
N° 4	1968	39.36	99.60	0.40
FONDO	20.00	0.40	100.00	0.00
SUMA	5000.00	100.00		
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico				
MÓDULO DE FINURA 6.29				

Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro

A -Peso de muestra secada al horno 738.95
 B -Peso de muestra saturada seca (SSS) 800.00
 Wc -Peso del picnómetro con agua 1313.43
 W -Peso del Pic. + muestra + agua 1765.40

PESO ESPECÍFICO

Wc+B = 2113 Wc+B-W = 348
 $P_e = \frac{B}{Wc + B - W} = 2.30 \text{ gr/cm}^3$

ABSORCIÓN

B = 800.00 B-A = 61.05
 $Abs = \frac{(B-A) \times 100}{B} = 8.26 \%$

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UANCV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 MSc. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)
LUGAR: CIUDAD DE JULIACA
FECHA: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD

MUESTRA: AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)	
N° DE TARRO	D
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (g)	401.20
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (g)	399.65
PESO DEL TARRO (g)	47.00
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (g)	354.20
PESO DE LA MUESTRA seca (g)	352.65
PESO DEL AGUA (g)	1.55
% HUMEDAD	0.44

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO GRUESO - RCA-G (10)

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
2	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00
1"	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	0	0.00	0.00	100.00
3/8"	0	0.00	0.00	100.00
1/4"	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4981	99.62	99.62	0.38
FONDO	19.00	0.38	100.00	0.00
SUMA	5000.00	100.00		

Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro	
A	-Peso de muestra secada al horno 736.35
B	-Peso de muestra saturada seca (SSS) 800.00
Wc	-Peso del picnómetro con agua 1313.43
W	-Peso del Pic. + muestra + agua 1765.31
PESO ESPECÍFICO	
Wc+B =	2113
Wc+B-W =	348
Pe = $\frac{B}{Wc+B-W}$	2.30 gr/cm3
ABSORCIÓN	
B =	800.00
B-A =	63.65
Abs = $\frac{(B-A) \times 100}{A}$	8.64 %

Observaciones sobre el Análisis Granulométrico
 MODULO DE FINURA 5.69

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UNANCY - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 MSc. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

TESIS	: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE	: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA	: HORMIGÓN CON CEMENTO 14%
LUGAR	: CIUDAD DE JULIACA
FECHA	: 11 DE NOVIEMBRE DEL 2024

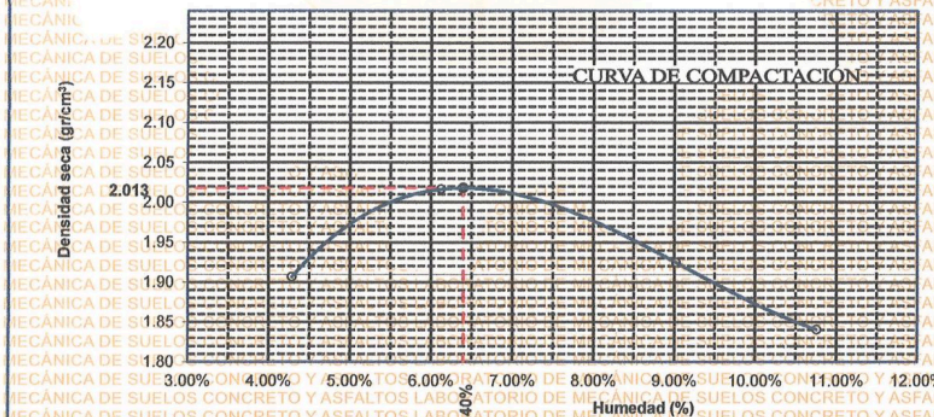
MOLDE No	: 1	VOLUMEN DEL MOLDE	: 2079 cm ³
No DE CAPAS	: 5	GOLPES POR CAPA	: 56 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	10063	10378	10291	10167
Peso del Molde	gr.	5929	5929	5929	5929
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	4134	4449	4362	4238
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm ³ .	1.988	2.140	2.098	2.038

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.		AS	INF.
		SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.				
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	286.91	295.45	284.98	272.55	286.42	274.63	278.67	268.52		
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	277.55	285.01	271.62	259.55	266.62	256.30	256.32	247.35		
Peso del Agua	gr.	9.36	10.44	13.36	13.00	19.80	18.33	22.35	21.17		
Peso de la Capsula	gr.	50.10	51.12	50.48	50.20	52.01	48.65	50.12	49.06		
Peso del Suelo Seco	gr.	227.45	233.89	221.14	209.35	214.61	207.65	206.20	198.29		
% de Humedad	%	4.12%	4.46%	6.04%	6.21%	9.23%	8.83%	10.84%	10.68%		
Promedio de Humedad	%	4.29%		6.13%		9.03%		10.76%			
Densidad del Suelo Seco	%	1.907		2.016		1.924		1.840			

METODO:	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	MAXIMA DENSIDAD SECA	: 2.013 gr/cm ³
		HUMEDAD OPTIMA	: 6.40%

RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UANCV FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA
 Mtro. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
 SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
 DISEÑO: f'c=250 kg/cm² - CONCRETO PATRÓN CCR-AN20

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AN-F	AN-G
PESO ESPECÍFICO DE MASA	g/cm ³	2.45	2.46
ABSORCIÓN	%	4.15	2.8
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.15	1.3

2. CEMENTO

TIPO	RUMI PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.10 g/cm ³

3. DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	14%
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	33%

4. PROCTOR ASTM D1557

DENSIDAD SECA MAXIMA	2.013 gr/cm ³
CONT. DE HUMEDAD OPTIMO	6.40 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX. MEZCLA COMPACTADA 5.2 Kg

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO =	0.681 Kg
AGUA =	0.333 Lt
AGREGADO FINO =	2.573 Kg
AGREGADO GRUESO =	1.613 Kg

VOLUMENES

CEMENTO =	0.000220 m ³
AGUA =	0.000333 m ³
AGREGADO FINO =	0.001050 m ³
AGREGADO GRUESO =	0.000655 m ³
SUMA	0.002258 m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³. Entonces:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.0

VOLUMEN SIN AIRE = 0.980

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.980}{0.002258}$$

$$F = 433.93$$

D. MATERIALES PARA 1 m³

VOLUMEN	
CEMENTO =	0.095 m ³
AGUA =	0.144 m ³
AGREGADO FINO =	0.456 m ³
AGREGADO GRUESO =	0.284 m ³
AIRE =	0.020 m ³

PESO	
CEMENTO =	295.68 Kg
AGUA =	144.41 Lt
AGREGADO FINO =	1116.63 Kg
AGREGADO GRUESO =	699.72 Kg
AIRE =	2.00 %

RELACION A/C = 0.49

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO =	295.68 Kg
AGUA =	177.86 Lt
AGREGADO FINO =	1140.64 Kg
AGREGADO GRUESO =	708.81 Kg
AIRE =	2.00 %

CEMENTO = 6.96 Bls./m³

RELACION A/C EFECTIVA = 0.60

F. PROPORCIONAMIENTO (MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD)

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

CEMENTO =	1.000
AGREGADO FINO =	3.858
AGREGADO GRUESO =	2.397
AGUA =	25.6 (L/m ³)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 5 especímenes)

TANDA (m ³):	0.03 m ³
CEMENTO (g) =	30.00
AGUA EFECTIVA (cm ³) =	769.5
AGREGADO FINO (g) =	11406.4
AGREGADO GRUESO (g) =	7088.1



UAN AGREGADO GRUESO (g) = 7088.1
 CAP INGENIERIA CIVIL
 MSc. PABLO VILLATORRES
 CAP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE: Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

DISEÑO: f'c = 250 kg/cm² - CONCRETO PATRÓN CCR-RCA20

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RCA-F	RCA-G (20)
PESO ESPECÍFICO DE MASA	g/cm ³	2.30	2.31
ABSORCIÓN	%	9.02	7.9
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.53	0.31

2. CEMENTO

TIPO	RUMI PORTLAND TIPO I
PESO ESPECÍFICO	3.10 g/cm ³

3. DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	14%
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	33%

4. PROCTOR ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.013 gr/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.40 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX. MEZCLA COMPACTADA 5.2 Kg

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO	=	0.681 Kg
AGUA	=	0.333 Lt
AGREGADO FINO RECICLADO	=	2.573 Kg
REGADO GRUESO RECICLADO	=	1.613 Kg

VOLUMENES

CEMENTO	=	0.000220 m ³
AGUA	=	0.000333 m ³
A.F. RECICLADO	=	0.001119 m ³
A.G. RECICLADO	=	0.000699 m ³
SUMA	=	0.002371 m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³. Entonces:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.0

VOLUMEN SIN AIRE = 0.980

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.980}{0.002371}$$

$$F = 413.39$$

D. MATERIALES PARA 1 m³

	VOLUMEN
CEMENTO	= 0.091 m ³
AGUA	= 0.138 m ³
AGREGADO FINO RECICLADO	= 0.463 m ³
REGADO GRUESO RECICLADO	= 0.289 m ³
AIRE	= 0.020 m ³

	PESO
CEMENTO	= 281.69 Kg
AGUA	= 137.58 Lt
AGREGADO FINO RECICLADO	= 1063.77 Kg
AGREGADO GRUESO RECICLADO	= 666.59 Kg
AIRE	= 2.00 %
RELACION A/C	= 0.49
CEMENTO	= 6.63 Bls/m ³

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

CEMENTO	= 281.69 Kg	AGREGADO FINO RECICLADO	= 1069.41 Kg
AGUA	= 279.12 Lt	AGREGADO GRUESO RECICLADO	= 668.66 Kg
AGREGADO FINO RECICLADO	= 90.79	AIRE	= 2.00 %
REGADO GRUESO RECICLADO	= 50.75	RELACION A/C EFECTIVA	= 0.99
	= -141.54		

F. PROPORCIONAMIENTO (MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD)

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

CEMENTO	= 1.000
AGREGADO FINO RECICLADO	= 3.796
REGADO GRUESO RECICLADO	= 2.374
AGUA	= 42.1 (lt)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 5 especímenes)

TANDA (m ³):	0.03 m ³
CEMENTO (g):	8451
AGUA EFECTIVA (cm ³):	8374
A. F. RECICLADO (g):	33000
AGREGADO GRUESO RECICLADO (g):	20060



UNIV. INGENIERIA CIVIL
Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.
 SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
 DISEÑO : Fc=250 kg/cm² - CONCRETO PATRÓN CCR-10

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AN-F	AN-G	RCA-G(10)
PESO ESPECÍFICO DE MASA	g/cm ³	2.45	2.46	2.38
ABSORCIÓN	%	4.15	2.8	8.64
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.15	1.3	0.44

2. CEMENTO

TIPO	RUMI PORTLAND TIPO I
PESO ESPECÍFICO	3.10 g/cm ³

3. DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	14%
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	33%

4. PROCTOR ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.013 gr/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.40 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX. MEZCLA COMPACTADA 5.2 Kg

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO =	0.681 Kg
AGUA =	0.333 Lt
AGREGADO FINO NATURAL =	2.573 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL =	1.309 Kg
RCA-G (10) =	0.303 Kg

VOLUMENES

CEMENTO =	0.000220 m ³
AGUA =	0.000333 m ³
A.F. NATURAL =	0.001050 m ³
A.G. NATURAL =	0.000532 m ³
RCA-G (10) =	0.000132 m ³
SUMA	0.002267 m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³. Entonces:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.0

VOLUMEN SIN AIRE

= 0.980

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.980}{0.002267}$$

F = 432.25

D. MATERIALES PARA 1 m³

VOLUMEN	
CEMENTO =	0.095 m ³
AGUA =	0.144 m ³
AGREGADO FINO NATURAL =	0.454 m ³
AGREGADO GRUESO NATURAL =	0.230 m ³
RCA-G (10) =	0.057 m ³
AIRE =	0.020 m ³

PESO

CEMENTO =	294.54 Kg
AGUA =	143.85 Lt
AGREGADO FINO NATURAL =	1112.31 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL =	565.94 Kg
RCA-G (10) =	131.07 Kg
AIRE =	2.00 %
RELACION A/C =	0.49
CEMENTO =	6.93 Bols./m ³

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

AGREGADO FINO NATURAL =	22.72
AGREGADO GRUESO NATURAL =	-8.60
RCA-G (10) =	-10.80
AGREGADO FINO NATURAL	1136.22 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	573.29 Kg
RCA-G (10)	131.65 Kg
AIRE	2.00 %
RELACION A/C EFECTIVA	0.63

F. PROPORCIONAMIENTO (MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD)

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

CEMENTO =	1.000
AGREGADO FINO NATURAL =	3.858
AGREGADO GRUESO NATURAL =	1.946
RCA-G (10) =	0.447
AGUA =	26.8 (1/4 Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 5 especímenes)

TANDA (m ³):	0.03 m ³
CEMENTO (g) =	8836
AGUA EFECTIVA (cm ³) =	5579
AGREGADO FINO N. (g) =	34087
AGREGADO GRUESO N. (g) =	17199
RCA-G (10) (g) =	3949



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS I
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.
 SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARCALLO
 DISEÑO : f'c=250 kg/cm² - CONCRETO PATRÓN CCR-15

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AN-F	AN-G	RCA-G(15)
PESO ESPECÍFICO DE MASA	g/cm ³	2.45	2.46	2.3
ABSORCIÓN	%	4.15	2.8	8.26
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.15	1.3	0.37

2. CEMENTO

TIPO	RUMI PORTLAND TIPO I
PESO ESPECÍFICO	3.10 g/cm ³

3. DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	14%
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	33%

4. PROCTOR ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.013 gr/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.40 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX. MEZCLA COMPACTADA 5.2 Kg

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO	=	0.681 Kg
AGUA	=	0.333 Lt
AGREGADO FINO NATURAL	=	2.573 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	1.136 Kg
RCA-G (15)	=	0.476 Kg

VOLUMENES

CEMENTO	=	0.000220 m ³
AGUA	=	0.000333 m ³
A.F. NATURAL	=	0.001050 m ³
A.G. NATURAL	=	0.000462 m ³
RCA-G (15)	=	0.000208 m ³

SUMA = 0.002272 m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³. Entonces:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.0

VOLUMEN SIN AIRE = 0.980

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.980}{0.002272}$$

$$F = 431.29$$

D. MATERIALES PARA 1 m³

VOLUMEN	
CEMENTO	= 0.095 m ³
AGUA	= 0.144 m ³
AGREGADO FINO NATURAL	= 0.453 m ³
AGREGADO GRUESO NATURAL	= 0.199 m ³
RCA-G (15)	= 0.090 m ³
AIRE	= 0.020 m ³

PESO

CEMENTO	=	293.88 Kg
AGUA	=	143.53 Lt
AGREGADO FINO NATURAL	=	1109.82 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	489.94 Kg
RCA-G (15)	=	205.51 Kg
AIRE	=	2.00 %
RELACION A/C	=	0.49
CEMENTO	=	6.91 Bls./m ³

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

AGREGADO FINO NATURAL	=	-22.67
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	-7.44
RCA-G (15)	=	-16.27
AGREGADO FINO NATURAL	=	-46.39

AGREGADO FINO NATURAL	=	1133.68 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	496.31 Kg
RCA-G (15)	=	206.27 Kg
AIRE	=	2.00 %
RELACION A/C EFECTIVA	=	0.65

F. PROPORCIONAMIENTO (MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD)

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

CEMENTO	=	1.000
AGREGADO FINO NATURAL	=	3.858
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	1.689
RCA-G (15)	=	0.702
AGUA	=	27.5 (Lt/Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 5 especímenes)

TANDA (m ³):	0.03 m ³
CEMENTO (g)	8816
AGUA EFECTIVA (cm ³)	5698
AGREGADO FINO N. (g)	34010
AGREGADO GRUESO N. (g)	14889
RCA-G (15) (g)	6188



UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLAS

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.
 SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
 DISEÑO : f = 250 kg/cm² - CONCRETO PATRÓN CCR-20

1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	AN-F	AN-G	RCA-G(20)
PESO ESPECÍFICO DE MASA	g/cm ³	2.45	2.46	2.31
ABSORCIÓN	%	4.15	2.8	7.9
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.15	1.3	0.31

2. CEMENTO

TIPO	RUMI PORTLAND TIPO I
PESO ESPECÍFICO	3.10 g/cm ³

3. DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA DE PROCTOR

CEMENTO	14%
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	33%

4. PROCTOR ASTM D1557

DENSIDAD SECA MÁXIMA	2.013 gr/cm ³
CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO	6.40 %

5. PROCEDIMIENTO

A. PESO APROX. MEZCLA COMPACTADA 5.2 Kg

MATERIALES COMPONENTES

CEMENTO	=	0.681 Kg
AGUA	=	0.333 Lt
AGREGADO FINO NATURAL	=	2.573 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	=	0.806 Kg
RCA-G (20)	=	0.806 Kg

VOLUMENES

CEMENTO	=	0.000220 m ³
AGUA	=	0.000333 m ³
A.F. NATURAL	=	0.001050 m ³
A.G. NATURAL	=	0.000328 m ³
RCA-G (20)	=	0.000349 m ³
SUMA	=	0.002280 m³

B. AIRE ATRAPADO

Considerando para 1 m³. Entonces:

AIRE ATRAPADO (%) = 2.0

VOLUMEN SIN AIRE = 0.980

C. FACTOR

Para 1 m³ de concreto, multiplicar el volumen de cada material por:

$$F = \frac{0.980}{0.002280}$$

$$F = 429.81$$

D. MATERIALES PARA 1 m³

VOLUMEN	
CEMENTO	= 0.094 m ³
AGUA	= 0.143 m ³
AGREGADO FINO NATURAL	= 0.451 m ³
AGREGADO GRUESO NATURAL	= 0.141 m ³
RCA-G (20)	= 0.150 m ³
AIRE	= 0.020 m ³

PESO	
CEMENTO	= 292.88 Kg
AGUA	= 143.04 Lt
AGREGADO FINO NATURAL	= 1106.03 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	= 346.54 Kg
RCA-G (20)	= 346.54 Kg
AIRE	= 2.00 %
RELACION A/C	= 0.49
CEMENTO	= 6.89 y Bts./m ³

E. MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD

AGREGADO FINO NATURAL	= 22.60
AGREGADO GRUESO NATURAL	= -5.27
RCA-G (20)	= -26.38
AIRE	= -54.25

AGREGADO FINO NATURAL	= 1129.81 Kg
AGREGADO GRUESO NATURAL	= 351.04 Kg
RCA-G (20)	= 347.61 Kg
AIRE	= 2.00 %
RELACION A/C EFECTIVA	= 0.67

F. PROPORCIONAMIENTO (MATERIALES CORREGIDOS POR HUMEDAD)

PROPORCIONAMIENTO EN PESO

CEMENTO	= 1.000
AGREGADO FINO NATURAL	= 3.858
AGREGADO GRUESO NATURAL	= 1.199
RCA-G (20)	= 1.187
AGUA	= 28.6 (Lt/Bolsa)

MATERIALES PARA TANDA (aproximado para 5 especímenes)

TANDA (m ³):	0.03 m ³
CEMENTO (g)	8786
AGUA EFECTIVA (cm ³)	5919
AGREGADO FINO N. (g)	33894
AGREGADO GRUESO N. (g)	10531
RCA-G (20) (g)	10428



YANALDO TORRES
 CAP INGENIERIA CIVIL
 M.S.C.A.
 M. ARNALDO YANALDO TORRES
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES

MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : CCR 10 - CCR 15

LUGAR : CIUDAD DE JULIACA

FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DÍAS - MUESTRA CON CCR-10

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F ^c Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	RESISTENCIA %
1	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm CCR-10 - M-1	48120.00	15.02	177.2	271.57	250	8/11/2024	6/12/2024	28	108.63%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CCR-10 - M-2	48250.00	15.05	177.9	271.24	250	8/11/2024	6/12/2024	28	108.49%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.01 x 30.0 cm CCR-10 - M-3	47350.00	15.01	177	267.59	250	8/11/2024	6/12/2024	28	107.04%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm CCR-10 - M-4	47900.00	15.06	178.1	268.90	250	8/11/2024	6/12/2024	28	107.56%
5	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CCR-10 - M-5	47310.00	15.05	177.9	265.95	250	8/11/2024	6/12/2024	28	106.38%
					PROMEDIO kg/cm ²	269.05			PROMEDIO	107.62%

EDAD : 28 DÍAS - MUESTRA CON CCR-15

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F ^c Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	RESISTENCIA %
1	PROBETA DE PRUEBA 15.01 x 30.0 cm CCR-15 - M-1	48360.00	15.01	177	273.30	250	8/11/2024	6/12/2024	28	109.32%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm CCR-15 - M-2	47130.00	15.03	177.4	265.64	250	8/11/2024	6/12/2024	28	106.26%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CCR-15 - M-3	49020.00	15.05	177.9	275.56	250	8/11/2024	6/12/2024	28	110.23%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.07 x 30.0 cm CCR-15 - M-4	47850.00	15.07	178.4	268.26	250	8/11/2024	6/12/2024	28	107.31%
5	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm CCR-15 - M-5	48500.00	15.02	177.2	273.72	250	8/11/2024	6/12/2024	28	109.49%
					PROMEDIO kg/cm ²	271.30			PROMEDIO	108.52%

OBSERVACIONES:
 1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UANCY - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL
 Mgr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARCACALO

MUESTRA : CCR-20 - CCR-CRA20

LUGAR : CIUDAD DE JULIACA

FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-20

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	φ cm	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F'c Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%
1	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CCR-20 - M-1	44420.00	15.05	177.9	249.70	250	8/11/2024	6/12/2024	28	99.88%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm CCR-20 - M-2	45180.00	15.03	177.4	254.65	250	8/11/2024	6/12/2024	28	101.86%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.07 x 30.0 cm CCR-20 - M-3	44640.00	15.07	178.4	250.27	250	8/11/2024	6/12/2024	28	100.11%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CCR-20 - M-4	45810.00	15.05	177.9	257.52	250	8/11/2024	6/12/2024	28	103.01%
5	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm CCR-20 - M-5	44520.00	15.02	177.2	251.26	250	8/11/2024	6/12/2024	28	100.50%
					PROMEDIO kg/cm ²	252.68			PROMEDIO	101.07%

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-CRA20

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	φ cm	AREA cm ²	ESF. ROTURA Kg/cm ²	F'c Kg/cm ²	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DIAS	%
1	PROBETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm CRA20 - M-1	34870.00	15.06	178.1	195.76	250	8/11/2024	6/12/2024	28	78.30%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm CRA20 - M-2	34050.00	15.04	177.7	191.66	250	8/11/2024	6/12/2024	28	76.66%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm CRA20 - M-3	36050.00	15.04	177.7	202.92	250	8/11/2024	6/12/2024	28	81.17%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.07 x 30.0 cm CRA20 - M-4	35430.00	15.07	178.4	198.63	250	8/11/2024	6/12/2024	28	79.45%
5	PROBETA DE PRUEBA 15.05 x 30.0 cm CRA20 - M-5	35010.00	15.05	177.9	196.81	250	8/11/2024	6/12/2024	28	78.72%
					PROMEDIO kg/cm ²	197.15			PROMEDIO	78.86%

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UANCV - FICP
CAP INGENIERIA CIVIL

Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECIKLADO EN LAS PROPIEDADES

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : CCR-CAN20

LUGAR : CIUDAD DE JULIACA

FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-20

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F _C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	PROBETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm CCR-CAN20 - M-1	46450.00	15.03	177.4	261.81	250	8/11/2024	6/12/2024	28	104.72%
2	PROBETA DE PRUEBA 15.07 x 30.0 cm CCR-CAN20 - M-2	46090.00	15.07	176.6	260.94	250	8/11/2024	6/12/2024	28	104.38%
3	PROBETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm CCR-CAN20 - M-3	45870.00	15.02	176.6	259.70	250	8/11/2024	6/12/2024	28	103.88%
4	PROBETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm CCR-CAN20 - M-4	47210.00	15.04	176.6	267.28	250	8/11/2024	6/12/2024	28	106.91%
5	PROBETA DE PRUEBA 15.07 x 30.0 cm CCR-CAN20 - M-5	46100.00	15.07	176.6	261.00	250	8/11/2024	6/12/2024	28	104.40%
PROMEDIO kg/cm ²					262.14		PROMEDIO			104.86%

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UANOV - FICP
 CAP INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁZQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

NORMA ASTM C 78

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES
MECANICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO
MUESTRA : CCR 10 - CCR 15
LUGAR : CIUDAD DE JULIACA
FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-10

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LUZ LIBRE	PROMEDIO		LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
					cm	b (cm)	h (cm)		
1	CCR 10 - V-1	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.03	15.06	4915.00	43.25
2	CCR 10 - V-2	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	14.99	15.02	4765.00	42.27
3	CCR 10 - V-3	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.01	15.03	4875.00	43.13
4	CCR 10 - V-4	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.04	15.02	4744.00	41.94
5	CCR 10 - V-5	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.02	15.05	4832.00	42.61
Promedio kg/cm²									42.64

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-15

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LUZ LIBRE	PROMEDIO		LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
					cm	b (cm)	h (cm)		
1	CCR 15 - V-1	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.03	15.05	4906.00	43.23
2	CCR 15 - V-2	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.00	15.02	4980.00	44.15
3	CCR 15 - V-3	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.05	15.01	5002.00	44.26
4	CCR 15 - V-4	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.04	15.07	4970.00	43.65
5	CCR 15 - V-5	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.06	15.04	5062.00	44.58
Promedio kg/cm²									43.97

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UNO V. FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO M.S.C.A.
 JEFATURA JULIACA PERU
 MSc. ARNALDO YANA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁZQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

NORMA ASTM C - 78

TESTIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTICULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES

MECÁNICA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : CCR 20 - CCR-RCA20

LUGAR : CIUDAD DE JULIACA

FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-20

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LUZ LIBRE cm	PROMEDIO		LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
						b (cm)	h (cm)		
1	CCR 20 - V-1	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.04	15.05	4359.00	38.39
2	CCR 20 - V-2	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.02	15.04	4523.00	39.94
3	CCR 20 - V-3	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.05	15.03	4634.00	40.89
4	CCR 20 - V-4	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.03	15.05	4538.00	39.99
5	CCR 20 - V-5	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.04	15.06	4590.00	40.37
Promedio kg/cm²									39.91

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-RCA20

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LUZ LIBRE cm	PROMEDIO		LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
						b (cm)	h (cm)		
1	CCR-RCA20 - M-1	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.02	15.04	3300.00	29.14
2	CCR-RCA20 - M-2	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.05	15.03	3371.00	29.75
3	CCR-RCA20 - M-3	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.03	15.03	3297.00	29.13
4	CCR-RCA20 - M-4	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.01	15.04	3313.00	29.27
5	CCR-RCA20 - M-5	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.05	15.07	3360.00	29.49
Promedio kg/cm²									29.36

OBSERVACIONES:
 LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UNANCY - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 M^g ARNALDO YAMA TORRES
 CIP/103257

B. N° 006-00315646



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁZQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO



RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

NORMA ASTM C - 78

TESIS : INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO PARA RECICLADO EN LAS PROPIEDADES

SOLICITANTE : Bach. BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

MUESTRA : CCR-AN20

LUGAR : CIUDAD DE JULIACA

FECHA : 06 DE DICIEMBRE DEL 2024

EDAD : 28 DIAS - MUESTRA CON CCR-AN20

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	LUZ LIBRE cm	PROMEDIO		LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
						b (cm)	h (cm)		
1	CCR-AN20 - M-1	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.05	15.03	4843.00	42.73
2	CCR-AN20 - M-2	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.07	15.05	4958.00	43.58
3	CCR-AN20 - M-3	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.04	15.06	4825.00	42.43
4	CCR-AN20 - M-4	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.06	15.03	4892.00	43.14
5	CCR-AN20 - M-5	8/11/2024	6/12/2024	28	30.00	15.02	15.04	4860.00	42.91
Promedio kg/cm²								42.96	

OBSERVACIONES:

LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UANCV - FICP
 CAP INGENIERIA CIVIL
 Mgtr. ARNALDO YAMA TORRES
 CIP 103257

B. N° 006-00315646

ANEXO 4

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL

PARA EL DISEÑO CCR

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL DE LOS AGREGADOS

TABLA GRANULOMETRICA CON 100% DE AGREGADO NATURAL

TAMIZ ASTM		Peso en kg	% Retenido		% Que pasa
N°	mm		% Retenido	% Retenido Acumulado	
1 1/2"	37.5	0.00			
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.4	489.45	10.94	10.94	89.06
3/8"	9.53	770.59	17.23	28.18	71.82
N° 4	4.75	428.96	9.59	37.77	62.23
N° 8	2.36	934.09	20.89	58.66	41.34
N° 16	1.18	612.52	13.70	72.35	27.65
N° 30	0.6	425.89	9.52	81.88	18.12
N° 50	0.3	375.48	8.40	90.27	9.73
N° 100	0.15	268.49	6.00	96.28	3.72
N° 200	0.075	82.56	1.85	98.12	1.88
Fondo	0	83.97	1.88	100.00	0.00
Total		4472.0	100.00		

TABLA GRANULOMETRICA CON 100% DE RCA

TAMIZ ASTM		Peso en kg	% Retenido		% Que pasa
N°	mm		% Retenido	% Retenido Acumulado	
1 1/2"	37.5	0.00			
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.4	631.83	14.13	14.13	85.87
3/8"	9.53	641.55	14.35	28.47	71.53
N° 4	4.75	432.12	9.66	38.14	61.86
N° 8	2.36	489.56	10.95	49.08	50.92
N° 16	1.18	680.43	15.22	64.30	35.70
N° 30	0.6	779.44	17.43	81.73	18.27
N° 50	0.3	388.82	8.69	90.42	9.58
N° 100	0.15	260.51	5.83	96.25	3.75
N° 200	0.075	80.25	1.79	98.04	1.96
Fondo	0	87.48	1.96	100.00	0.00
Total		4472.0	100.00		

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL DE LOS AGREGADOS

TABLA GRANULOMETRICA CON 50% DE RCA-G (20)

TAMIZ ASTM		50% de RCA	AN	Peso en kg	% Retenido		% Que pasa
N°	mm				% Retenido	Retenido Acumula	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00			
1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.4	300.63	300.63	601.26	13.44	13.44	86.56
3/8"	9.53	307.77	307.77	615.54	13.76	27.21	72.79
N° 4	4.75	274.10	274.10	548.19	12.26	39.47	60.53
N° 8	2.36	0.00	826.15	826.15	18.47	57.94	42.06
N° 16	1.18	0.00	608.97	608.97	13.62	71.56	28.44
N° 30	0.6	0.00	497.19	497.19	11.12	82.68	17.32
N° 50	0.3	0.00	342.28	342.28	7.65	90.33	9.67
N° 100	0.15	0.00	256.37	256.37	5.73	96.06	3.94
N° 200	0.075	0.00	87.50	87.50	1.96	98.02	1.98
Fondo	0	0.00	88.55	88.55	1.98	100.00	
Total				4472.00	100.00		

TABLA GRANULOMETRICA CON 50% DE RCA-G (15)

TAMIZ ASTM		50% de RCA	AN	Peso en kg	% Retenido		% Que pasa
N°	mm				% Retenido	Retenido Acumula	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00			
1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.4	0.00	537.49	537.49	12.02	12.02	87.98
3/8"	9.53	349.20	349.20	698.39	15.62	27.64	72.36
N° 4	4.75	279.92	279.92	559.84	12.52	40.15	59.85
N° 8	2.36	0.00	826.15	879.00	19.66	59.81	40.19
N° 16	1.18	0.00	608.97	746.33	16.69	76.50	23.50
N° 30	0.6	0.00	497.19	420.58	9.40	85.90	14.10
N° 50	0.3	0.00	342.28	289.78	6.48	92.38	7.62
N° 100	0.15	0.00	256.37	197.15	4.41	96.79	3.21
N° 200	0.075	0.00	87.50	73.47	1.64	98.44	1.56
Fondo	0	0.00	88.55	69.97	1.56	100.00	
Total				4472	100.00		

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL DE LOS AGREGADOS

TABLA GRANULOMETRICA CON 50% DE RCA-G (10)

TAMIZ ASTM		50% de RCA	AN	Peso en kg	% Retenido		% Que pasa
N°	mm				% Retenido	Retenido Acumula	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00			
1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.4	0.00	431.68	431.68	7.83	7.83	92.17
3/8"	9.53	0.00	612.10	612.10	11.10	18.92	81.08
N° 4	4.75	337.56	337.56	675.12	12.24	31.16	68.84
N° 8	2.36	0.00	826.15	1860.72	33.73	64.90	35.10
N° 16	1.18	0.00	608.97	689.93	12.51	77.41	22.59
N° 30	0.6	0.00	497.19	489.56	8.88	86.28	13.72
N° 50	0.3	0.00	342.28	376.79	6.83	93.11	6.89
N° 100	0.15	0.00	256.37	284.27	5.15	98.27	1.73
N° 200	0.075	0.00	87.50	44.19	0.80	99.07	0.93
Fondo	0	0.00	88.55	51.42	0.93	100.00	
Total				5515.78	100.00		



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 19-06-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: BRIGITH ISABEL QUIZA HUARACALLO

Dirección: Jr. Ricardo Palma Nro 545

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70618877

Teléfono: 927542655 email: brigith.quiza@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL

Asesor: Mgr. WILFREDO DAVID SUPO PACORI

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO
RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON
RODILLO

Palabras claves, (3 a 5 términos): Concreto compactado con rodillo, agregado de concreto reciclado,
resistencia a compresión, resistencia a flexión

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P17

Firma de Autor



huella digital

19 de junio del 2025

Fecha

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	www.proteccioncivil.es Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
12	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
16	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
17	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
18	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

pirhua.udep.edu.pe

20

Fuente de Internet

<1 %

21

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

22

Aroste Villa, Jorge Luis. "Impregnación de agregados reciclados con cemento IP y el mejoramiento de sus características físicas - mecánicas, en la resistencia del concreto.", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

<1 %

23

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

Submitted to Universidad San Francisco de Quito

Trabajo del estudiante

<1 %

25

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

27

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

29	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to uni Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
32	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
33	www.mopt.go.cr Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.uia.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	digibug.ugr.es Fuente de Internet	<1 %
37	tai-lieu.com Fuente de Internet	<1 %
38	1library.co Fuente de Internet	<1 %
39	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

dspace.unach.edu.ec

40

Fuente de Internet

<1 %

41

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

42

Landeros Barrera, Juan Carlos. "Influencia de la Adición de la Cal Viva en Concretos Elaborados con Agregados Recicladados de Concreto", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia)

Publicación

<1 %

43

Submitted to Liverpool John Moores University

Trabajo del estudiante

<1 %

44

Submitted to Universidad Católica Boliviana "San Pablo"

Trabajo del estudiante

<1 %

45

Submitted to Universidad Privada del Norte

Trabajo del estudiante

<1 %

46

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

47

planificacion.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

48

unl.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

49

Submitted to Universidad Alas Peruanas

Trabajo del estudiante

<1 %

50	repositorio.unphu.edu.do Fuente de Internet	<1 %
51	Submitted to ucb Trabajo del estudiante	<1 %
52	Submitted to Universidad Politécnica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
53	jresm.org Fuente de Internet	<1 %
54	ri-ng.uaq.mx Fuente de Internet	<1 %
55	Ahmed Ashteyat, Ala' Obaidat, Mehmet Kirgiz, Baiena ALTawallbeh. "Production of Roller Compacted Concrete Made of Recycled Asphalt Pavement Aggregate and Recycled Concrete Aggregate and Silica Fume", International Journal of Pavement Research and Technology, 2021 Publicación	<1 %
56	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
57	www.jove.com Fuente de Internet	<1 %
58	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %

59	Submitted to Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE Trabajo del estudiante	<1 %
60	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
61	Submitted to Universidad de Guayaquil Trabajo del estudiante	<1 %
62	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
63	fdocuments.es Fuente de Internet	<1 %
64	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
65	revistas.itm.edu.co Fuente de Internet	<1 %
66	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
67	eurocenter.su Fuente de Internet	<1 %
68	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
69	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

70 www.trijournal.ir <1 %
Fuente de Internet

71 repositorio.itm.edu.co <1 %
Fuente de Internet

72 repository.upb.edu.co:8080 <1 %
Fuente de Internet

73 ribuni.uni.edu.ni <1 %
Fuente de Internet

74 rua.ua.es <1 %
Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 10 words

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

INFORME DE GRADEMARK

NOTA FINAL

COMENTARIOS GENERALES

/10

PÁGINA 1

PÁGINA 2

PÁGINA 3

PÁGINA 4

PÁGINA 5

PÁGINA 6

PÁGINA 7

PÁGINA 8

PÁGINA 9

PÁGINA 10

PÁGINA 11

PÁGINA 12

PÁGINA 13

PÁGINA 14

PÁGINA 15

PÁGINA 16

PÁGINA 17

PÁGINA 18

PÁGINA 19

PÁGINA 20

PÁGINA 21

PÁGINA 22

PÁGINA 23

PÁGINA 24

PÁGINA 25

PÁGINA 26

PÁGINA 27

PÁGINA 28

PÁGINA 29

PÁGINA 30

PÁGINA 31

PÁGINA 32

PÁGINA 33

PÁGINA 34

PÁGINA 35

PÁGINA 36

PÁGINA 37

PÁGINA 38

PÁGINA 39

PÁGINA 40

PÁGINA 41

PÁGINA 42

PÁGINA 43

PÁGINA 44

PÁGINA 45

PÁGINA 46

PÁGINA 47

PÁGINA 48

PÁGINA 49

PÁGINA 50

PÁGINA 51

PÁGINA 52

PÁGINA 53

PÁGINA 54

PÁGINA 55

PÁGINA 56

PÁGINA 57

PÁGINA 58

PÁGINA 59

PÁGINA 60

PÁGINA 61

PÁGINA 62

PÁGINA 63

PÁGINA 64

PÁGINA 65

PÁGINA 66

PÁGINA 67

PÁGINA 68

PÁGINA 69

PÁGINA 70

PÁGINA 71

PÁGINA 72

PÁGINA 73

PÁGINA 74

PÁGINA 75

PÁGINA 76

PÁGINA 77

PÁGINA 78

PÁGINA 79

PÁGINA 80

PÁGINA 81

PÁGINA 82

PÁGINA 83

PÁGINA 84

PÁGINA 85

PÁGINA 86

PÁGINA 87

PÁGINA 88

PÁGINA 89

PÁGINA 90

PÁGINA 91

PÁGINA 92

PÁGINA 93

PÁGINA 94

PÁGINA 95

PÁGINA 96

PÁGINA 97

PÁGINA 98

PÁGINA 99

PÁGINA 100

PÁGINA 101

PÁGINA 102

PÁGINA 103

PÁGINA 104

PÁGINA 105

PÁGINA 106

PÁGINA 107

PÁGINA 108

PÁGINA 109

PÁGINA 110

PÁGINA 111

PÁGINA 112

PÁGINA 113

PÁGINA 114

PÁGINA 115

PÁGINA 116

PÁGINA 117

PÁGINA 118

PÁGINA 119

PÁGINA 120

PÁGINA 121

PÁGINA 122

PÁGINA 123

PÁGINA 124

PÁGINA 125

PÁGINA 126

PÁGINA 127

PÁGINA 128

PÁGINA 129

PÁGINA 130

PÁGINA 131

PÁGINA 132

PÁGINA 133

PÁGINA 134

PÁGINA 135

PÁGINA 136

PÁGINA 137

PÁGINA 138

PÁGINA 139

PÁGINA 140

PÁGINA 141

PÁGINA 142

PÁGINA 143

PÁGINA 144

PÁGINA 145

PÁGINA 146

PÁGINA 147

PÁGINA 148

PÁGINA 149

PÁGINA 150

PÁGINA 151

PÁGINA 152

PÁGINA 153

PÁGINA 154

PÁGINA 155
