

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación
del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado
como agregado grueso, Huánuco 2024”**

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

AUTOR: Rojas Chavez, Ronaldo

ASESOR: Taboada Trujillo, William Paolo.

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (☒)
- Trabajo de Suficiencia Profesional(☐)
- Trabajo de Investigación (☐)
- Trabajo Académico (☐)

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería Civil**Disciplina:** Ingeniería Civil**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (☒)
- UDH (☐)
- Fondos Concursables (☐)

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72125453

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40847625

Grado/Título: Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible.

Código ORCID: 0000-0002-4594-14-91

DATOS DE LOS JURADOS

N. °	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Narro Jara, Luis Fernando.	Maestro en ingeniería con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible.	1820 6328	0000-0003- 40008- 7633
2	Trujillo Ariza, Yelen Liseth.	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental.	7050 2371	0000-0002- 5650-3745
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos.	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible.	4189 1649	0000-0001- 8392-1769



UDH
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
<http://www.udh.edu.pe>

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO(A) CIVIL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 14:00 horas del día **viernes 19 de diciembre de 2025**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

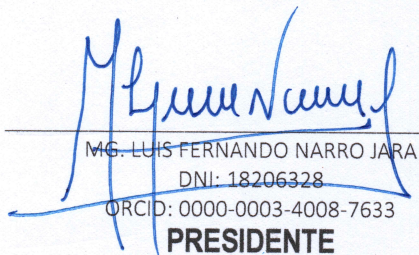
❖ MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA	PRESIDENTE
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2866-2025-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO FC=210KG/CM² ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024", presentado por el (la) Bachiller. Bach: **Ronaldo ROJAS CHAVEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de 13 y cualitativo de Suficiente (Art. 47).

Siendo las 15:00 horas del día **19 del mes de diciembre del año 2025**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.



MG. LUIS FERNANDO NARRO JARA
DNI: 18206328
ORCID: 0000-0003-4008-7633
PRESIDENTE



MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
SECRETARIO (A)



MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: RONALDO ROJAS CHAVEZ, de la investigación titulada "Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso, Huánuco 2024", con asesor(a) WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1160-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 17 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 15 de diciembre de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	8%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	purl.org Fuente de Internet	2%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Landeros Barrera, Juan Carlos. "Influencia de la Adición de la Cal Viva en Concretos Elaborados con Agregados Reciclados de Concreto", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia) Publicación	1%
5	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, consejos, sacrificio y confianza en mí.

A mi gato, que ya no está, por su compañía.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Huánuco, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil, por brindarme la formación académica necesaria para culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y disposición constante para guiarme en el desarrollo de esta investigación.

A mis padres, cuyo esfuerzo, apoyo incondicional y confianza en mi camino académico fueron fundamentales para llegar hasta aquí. A mi familia y amigos, por su motivación, compañía y palabras de aliento en los momentos difíciles.

A mi tía, por su constante apoyo, sus consejos y acompañarme en momentos en que necesitaba orientación.

INDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
INDICE	IV
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI
CAPÍTULO I	17
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	19
1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	20
1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL Y ECONÓMICA.....	20
1.5.4. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL	20
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	23
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	25
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	27
2.2. BASES TEÓRICAS	28

2.2.1. CARBONATO DE CALCIO (CAL)	28
2.2.2. OBTENCIÓN:.....	29
2.2.3. CONCRETO.....	30
2.2.4. AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO.....	32
2.2.5. AGREGADO GRUESO	32
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	32
2.4. HIPÓTESIS	34
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	34
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	34
2.5. VARIABLES	35
2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	35
2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES	35
2.5.3. UNIDAD DE ANÁLISIS	35
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	36
CAPITULO III.....	37
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.1. ENFOQUE	37
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	38
3.1.3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	38
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	40
3.2.1. POBLACIÓN	40
3.2.2. MUESTRA.....	40
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	42
3.3.1. INSTRUMENTOS.....	42
3.3.2. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	43
3.3.3. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	45
3.3.4. PARA EL ENÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS 45	
CAPÍTULO IV	47
RESULTADOS	47

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	47
4.1.1. DISEÑO DE MEZCLA.....	47
4.1.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	48
4.1.3. AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO.....	56
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	76
CAPÍTULO V	81
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	92

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de grupos.	39
Tabla 2 Tamaños de muestra mínimos en estudios cuantitativos.....	41
Tabla 3 Número de muestras.....	41
Tabla 4 Técnica e instrumento de medición para las variables.....	42
Tabla 5 Corrección de relación agua/cemento (a/c) por reacción exotérmica de la cal viva.	44
Tabla 6 Propiedades de los materiales.....	47
Tabla 7 Cantidades de materiales de los diferentes grupos experimentales y concreto patrón	47
Tabla 8 Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y del diseño.....	49
Tabla 9 Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras patrón con cal viva 11%.....	50
Tabla 10 Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras con 33% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%	51
Tabla 11 Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras con 66% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%	53
Tabla 12 Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras con 100% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%	54
Tabla 13 Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 6.	56
Tabla 14 Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 6.	57

Tabla 15 Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 6.	57
Tabla 16 Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 6.	58
Tabla 17 Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 11.....	60
Tabla 18 Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 11.....	61
Tabla 19 Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 11.....	62
Tabla 20 Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 11.....	62
Tabla 21 Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 15.....	64
Tabla 22 Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 15.....	65
Tabla 23 Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 15.....	65
Tabla 24 Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 15.....	66

Tabla 25 Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 20.....	68
Tabla 26 Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 20.....	69
Tabla 27 Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 20.....	69
Tabla 28 Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 20.....	70
Tabla 29 Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 25.....	72
Tabla 30 Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 25.....	73
Tabla 31 Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 25.....	73
Tabla 32 Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 25.....	74
Tabla 33 Resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, aplicadas a los valores de resistencia a la compresión de los diferentes grupos experimentales.	76
Tabla 34 Resultados de la prueba ANOVA de un factor.....	77
Tabla 35 Tukey HSD (Honeste Significant Difference) del ANOVA de un factor.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de materiales para el concreto patrón, resultado del diseño de mezcla ACI 211.1	48
Figura 2 Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm ²) respecto a la resistencia a la compresión según diseño (kg/cm ²)	49
Figura 3 Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm ²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras patrón con 11% de cal viva (kg/cm ²)	50
Figura 4 Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm ²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 33% de agregado reciclado como agregado reciclado con 11% de cal viva (kg/cm ²).....	52
Figura 5 Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm ²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 66% de agregado reciclado como agregado reciclado con 11% de cal viva (kg/cm ²).....	53
Figura 6 Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm ²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 100% de agregado reciclado como agregado reciclado con 11% de cal viva (kg/cm ²).....	55
Figura 7 Microestructura del concreto patrón observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm)	56
Figura 8 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 6.....	57
Figura 9 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 6.....	57

Figura 10 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 6.....	58
Figura 11 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 6.....	58
Figura 12 Microestructura del concreto patrón con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm)	60
Figura 13 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 11.....	61
Figura 14 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 11.	61
Figura 15 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 11.....	62
Figura 16 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 11.	63
Figura 17 Microestructura del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).....	64
Figura 18 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 15.....	65
Figura 19 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 15.	65
Figura 20 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 15.	66

Figura 21 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 15.	66
Figura 22 Microestructura del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).....	68
Figura 23 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 20.	69
Figura 24 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 20.	69
Figura 25 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 20	70
Figura 26 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 20.	70
Figura 27 Microestructura del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).....	72
Figura 28 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 25.....	72
Figura 29 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 25.	73
Figura 30 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 25.....	74

Figura 31 Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 25.....	74
Figura 32 Mapa de la Cantera Chancadora Figueroa.....	185
Figura 33 Recolección de concreto reciclado de resistencias de 210 kg/cm ² y 280 kg/cm ²	186
Figura 34 Trituración de concreto reciclado en la chancadora de la cantera Figueroa.....	186
Figura 35 Traslado de materiales desde la cantera Figueroa hasta el laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayos de Materiales de la Universidad Hermilo Valdizan.	187
Figura 36 Ensayo de absorción y peso específico del agregado grueso natural.....	187
Figura 37 Ensayo de absorción y peso específico del agregado fino.	188
Figura 38 Mezclado de materiales para el concreto patrón con el equipo de seguridad correspondiente.	188
Figura 39 Prueba de slump del concreto patrón	189
Figura 40 Trituración de la cal viva.	189
Figura 41 Curado de las muestras de concreto.	190
Figura 42 Ensayo de Resistencia a la Compresión realizado por el investigador.....	190
Figura 43 Muestras de cada grupo experimental analizadas en el laboratorio SEM.	191
Figura 44 Vista en el SEM	191

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo estudiar la influencia de la adición de la cal viva al 11% respecto a su peso total de la mezcla en la autorreparación de concreto $f'_c=210$ kg/cm² elaborados con distinto porcentajes de concreto reciclado.

La investigación fue de enfoque cuantitativo, aplicado y con diseño cuasiexperimental, empleándose 75 probetas cilíndricas distribuidas en cinco grupos de 15 unidades (patrón, patrón más cal viva, 33% de agregado reciclado más cal viva, 66% de agregado reciclado más cal viva y 100% de agregado reciclado más cal viva), diseñadas mediante el método ACI 211.1, curadas 28 días y sometidas a ensayos de resistencia a la compresión y análisis microestructural mediante microscopio electrónico de barrido (SEM).

Los resultados indicaron que los valores promedio de resistencia disminuyeron significativamente respecto al patrón (305,07kg/cm²), obteniéndose 64,79 kg/cm² para el patrón más cal viva, 71,25 kg/cm² para el 33% agregado reciclado más cal viva, 88,16 kg/cm² para el 66% agregado reciclado más cal viva y 113,54 kg/cm² para el 100% agregado reciclado más cal viva, debido al aumento de agua que modificó la relación agua/cemento, tendencia que fue corroborada estadísticamente mediante un ANOVA de un factor ($F=254,691$; $p=0,000$), lo cual confirmó diferencias significativas entre los grupos. En este contexto, el análisis SEM mostró una formación alta de carbonato de calcio (CaCO_3) y silicatos de calcio hidratados, productos asociados a la autorreparación, lo que respalda la ocurrencia de autorreparación pese a la reducción de resistencia.

Finalmente, se concluye que la adición del 11% de cal viva favorece la autorreparación del concreto elaborado con agregado reciclado, al promover la formación de carbonatos, aunque su incorporación provoca mayor demanda de agua a causa de su propiedad exotérmica de la cal viva lo que reduce significativamente la resistencia a la compresión, lo que proporciona información relevante para estudios posteriores sobre la autorreparación a causa de la cal viva.

Palabras clave: autorreparación, cal viva, concreto, concreto reciclado, microscopio electrónico de barrido (SEM).

ABSTRACT

The objective of the present research is to study the influence of the addition of 11% quicklime with respect to the total weight of the mixture on the self-healing of $f'_c=210$ kg/cm² concrete made with different percentages of aggregate.

The research was of a quantitative, applied approach with a quasi-experimental design, using 75 cylindrical specimens distributed in five groups of 15 units (control, control plus quicklime, 33% recycled aggregate plus quicklime, 66% recycled aggregate plus quicklime, and 100% recycled aggregate plus quicklime), designed using the ACI 211.1 method, cured for 28 days and subjected to compressive strength test and microstructural analysis using a scanning electron microscope (SEM).

The results indicated that the average strength values significantly decreased compared to the control (305,07 kg/cm²), obtaining 64,79 kg/cm² for the control plus quicklime, 71,25 kg/cm² for the 33% recycled aggregate plus quicklime, 88,16 kg/cm² for the 66% recycled aggregate plus quicklime, and 113,54 kg/cm² for the 100% recycled aggregate plus quicklime, due to the increase in water that modified the water/cement ratio, a trend that was statistically corroborated by a one-way ANOVA ($F=254,691$; $p=0,000$), which confirmed significant differences among the groups. In this context, the SEM analysis showed a high formation of calcium carbonate (CaCO₃) and calcium silicate hydrates, products associated with self-healing, which supports the occurrence of self-healing despite the reduction in strength.

Finally, it is concluded that the addition of 11% quicklime favors the self-healing of concrete made with recycled aggregate by promoting the formation of carbonates, although its incorporation causes a greater water demand due to the exothermic property of the quicklime, which significantly reduces the compressive strength, thus providing relevant information for subsequent studies on self-healing caused by quicklime.

Keyword: self-repair, quicklime, concrete, recycled concrete, scanning electron microscope (SEM).

INTRODUCCIÓN

Estudios recientes sobre el concreto romano evidencia que la clave de su notable durabilidad radicaba en la adición de cal viva. Este aditivo generaba procesos químicos que favorecían la autorreparación del material, ya que la cal viva tiende a absorber dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) para retornar a su estado natural, carbonato de calcio (CaCO_3), actuando como un agente autosellante.

Por otro lado, el concreto elaborado con materiales reciclados presenta una durabilidad inferior respecto al concreto convencional, según lo reportado por diversas investigaciones. No obstante, surge la posibilidad de que la cal viva pueda contrarrestar esta limitación propia del concreto reciclado. En este contexto, la presente investigación busca analizar la influencia de la cal viva en la autorreparación del concreto producido con agregados gruesos reciclados.

Lograr un concreto a partir de materiales reciclados con propiedades similares a las del concreto convencional y además estudiar la autorreparación inducida por la cal viva justifica plenamente la realización del presente estudio. Asimismo, la disponibilidad de equipos actualizados en los centros de investigación permite desarrollar trabajos más tecnificados y abordar objetivos experimentales más ambiciosos.

En la presente investigación se estableció como objetivo principal estudiar la influencia de la cal viva, añadida en un 11% respecto al peso total de la mezcla, en concretos con diferentes porcentajes de agregado grueso reciclado (0%, 33%, 66% y 100%). Para ello se aplicó un diseño cuasiexperimental que permitió realizar comparaciones claras entre cada grupo experimental, manteniendo controladas las condiciones de elaboración y ensayo. El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, con alcance aplicado. Entre los equipos utilizados se encuentra el microscopio electrónico de barrido (SEM), que permitió observar las muestra a nivel microscópico y analizar la reacción química de la cal viva, evidenciando la formación de carbonatos y silicatos hidratados. Asimismo, se emplearon equipos especializados que permitieron medir con mayor precisión la resistencia a la compresión.

La investigación también presentó algunas limitaciones. En primer lugar, existe escasa literatura científica referente al uso de cal viva como agente de autorreparación del concreto, lo que obligó al investigador a tomar decisiones metodológicas basadas en criterios experimentales propios. En segundo lugar, la adquisición y manipulación de la cal viva resultó compleja debido a su reacción exotérmica al contacto con el agua, esta propiedad de la cal viva provocó una modificación en la relación agua/cemento necesario para que las mezclas puedan poseer un adecuado grado de trabajabilidad.

Finalmente, la investigación concluyó que la adición de cal viva influyó significativamente en la autorreparación del concreto reciclado, observándose formación de carbonato de calcio en su matriz, lo cual actuó como sellante de grietas, microfisuras y poros. Sin embargo, también se evidenció una disminución considerable en la resistencia a la compresión respecto al concreto convencional, debido a la alta demanda de agua adicional. Aun así, se identificó una tendencia ascendente en dicha resistencia conforme aumentó el porcentaje de agregado reciclado utilizado.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La adición de cal viva al concreto reciclado fue propuesta como una solución innovadora para mejorar algunas propiedades principales. Al igual que la incorporación de la cal hidráulica al concreto (cal apagada), que mejoró propiedades como la resistencia a la compresión del concreto, la cal viva ofreció una propiedad adicional: la autorreparación.

En la presente investigación se planteó el uso de cal viva como aditivo para conocer y analizar el comportamiento autorreparante del concreto. Para ello, se añadió cal viva al concreto elaborado con concreto reciclado como agregado grueso, esperando de que dicho concreto recupere parte de su resistencia perdida y tenga una vida útil similar a la del concreto convencional. Además, la investigación presentó un gran potencial para su uso frente a rajaduras o grietas, lo que podría reducir significativamente los costos de mantenimiento y prolongar la durabilidad de las estructuras.

El objetivo principal de la presente investigación fue investigar la influencia de la cal viva en el concreto y analizar la autorreparación que este generó en él. Para este fin se utilizó el microscopio electrónico de barrido (SEM) que posee la Universidad de Huánuco.

Para llevar a cabo la presente investigación se añadió cal viva en una proporción del 11% respecto al peso de la masa de la mezcla, basándose en el estudio del concreto romano mezclado en caliente. Las sustituciones del agregado grueso se realizaron en proporciones de 0%, 33%, 66% y 100%, ya que estudios previos mencionados en el marco teórico indicaron que estas proporciones ofrecían un buen desempeño en la resistencia a la compresión. También se elaboró una mezcla control con 0% de concreto reciclado y 0% de cal viva para realizar una comparación con las demás muestras.

Se analizó la resistencia a la compresión y se observó mediante el microscopio electrónico de barrido, la autorreparación del concreto. El diseño de mezcla empleado se basó en el método ACI 211.1, considerando una resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. La investigación se llevará a cabo en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿De qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1: ¿De qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con un 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

PE2: ¿De qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con un 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

PE3: ¿De qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con un 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

PE4: ¿De qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso de la masa del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con un 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

1.3. OBJETIVO GENERAL

OG: Determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f_c=210$ kg/cm² elaborado con un 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

OE2: Determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'_c=210$ kg/cm² elaborado con un 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

OE3: Determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'_c=210$ kg/cm² elaborado con un 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

OE4: Determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'_c=210$ kg/cm² elaborado con un 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La principal justificación de la presente investigación radicó en la necesidad de mejorar las propiedades del concreto, como la autorreparación, para contribuir a la elaboración de concretos con materiales reciclados y contrarrestar las grietas o fisuras que sufre el concreto debido a daños menores. Esto también ayudó a disminuir la contaminación del medio ambiente por parte del concreto.

En el contexto de la ciudad de Huánuco, Perú, la utilización de concreto reciclado como agregado grueso fue una práctica que puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, el concreto reciclado presentó desafíos en cuanto a su durabilidad y capacidad de autorreparación. Esta investigación buscó abordar estos desafíos mediante la adición de cal viva, con el objetivo de conferir propiedades autorreparadoras al concreto reciclado y evaluar su efectividad comparada con el concreto convencional.

1.5.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La adición de cal viva al concreto reciclado es una innovación técnica que puede mejorar significativamente sus propiedades de autorreparación. Esta investigación proporcionó datos valiosos sobre la efectividad del método, contribuyendo al reciclaje del concreto y al desarrollo de materiales de construcción más duraderos.

En la construcción de infraestructuras, es común que se realicen testigos, probetas que comprueban la resistencia a la compresión del concreto que se está empleando, de diferentes elementos estructurales, reciclar estos testigos provenientes de pavimentos rígidos como

agregado reciclado permitió reducir trabajos de selección y reducir costos.

Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados para optimizar las mezclas de concreto elaboradas con materiales reciclables, mejorando su capacidad de autorreparación. Esto es crucial ya que la durabilidad de estos concretos siempre está comprometida. En última instancia, también puede prolongar la vida útil de las infraestructuras construidas con este material.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Implementar la adición de cal viva en el concreto reciclado puede ofrecer una solución práctica para mejorar la durabilidad y la integridad estructural del concreto, minimizando la necesidad de reparaciones frecuentes. Esta técnica no solo es aplicable en Huánuco, sino que puede ser adoptada en proyectos de construcción en otras regiones, facilitando la creación de infraestructuras más resistentes y sostenibles.

Además, al utilizar concreto reciclado con propiedades mejoradas de autorreparación, se optimiza el uso de recursos naturales, promoviendo prácticas de construcción más eficientes y ecológicas. Los resultados de la investigación se podrán aplicar en la industria de la construcción, proporcionando un método viable para reutilizar residuos y mejorar las propiedades del concreto reciclado.

1.5.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL Y ECONÓMICA

El uso de concreto reciclado mejorado con cal viva no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental al reutilizar residuos de construcción, sino que también puede tener beneficios económicos significativos al reducir los costos de mantenimiento de infraestructuras.

La disminución de residuos en los vertederos y la reducción de la extracción de nuevos materiales contribuyen a un entorno más limpio y sostenible. Además, al mejorar la durabilidad del concreto, se disminuyen los recursos necesarios para reparaciones, beneficiando a la comunidad y promoviendo prácticas de construcción más sostenibles.

En el ámbito económico, la reutilización de los residuos de concreto puede reducir los costos asociados con la gestión de residuos y generar nuevas oportunidades laborales en el sector de la construcción.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL

La Universidad de Huánuco, al respaldar esta investigación, fortalece su compromiso con la innovación y el desarrollo sostenible en

la ingeniería civil. Este estudio no solo aporta al conocimiento científico, sino que también posiciona a la universidad como un referente en la investigación de materiales de construcción avanzados y sostenibles, contribuyendo al prestigio y desarrollo institucional.

La investigación también proporciona una plataforma para la formación y desarrollo de futuros ingenieros civiles comprometidos con prácticas de construcción sostenibles y responsables.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Una de las principales limitaciones de la presente investigación fue la disponibilidad de información específica sobre el uso combinado de concreto reciclado con la adición de cal viva para la elaboración de concreto autorreparante. Aunque existen estudios sobre estos componentes por separado, no hay investigaciones que aborden ambos componentes en conjunto. Esta carencia de información puede limitar la comparación de los resultados con estudios previos y la generalización de los hallazgos.

Otra limitación significativa es la disponibilidad de concreto reciclado en la región de Huánuco. Para llevar a cabo esta investigación, fue necesario contar con un suministro suficiente de concreto reciclado. Para abordar esta limitación, se planteó la utilización de probetas de concreto ya existentes, eliminando así la necesidad de clasificar los residuos de construcción, lo que optimizó tanto el tiempo como los recursos disponibles.

1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

En Huánuco, se dispuso de los recursos humanos necesarios para la investigación. Se contó con técnicos de laboratorio del área de ingeniería civil, quienes ayudaron a realizar los ensayos relacionados con la obtención del concreto $f'c = 210\text{kg/cm}^2$. Asimismo, el laboratorio SEM brindó la facilidad de observar a nivel microscópico la unión de todos los materiales.

Además, la universidad contó con especialistas en el área de materiales que nos brindarán tutoría sobre la manipulación de los materiales. La Universidad de Huánuco dispuso de los investigadores y de los recursos humanos necesarios para realizar esta investigación. Gracias a ello, el investigador pudo trabajar con la tutoría de cada profesional.

Dado que la propuesta de esta investigación es cuasiexperimental, el investigador procuró que la mayoría de los componentes estuvieran dentro de parámetros controlados y, por lo tanto, no se requirió una población extensa ni el uso de aleatoriedad, los recursos necesarios para la investigación fueron cubiertos recursos financieros del investigador.

En cuanto a la disponibilidad de los componentes del concreto, en Huánuco existen canteras donde se obtuvieron agregados finos y gruesos. Cerca de la ciudad hay una chancadora, ideal para obtener agregados de origen natural clasificados. Esto garantizó más la obtención de materiales adecuados para realizar los ensayos pertinentes en la mezcla de concreto. También se utilizaron probetas de concreto existentes, optimizando los recursos disponibles y reduciendo el tiempo requerido para la recolección y preparación de materiales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Seymour et al. (2023) realizaron un estudio titulado, **“Mezclado en caliente: conocimientos mecanicistas sobre la durabilidad del hormigón romano antiguo”**, en el Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, con otras instituciones en Italia y Suiza, con el objetivo de investigar la durabilidad del concreto romano antiguo mediante un enfoque multiescala de mapeo elemental y químico. Utilizando un enfoque cuantitativo y cualitativo, el estudio analizó muestra de concreto romano antiguo obtenidas del sitio arqueológico de Privernum, cerca de Roma, Italia. Se emplearon técnicas avanzadas como microscopía electrónica de barrido (SEM) con espectroscopía de dispersión de energía (EDS), difracción de rayos X (XRD) y espectroscopia Raman con focal para caracterizar los componentes químicos y minerales de las muestras de mortero. Los resultados mostraron que los clastos de cal relictos en el mortero actúan como fuentes de calcio reactivo para el relleno de poros y grietas a largo plazo, promoviendo la auto reparación del concreto. La técnica de mezcla en caliente utilizada por los romanos fue identificada como clave para retener estos clastos dentro de la matriz del mortero. El estudio concluyó que los principios de diseño del concreto romano podrían inspirar el desarrollo de mezclas de concreto modernas con capacidades de auto reparación mejoradas, lo respaldó la presente investigación.

Pinzón y Defrancisco (2022) realizaron un estudio, titulado **“La importancia de usar concreto de demolición para la fabricación de nuevos concretos”**, en el Instituto Tolimense de Formación Técnica Profesional (ITFIP) en Colombia, con el objetivo de examinar y analizar el aprovechamiento de materiales de desecho o reciclados provenientes del sector constructivo para la creación y desarrollo de pavimentos rígidos. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo, haciendo revisión de investigaciones y análisis de resultados de ensayos de laboratorio previos. Se encontró que para fabricar nuevos concretos es viable ya que este posee características similares al agregado natural, aunque posee mayor absorción de agua por su porosidad, pero es beneficioso en cuanto a preservación de recursos naturales y reducción de costos de construcción. La resistencia a la compresión del concreto

con agregados reciclados es comparable al concreto con agregados naturales cuando la concentración de agregados reciclados no supera el 40%. El estudio concluye que los agregados reciclados son una alternativa viable para fabricar nuevos concretos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica, lo cual contribuye a la investigación señalándonos que sí es viable el uso de materiales reciclados y destaca que la propiedad a considerar, del concreto, es la absorción superior de este.

Vargas (2023) llevó a cabo un estudio, titulado **“Uso potencial del concreto reciclado en el desarrollo de materiales para la construcción”**, en la Universidad Cooperativa de Neiva – Huila, Colombia, con el objetivo de analizar el uso del concreto reciclado en el desarrollo de materiales para la construcción, enfocándose en su viabilidad y sostenibilidad. Utilizó un enfoque cualitativo exploratorio, el estudio se basó en un análisis sistemático de literatura, revisando distintas fuentes científicas y diferentes estudios de casos. Los resultados mostraron que el concreto reciclado ofrece beneficios significativos en términos de sostenibilidad y reducción de costos. Sin embargo, estos agregados reciclados poseen una mayor absorción del agua, sus propiedades físicas y mecánicas son aptas para la construcción. La investigación concluyó que la reutilización de concreto reciclado es viable y sostenible, lo que reafirma la viabilidad del uso de materiales reciclados y nos hace denotar la propiedad de absorción del concreto resultante.

Pratap et al. (2020) realizaron un estudio titulado **“Utilización de residuos de construcción y demolición como agregado grueso en la construcción de pavimentos rígidos”**, en el Departamento de Ingeniería Civil de la Mewar University, Chittorgarh, India, con el objetivo de investigar la posibilidad de utilizar agregados de residuos de construcción y demolición en la construcción de pavimentos rígidos. Utilizando un enfoque cuantitativo y experimental, el estudio evaluó la resistencia a la compresión del concreto en diferentes edades (7, 14 y 28 días) y mediante la sustitución de agregados gruesos convencionales por agregados reciclados de construcción y demolición en proporciones de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%. Los resultados mostraron que el concreto con un 20% de sustitución de agregados naturales por agregados reciclados de construcción y demolición tenía una resistencia a la compresión similar a la del concreto convencional. A medida que aumentaba la proporción de agregados reciclados, la resistencia disminuía debido a las pequeñas fracturas y la heterogeneidad del material reciclado. El estudio concluye que la utilización de agregados reciclados de construcción y demolición es viable hasta un 20% de sustitución, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental, lo cuál nos

indica de que la proporción de reemplazo de agregado reciclado por agregado natural tiene un cierto límite para mantenerse viable, sin embargo, la adición de cal puede aumentar la dicha proporción.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Mori (2019), en su investigación titulada **“La resistencia a la compresión e impermeabilidad de concretos con agregados reciclados de concretos tradicionales”**, en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, realizó un análisis comparativo de los concretos con agregado natural y agregado reciclado, el estudio fue de tipo cuantitativo, reemplazando el 100% de los agregados, tanto finos como gruesos. El objetivo fue estudiar la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto reciclado y determinar su viabilidad de uso. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es un 34.16% menor que la del concreto con agregado natural. Además, el concreto con agregado reciclado mostró una absorción de agua un 80% mayor y un peso un 8.61% menor en comparación con el concreto convencional. El estudio concluye que, aunque el concreto reciclado tiene una menor resistencia a la compresión y una mayor absorción de agua, su menor peso puede ser beneficioso para ciertas aplicaciones específicas en la construcción. Estos hallazgos se usan en esta investigación porque indica que el concreto obtenido fue menor peso, así la adición de cal viva puede mejorar más estas propiedades.

Guerra y Niño (2022), en su investigación titulada **“Diseño de concreto reciclado para construcción de muros prefabricados de viviendas modulares con el método ACI en villa maría del triunfo”**, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú, con el objetivo de diseñar concreto con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² utilizando agregado grueso reciclado, y verificar sus aplicaciones para la construcción de muros prefabricados de viviendas modulares utilizando el método ACI en el distrito de Villa María del Triunfo. Este estudio se llevó a cabo con un enfoque aplicado y experimental, evaluando la viabilidad del concreto reciclado. La muestra consistió en 280 probetas y 10 vigas de concreto natural y reciclado. Se utilizaron métodos de estudio de campo y análisis de datos cuantitativos para evaluar la resistencia a la compresión del concreto reciclado, con sustituciones del 25%, 50%, 75% y 100% del agregado grueso natural, en comparación con el concreto convencional. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del concreto reciclado es similar a la del concreto convencional, alcanzando resistencias de 328,79 kg/cm², 321,90 kg/cm², 297,2 kg/cm² y 336,33 kg/cm² respectivamente, en comparación con el concreto patrón que resultó con una resistencia de

302.71 kg/cm². Destacándose su bajo costo de producción. El estudio concluyó que el agregado grueso reciclado puede sustituir por completo al agregado grueso natural, reduciendo el uso de materia prima y proporcionando una alternativa sostenible para la construcción de viviendas modulares en áreas económicas vulnerables. Esta investigación en particular nos muestra que haciendo el uso del diseño de concreto ACI, siguiendo todos sus pasos, aún es viable el uso de agregado reciclado, considerando su mayor absorción.

Cachay (2022), en su investigación titulada **“Variación de la resistencia a compresión de un concreto permeable de $f'c=210$ kg/cm² con aditivo plastificante sikament 290n al reemplazar en diferentes porcentajes el agregado grueso por agregado de concreto reciclado”**, en la Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, el objetivo fue estudiar la variación en la resistencia a la compresión del concreto permeable con $f'c = 210$ kg/cm², utilizando un aditivo plastificante y diferentes proporciones de agregado grueso reciclado (10%, 20% y 30%). El estudio empleó un enfoque cuantitativo con alcance experimental, realizó una comparación entre el concreto elaborado con agregado reciclado y mezclas sin agregado reciclado, las muestras fue conformada por probetas de concreto y haciendo el uso del aditivo Sikament 290N. Se realizaron pruebas de resistencia a compresión y permeabilidad siguiendo normas ASTM. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión aumenta a medida que se incrementa la proporción de agregados reciclados hasta el 20%. Sin embargo, a partir del 30%, la resistencia a la compresión se ve afectada y comienza a disminuir presentando una disminución del 34.16%, también, la absorción de agua es 80% mayor que el concreto convencional. Sin embargo, el concreto reciclado es más liviano debido a que posee un peso 8.61% menor que el concreto convencional. El estudio concluye que, aunque el concreto con agregado reciclado tiene desventajas en resistencia a compresión y absorción de agua, su menor peso puede ser beneficioso para aplicaciones específicas en la construcción. Estos hallazgos son relevantes para mi investigación sobre el uso de concreto reciclado y adición de cal viva, ya que brinda un mayor entendimiento de las limitaciones y ventajas del uso de agregados reciclados.

Aguilar y Díaz (2021), en su investigación titulada **“Adición de cal para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² - moyobamba - san martin”**, realizado en la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto – Perú, buscaron determinar si la adición de cal mejora la resistencia a la compresión de un concreto de $f'c=210$ kg/cm². Con un enfoque cuantitativo, fue de tipo aplicada y nivel explicativo, y utilizó un diseño experimental. La muestra consistió en 24

probetas cilíndricas de concreto con proporciones de cal del 0%, 4%, 8% y 12%, y con ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días. La proporción del 4% tuvo una resistencia de 235,15 kg/cm², superando el diseño base de 212,40 kg/cm². También las proporciones de 8% y 12% presentaron mejores inferiores que el 4%. En conclusión, se determinó la cal mejora la resistencia a la compresión del concreto, sin embargo, el costo por metro cúbico de concreto con 4% de cal aumentó un 1,8%, lo cual es aceptable considerando la mejora de la resistencia. Como podemos apreciar la adición de cal en la concreta mejora sus propiedades mecánicas del concreto.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Vásquez Lavado, Marco Antonio (2020), en su investigación titulada **“Adoquines de concreto tipo ii en vías urbanas, utilizando escombros de construcción y aditivos acelerantes”**, realizada en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco - Perú, con el objetivo de explorar el uso de adoquines de concreto fabricados a partir de escombros de construcción. El investigador empleó un enfoque descriptivo comparativo y un enfoque cuantitativo – cualitativo, comparó dos tipos de adoquines, uno con escombros y otro convencional. La muestra consistió en 120 moldes de concreto rectangulares (8 cm x 10 cm x 20 cm) divididos en cinco tipos de diseños: P-1 (muestra patrón, ladrillo convencional), P-2 (25% de agregado grueso reciclado), P-3 (50% de agregado grueso reciclado), P-4 (75% de agregado grueso reciclado), y P-5 (100% de agregado grueso reciclado) y fueron sometidos a ensayos de compresión y absorción del concreto. Los resultados indicaron una propuesta de diseño de mezcla y una secuencia para la fabricación de adoquines de concreto con escombros de construcción y aditivos acelerantes. El investigador concluyó que el uso de concreto reciclado es viable y sostenibles, destacando su menor costo en instalación y mantenimiento comparado con las vías tradicionales. Como se observa, el uso de materiales reciclables al elaborar concreto es viable y no solo para elaborar elementos estructurales, Vásquez demuestra que podemos usarlo en otros tipos de elementos, igual que esta investigación busca explorar nuevos usos.

Alanya (2020), en su investigación titulada **“Elaboración de concreto f'c = 175 kg/cm² utilizado concreto reciclado de vías peatonales como agregado grueso, Huánuco 2019”**, realizada en la Universidad de Huánuco, Huánuco- Perú, el objetivo fue obtener un concreto reciclado con una resistencia a la compresión de 175 kg/cm² a partir de agregado grueso reciclado proveniente de vías peatonales. La metodología usada en esta investigación fue un enfoque experimental y aplicativo con un diseño cualitativo – cuantitativo. Se seleccionaron y

evaluaron los materiales reciclados mediante ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas del concreto triturado y la piedra chancada. Luego se elaboraron diseños de mezcla y se elaboraron probetas de concreto con diferentes proporciones de agregado reciclado 15%, 30% y 45%. Los resultados indican que la proporción del 30% de agregado grueso reciclado en reemplazo del agregado natural obtuvo mejores resultados, logrando una resistencia a la compresión de 185 kg/cm², las otras obtuvieron 3 kg/cm² y 5 kg/cm² más que la muestra patrón. Así el investigador concluyó que es posible obtener concreto con una resistencia a la compresión de 175 kg/cm² utilizando concreto reciclado de vías peatonales como agregado grueso, cabe recalcar también que mientras aumenta la proporción del agregado reciclado, también aumenta el porcentaje de absorción de la mezcla, sin embargo, el peso también disminuye. Esta investigación brinda puntos muy importantes que el investigador debe tener en cuenta para el desarrollo de la presente investigación.

Peña (2021), en su investigación titulada **“Aprovechamiento del concreto reciclado proveniente de los residuos de demolición de pavimento rígido en la producción de concreto nuevo en el distrito de Molinos - Huánuco – 2021”**, realizada en la Universidad de Huánuco, Huánuco – Perú, su objetivo fue estudiar las propiedades físicas y mecánicas del agregado grueso reciclado proveniente de pavimentos rígidos, y su posible uso en la elaboración de un nuevo concreto con una resistencia de 220 kg/cm². Metodológicamente, la investigación empleó un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo y un diseño experimental. La muestra consistió en agregados gruesos reciclados de pavimentos rígidos, realizó ensayos de granulometría, humedad, peso unitario, peso específico, absorción, abrasión y gravedad específica. Los resultados mostraron que la granulometría de los agregados reciclado puede producir un concreto con características aceptables, y los ensayos a compresión mostraron que pueden alcanzar resistencias comparables al concreto convencional, hasta que la proporción no supere al 40%. Concluyendo así el investigador, que el concreto producto de agregados reciclados es viable y que este cumple los requisitos estándares necesarios para su uso en nuevas construcciones, también resalta su mayor costo, pero es compensable con su beneficio ambiental.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CARBONATO DE CALCIO (CAL)

Según lo explicado por el profesor Agustín (2022) en su video. La cal es un material artificial producto de la calcinación de rocas calizas o

dolomías, estos minerales están compuesto de carbonato de calcio (CaCO_3), magnesio (Mg) y frecuentemente también presentan magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos.

2.2.1.1.OBTENCIÓN:

Se realiza un proceso llamado “CICLO DE LA CAL”, donde primero se obtiene, luego se apaga y finalmente se fragua.

Para obtener la cal, se calcinan minerales que contienen carbonato de calcio (CaCO_3) a una temperatura entre $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este proceso provoca la liberación de dióxido de carbono (CO_2) y la obtención de óxido de calcio (CaO), también llamado “cal viva”. Cabe recalcar que, cuanto más alta sea la temperatura, más puro será el producto obtenido.

Una vez obtenido el óxido de calcio (CaO), este se tiene que apagar. Esto se realiza mediante la adición de agua (H_2O). Esta combinación libera mucho calor, es decir, una reacción exotérmica. Por esto, incluso el agua puede llegar a hervir. Una vez apagada la cal viva (CaO), se obtiene hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), también llamado “cal apagada”.

Una vez obtenido el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), se puede hacer uso de este material. Cuando se coloca en obra, este material absorbe dióxido de carbono (CO_2) en un proceso llamado fraguado, y vuelve a su estado original, es decir, se produce nuevamente carbonato de calcio (CaCO_3), liberando agua en el proceso. Debemos dejar en claro que, para la colocación de la cal apagada en obra, o, en otras palabras, para el uso que le vayamos a dar, este requerirá distintas cantidades de agua, ya sea para obtenerlo en polvo, pasta o lechada de cal.

2.2.1.2.FORMAS DE APAGADO DE LA CAL VIVA:

Al aire, se extiende terrones de cal viva y se espera que la humedad ambiental y la lluvia apague la cal.

Por aspersión, se extiende terrones de cal, enteros o triturada, luego mediante aspersores se añade agua para realizar el apagado de la cal.

En balsa, en grandes recipientes de agua se vierte cal viva para que se apague, se obtiene una pasta o lechada de cal.

Por hidratadores mecánicos, se extiende la cal en un local y median hidratación mecánica se va apagando la cal.

Autoclave, se pone cal viva en un recipiente y se inyecta vapor de agua a presión, es más controlado.

2.2.1.3. TIPOS DE CAL:

2.2.1.3.1. CALES AÉREAS

Constituidas por óxido o hidróxido de calcio que adquieren resistencia mecánica lentamente por acción del dióxido de carbono en el medio ambiente, como la cal viva o apagada.

2.2.1.3.2. CALES HIDRÁULICAS

Están compuestos de cal con otros materiales como cemento, escoria de alto horno, cenizas volantes, y otros. Su principal característica es que pueden fraguar bajo el agua, aunque también el dióxido de carbono presente en la atmosfera contribuye en la ganancia de resistencia mecánica.

2.2.2. CONCRETO

De acuerdo a McCormac Y Brown (2017) el concreto es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. Adicionalmente se le puede añadir uno o más aditivos para modificar ciertas propiedades de este.

Por otra parte, el ingeniero Abanto (2013) nos menciona que el concreto es una mezcla de cemento, agregados finos y grueso, aire y agua en proporciones necesarias para obtener ciertas características particulares, como la resistencia.

CONCRETO = CEMENTO PORTLAND + AGREGADOS + AGUA

El cemento y el agua en conjunto mediante una reacción química unen las partículas de los agregados produciendo un material homogéneo.

2.2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Según Abanto (2013):

- El concreto, en su consistencia plástica, posee la facilidad de verterlo dentro de cualquier encofrado.
- Posee una gran resistencia a la compresión.
- Tiene buena resistencia al fuego y a la penetración del agua.
- Requiere un control de calidad.

- No posee buena resistencia a la tracción, por ello se refuerza con acero y se obtiene el concreto reforzado.

2.2.2.2. COMPONENTES DE CONCRETO

2.2.2.2.1. CEMENTO

Conglomerante hidráulico. Componente que en conjunto con el agua producen una pasta que liga los otros componentes entre sí.

Hay cinco tipos de cemento, fabricados con los mismos materiales básicos, pero la variación de la cantidad de cada uno produce cambios en las propiedades del concreto.

- Tipo I: es el cemento común.
- Tipo II: posee menor calor de hidratación que el cemento tipo I, y una cierta resistencia al ataque de sulfatos.
- Tipo III: este cemento adquiere rápidamente resistencia a la compresión, en comparación del cemento tipo I, este adquiere el doble de resistencia a la compresión en el primer día. Posee un alto calor de hidratación.
- Tipo IV: ideal para elementos estructurales de concreto de gran tamaño, ya que posee un bajo calor de hidratación.
- Tipo V: cemento ideal para concretos que serán expuestos a altas concentraciones de sulfatos.

2.2.2.2.2. AGUA

Líquido vital para el ser humano, también indispensable en la fabricación del concreto. Este componente se recomienda que sea potable y libre de impurezas, mientras más puro sea el agua, mayor será las garantías de obtener un buen concreto.

2.2.2.2.3. AIRE ATRAPADO

Volumen de aire que queda retenido de manera involuntaria durante el mezclado, transporte y colocación. Se caracteriza por formar burbujas de diferentes tamaños e irregulares, que disminuyen la resistencia mecánica del material al ocupar espacio en la estructura del concreto. Su presencia depende de la trabajabilidad, la granulometría de los agregados y la eficiencia de la vibración.

2.2.2.2.4. AGREGADOS

Materiales granulares de origen natural o mecánico que, junto con el cemento y el agua, producen el concreto, brindan o mejoran ciertas propiedades como: la trabajabilidad, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción, elasticidad y durabilidad.

“Los agregados para concreto deben cumplir con la NTP 400.037:2018 (Agregados para concreto. Requisitos).” Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

Existen dos tipos de agregados, los agregados finos y los agregados grueso.

- Grueso: grava, piedra chancada, confitillo y escoria de hornos. Abanto (2013)
- Finos: arena. Abanto (2013)

2.2.3. AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO

Se basa en la adición de materiales activos, que actúan como agentes reparadores. Al producirse un daño y generarse una grieta, estos agentes de reparación se activan y cubren la grieta, logrando así una reparación autónoma.

2.2.4. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso es el material retenido en el tamiz ITINTEC 4.75 mm (Nº4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas, el cual debe cumplir con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037; este puede presentarse en forma de grava o piedra chancada. Abanto (2013)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Aditivo: Sustancia química que se añade a la mezcla del concreto para mejorar alguna propiedad del concreto en específico, como por ejemplo la resistencia, trabajabilidad, tiempo de fraguado, entre otras.

Autocombustibilidad: Reacción de ciertos materiales que en contacto con el oxígeno producen fuego.

Calcinación: Procedimiento de calentar con fuego a altas temperaturas.

Calor de hidratación: Calor liberado durante la reacción química de hidratación, cuando el cemento en conjunto con el agua comienza a reaccionar y producir enlaces o estructuras cristalinas.

Cantera: Lugar donde se extrae, piedra o arena de origen natural.

Carga axial: Fuerza aplicada en el eje longitudinal de un elemento.

Colocación del concreto: Acción de ponerlo en su consistencia plástica en el encofrado o recipiente, del cual adquirirá su forma.

Consistencia plástica: Propiedad física de un material que le permite deformarse lentamente.

Consolidación del concreto: Proceso en la que el concreto alcanza su densidad máxima, y comienza a perder plasticidad. También el concreto se adhiere con el refuerzo de la estructura y se busca el mínimo de vacíos.

Control de calidad: Conjunto de procedimientos para verificar.

Corrosividad: Propiedad Química que indica el poder de destruir o dañar la superficie de otra sustancia con la que está en contacto. Químicas (2024)

Curado: Procedimiento de hidratación del cemento, después de colocar el concreto.

Diseño de mezcla: Procedimiento de selección de las proporciones de cada componente del concreto (cemento, agua, agregados y aditivos) para la obtención de las propiedades deseadas.

Dolomías: Roca sedimentaria compuesta principalmente de mineral dolomita (carbonato de calcio y magnesio).

Ductilidad: Capacidad de un material para deformarse bajo tensión sin romperse, permitiendo que se estire en hilos o alambres.

Elasticidad: Propiedad de un material para recuperar su forma inicial después de haber sido deformado.

Fragua: Proceso de endurecimiento del concreto después de que se ha mezclado el cemento con agua

Fuerza de compresión: Capacidad de un material de resistir fuerzas comprensivas.

Materiales granulares: Materiales compuestos por partículas discretas, como la arena o la grava, que se utilizan en la construcción de concreto.

Patogenicidad: Capacidad de un agente, como un microorganismo o un virus, para causar enfermedad en un huésped. MOTORGIGA (2024)

Radioactividad: Propiedad de ciertos materiales de emitir energía espontáneamente.

Reactividad: Capacidad de una sustancia para sufrir una reacción química, ya sea con ella misma o con otras sustancias o reactivos, transformándose en uno o varios productos y liberando energía. CURIOSOANDO (2024)

Relación de agua - cemento: Proporción entre la cantidad de agua y cemento en una mezcla de concreto, se le considera una relación clave para el desarrollo de la resistencia del concreto.

Tensión o tracción: Fuerza que se aplica a un material que tiende a estirarlo o alargarlo.

Trabajabilidad del concreto: Medida de la facilidad con la que el concreto fresco puede ser mezclado, transportado, colocado y compactado.

Contenido de humedad: Cantidad de agua presente en un material, como el concreto o el suelo.

Conglomerante hidráulico: Material capaz de endurecerse ante agua.

Escoria de alto horno: Subproducto de la producción de hierro en un alto horno.

Reacción exotérmica: Reacción química que libera energía en forma de calor.

Sulfatos: Sales o ésteres del ácido sulfúrico. En el concreto, los sulfatos pueden causar la expansión y el agrietamiento del concreto.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Hi: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó significativamente en la autorreparación del concreto $f'c = 210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024.

Ho: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, no influyó significativamente en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

HE1: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

HE2: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

HE3: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

HE4: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

(Y): Autorreparación.

2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

(X): Adición del 11% de cal viva.

2.5.3. UNIDAD DE ANÁLISIS

Concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: (X) Adición de cal viva	<u>Cal viva</u> Óxido de calcio que se obtiene por la calcinación de minerales con carbonato de calcio.	Se midió como la adición de 11% de cal viva respecto a la masa total del concreto, incorporada durante el mezclado.	CUANTITATIVA	11% de cal viva en concreto con 0% de concreto reciclado.	BÁSCULA DE PRECISIÓN (kg)
				11% de cal viva en concreto con 33% de concreto reciclado.	BÁSCULA DE PRECISIÓN (kg)
				11% de cal viva en concreto con 66% de concreto reciclado.	BÁSCULA DE PRECISIÓN (kg)
				11% de cal viva en concreto con 100% de concreto reciclado.	BÁSCULA DE PRECISIÓN (kg)
VARIABLE DEPENDIENTE: (Y) Autorreparación	<u>Autorreparación</u> Proceso por el cual el concreto recuperó parcial o totalmente su integridad estructural mediante la reacción de la cal viva con el agua y el CO2 presentes en su composición.	Se observó la autorreparación mediante ensayos de resistencia a la compresión y análisis microestructural con SEM, comparando los resultados.	CUANTITATIVA	Variación porcentual en la resistencia a la compresión (kg/cm2)	Prensa de compresión (kg/cm2)
			CUANTITATIVA	Presencia de productos de curado (CaCO3) observados en el SEM.	Microscopio electrónico de barrido (SEM)

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo aplicada, de acuerdo a Borja (2012), quien señala que este tipo de estudio tiene como finalidad explorar una situación problemática.

Carrasco (2005), menciona que la investigación aplicada tiene un fin práctico inmediato, en otras palabras, se investiga para intervenir en un sector específico de la realidad.

Asimismo, Hernández et al. (2010) indican que la investigación aplicada se caracteriza por la recolección de información empírica a través de ensayos o experimentos de laboratorio.

En este contexto, la presente investigación fue de tipo aplicada y cuasiexperimental, ya que se realizó mediante la elaboración y análisis de probetas de concreto con diferentes proporciones de agregado reciclado y con la adición del 11% de cal viva.

El estudio buscó resolver un problema práctico y específico dentro del campo de la ingeniería civil, centrado en determinar la influencia de la cal viva en la autorreparación del concreto elaborado con concreto reciclado como agregado grueso.

3.1.1. ENFOQUE

El investigador Carrasco (2005) señaló que el enfoque cuantitativo se caracteriza porque sus variables pueden medirse numéricamente, permitiendo analizar los resultados mediante procedimientos estadísticos.

Así también, Borja (2012) indicó que este enfoque se apoya en las matemáticas y la estadística para establecer patrones de comportamiento en una población.

Por otra parte, Cortés y Iglesias (2004) mencionaron que el enfoque cuantitativo emplea la observación sistemática y el análisis numérico de los datos obtenidos para responder a las hipótesis planteadas.

En este sentido, la presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se recopilaron y analizaron datos numéricos obtenidos de ensayos de laboratorio. Se midió la resistencia a la compresión y la capacidad de autorreparación del concreto elaborado

con diferentes proporciones de agregado reciclado con la adición del 11% de cal viva analizando las cantidades de cada elemento químico.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

Según Hernández et al. (2018) el nivel Explicativo busca encontrar las causas de eventos o fenómenos, sean de cualquier naturaleza.

Así también Borja (2012) nos explicó que este nivel busca el motivo por el cual se produce algunos fenómenos físicos o sociales.

Por su parte Carrasco (2005) señaló que este nivel de estudio responde a la pregunta: ¿por qué?, permitiendo comprender el origen y las razones de los hechos observados en la realidad.

En este sentido, la presente investigación tuvo un alcance explicativo, ya que buscó analizar el comportamiento que provoca la adición del 11% de cal viva en la autorreparación del concreto elaborado con concreto reciclado como agregado grueso. El objetivo fue entender la influencia que este componente adicional tiene en la autorreparación del concreto, para lo cual se evaluaron grupos experimentales con diferentes porcentajes de agregado reciclado y un grupo de control.

Las proporciones de concreto reciclado utilizadas (0%, 33%, 66% y 100%) fueron seleccionadas con base en investigaciones previas sobre el uso de materiales reciclados en la fabricación de concreto.

A partir de estas proporciones, se busca futuras investigaciones que amplíen el conocimiento sobre la optimización del concreto autorreparable con cal viva.

3.1.3. DISEÑO METODOLÓGICO

Según Borja (2012) las investigaciones experimentales verifican las hipótesis por medio de la manipulación deliberada de las variables. Estas investigaciones deben cumplir con tres requisitos principales:

- Manipulación intencional de las variables independientes: Esta manipulación deben ocasionar alteraciones en la variable dependiente. En la presente investigación se realizaron manipulaciones de presencia y ausencia (existiendo un grupo de control), así como de intensidad (al variar los porcentajes de concreto reciclado como agregado grueso).
- Medición del efecto de la variable independiente: El efecto se midió mediante la observación directa del concreto utilizando el microscopio electrónico de barrido (SEM), lo que permitió

comparar las características microestructurales de las diferentes muestras.

- Control interno de la situación experimental: porque esta investigación se centró en manipular una sola variable independiente, no se pudo mantener un control adecuado de las condiciones experimentales.

Asimismo, Hernández y Mendoza (2018) señalaron que las investigaciones experimentales se caracterizan por establecer una situación de control, donde una o más variables independiente (causa) se manipulan para observar sus efectos sobre las variables dependientes (efectos).

Por ello, esta investigación adoptó diseño cuasiexperimental, ya que se manipuló la variable independiente, la adición del 11% de cal viva, y se observaron sus efectos sobre la variable dependiente, la autorreparación del concreto.

El diseño cuasiexperimental fue el más adecuado debido a que los grupos de estudio no se conformaron aleatoriamente, sino que se establecieron con base en características predefinidas (porcentajes de agregado reciclado y adición de cal viva). Esta decisión respondió a limitaciones de tiempo y recursos, propias de una investigación aplicada de laboratorio.

Variables consideradas “X”, “Y” y “O”.

(X): Variable Independiente (adición de cal viva).

(Y): Variables Dependiente (Autorreparación del concreto).

(O): Unidad de Análisis (Concreto elaborado con concreto reciclado como agregado grueso).

Los grupos serán:

Tabla 1
Distribución de grupos.

Grupos	Variable Independiente	Variable Dependiente
GE0	(X0): 11% cal viva respecto al peso del concreto con 0% de concreto reciclado.	(Y0): Autorreparación.
GE1	(X1): 11% cal viva respecto al peso del concreto con 33% de concreto reciclado.	(Y1): Autorreparación.
GE2	(X2): 11% cal viva respecto al peso del concreto con 66% de concreto reciclado.	(Y2): Autorreparación.
GE3	(X3): 11% cal viva respecto al peso del concreto con 100% de concreto reciclado	(Y3): Autorreparación.
GC	(X4): 0% cal viva respecto al peso del concreto con 0% de concreto reciclado	(Y4): Autorreparación.

Esquema propuesto:

$$\mathbf{O1} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{O2}$$

Donde:

O1: objeto de estudio sin manipulación.

O2: objeto de estudio con manipulación.

X: manipulación de la variable independiente.

Reemplazando para el grupo de control:

$$\mathbf{GC} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X4) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{(Y0)}$$

“(Y4)” medición de la variable dependiente, este no sufre ningún cambio, entonces “(GC) = (Y0)”

Reemplazando para los grupos experimentales:

$$\mathbf{GE0} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X0) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{(Y0)}$$

$$\mathbf{GE1} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X1) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{(Y1)}$$

$$\mathbf{GE2} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X2) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{(Y2)}$$

$$\mathbf{GE3} \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow (X4) \rightarrow\rightarrow\rightarrow \mathbf{(Y3)}$$

Las mediciones de las variables dependientes “(Y0), (Y1), (Y2) y (Y3)” se realizaron posteriormente a las manipulaciones experimentales “(X1), (X2) Y (X3)”, permitiendo comparar el efecto de la adición de cal viva sobre la autorreparación del concreto.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Según Hernández y Mendoza (2018), la población se define como el conjunto de todas las instancias que cumplen con determinadas especificaciones.

Para la presente investigación, la población estuvo conformada por 75 probetas cilíndricas de concreto de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de alto.

Estas probetas incluyeron tanto el grupo de control como los grupos experimentales, elaborados con diferentes porcentajes de sustitución de agregado reciclado y con la adición del 11% de cal viva.

3.2.2. MUESTRA

Según Hernández y Mendoza (2018), la muestra no probabilística filtra casos por uno o varios propósitos. Este tipo de muestra no busca que los casos sean estadísticamente

representativos de la población, sino que se seleccionan de acuerdo con los objetivos y las decisiones del investigador.

El número de muestra elaboradas se determinó siguiendo los criterios mínimos recomendados para estudios experimentales y cuasiexperimentales. Según Hernández et al. (2010), el tamaño mínimo de muestra para este tipo de estudios es de 15 unidades experimentales por grupo.

Por lo que el número de muestras que se escogerá en esta investigación estará basado en la siguiente tabla:

Tabla 2

Tamaños de muestra mínimos en estudios cuantitativos.

Tipo de estudio	Tamaño mínimo de muestra
Transeccional descriptivo o correlacional	30 casos por grupo o segmento del universo.
Encuesta a gran escala	100 casos para el grupo o segmento más importante del universo y de 20 a 50 casos para grupos menos importantes.
Causal	15 casos por variable independiente.
Experimental o cuasiexperimental	15 por grupo.

Nota: Adaptado de Metodología de la Investigación por R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, y P. Baptista Lucio, 2010, pág. 189. Basado en Método de investigación por D. Mertens, 2005, pág. 327 y Métodos educativos y de investigación por W. R. Borg y M. D. Gall, 1989.

Dado que en esta investigación no se aplicó aleatoriedad en la selección de las muestras y que no se buscó la representatividad estadística de la población, la muestra se clasificó como no probabilística intencional.

Tabla 3

Número de muestras.

Grupos	Peso de cal viva respecto al porcentaje de concreto reciclado	Número de muestras
GE0	11% del peso del concreto con 0% de concreto reciclado	15
GE1	11% del peso del concreto con 33% de concreto reciclado	15
GE2	11% del peso del concreto con 66% de concreto reciclado	15

GE3	11% del peso del concreto con 100% de concreto reciclado	15
GC	0% del peso del concreto con 0% de concreto reciclado	15
TOTAL: 75		

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica utilizada para la recolección de datos fue la observación directa, ya que se evaluó la capacidad de autorreparación del concreto elaborado con distintos porcentajes de agregado reciclado y con la adición del 11% de cal viva.

La observación permitió registrar los cambios microestructurales en las probetas mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM), así como el control de las proporciones de cal viva incorporadas en la mezcla a través de una balanza electrónica de precisión.

Tabla 4

Técnica e instrumento de medición para las variables.

Variable	Técnica	Instrumento
(Y): Autorreparación	Observación Directa	Máquina microscópica SEM
(X): Cal viva	Observación Directa	Balanza Electrónica

3.3.1. INSTRUMENTOS

Los instrumentos necesarios para llevar a cabo la investigación, fueron los siguientes:

- Agitador mecánico de tamices.
- Serie de tamices estándar 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8"; 1/4"
- Balanza de precisión.
- Pala.
- Barra compactadora de 5/8" de 60 cm con punta semiesférica.
- Martillo de goma.
- Mezcladora de concreto.
- Moldes de probetas.
- Máquina de compresión.
- Horno de laboratorio.
- Cámara fotográfica.

- Cuaderno de apuntes.

3.3.2. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

I. LUGAR Y PERIODO DE EJECUCIÓN

Los ensayos experimentales se llevaron a cabo en el Laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, durante los meses de agosto a diciembre de 2024.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL GENERAL

II.I. RECOLECCIÓN DE MATERIALES

Se obtuvieron los agregados finos y gruesos de la chancadora Figueroa que se encuentra a 20 minutos de la ciudad de Huánuco, en el pueblo de Andabamba.

Para el concreto reciclado se recolectó probetas testigos de pavimentos rígidos de resistencias de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² en laboratorios de la ciudad de Huánuco, los cuales fueron trasladados a la cantera Figueroa para ser trituradas en fragmentos con tamaño nominal de ½".

Los materiales fueron limpiados, chancados y tamizados conforme a la NTP 400.037.

II.II. ENSAYOS

Se realizaron los siguientes ensayos de caracterización de agregados:

- A. Ensayo de peso específico y absorción de los agregados finos y gruesos (NTP 400.021 - NTP 400.022 - ASTM C127-88)
- B. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados finos (NTP 400.012 - ASTM C136)
- C. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados gruesos (NTP 400.012 - ASTM C136)
- D. Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados finos y gruesos (NTP 400.017 - MTC E203)
- E. Ensayo de contenido de humedad de los agregados finos y gruesos (NTP 339.185 - ASTM D2216-19)
- F. Ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland (NTP 339.035 - ASTM C143/143)

II.III. DISEÑO DE MEZCLA

Se elaboró una mezcla patrón de concreto con una resistencia de diseño 210 kg/cm² utilizando el método ACI 211.1.

Se empleó cemento de la marca andino tipo I y la relación de agua/cemento fue 0,61 y un asentamiento de 3 a 4 pulgadas según NTP 339.035.

II.IV. ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON AGREGADO RECICLADO Y CAL VIVA

Se elaboraron cuatro grupos experimentales con reemplazos de 0%, 33%, 66% y 100% de agregado grueso reciclado respecto al natural, con una adición constante del 11% de cal viva (CaO) respecto al peso total de la mezcla.

Además, se elaboró un grupo control sin cal viva ni agregado reciclado.

II.V. CORRECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO POR REACCIÓN EXOTÉRMICA DE LA CAL VIVA

Durante la elaboración de las mezclas se observó la necesidad de ajustar el contenido de agua con el fin de mantener una trabajabilidad adecuada. Este ajuste se debió a la reacción exotérmica inicial de la cal viva, que generaba un aumento notable de temperatura en la mezcla fresca.

Este aumento en el contenido de agua permitió lograr la trabajabilidad necesaria para el moldeo de las probetas cilíndricas, sin embargo, se reconoce que dicho ajuste provocó la disminución considerable de la resistencia a la compresión

Tabla 5

Corrección de relación agua/cemento (a/c) por reacción exotérmica de la cal viva.

GRUPO	AGUA DISEÑO	AGUA AÑADIDA	AGUA TOTAL	CEMENTO TOTAL	RELACIÓN a/c TEÓRICA	RELACION a/c REAL
GE0	6,62 lt	4,5 lt	11,12 lt	10,92 kg	0,61	1,02
GE1	6,62 lt	5,5 lt	12,12 lt	10,92 kg	0,61	1,11
GE2	6,62 lt	6,6 lt	13,22 lt	10,92 kg	0,61	1,21
GE3	6,62 lt	6,0 lt	12,62 lt	10,92 kg	0,61	1,16
GC	6,62 lt	0,0 lt	6,62 lt	10,92 kg	0,61	0,61

Con el fin de transparentar el efecto del agua añadida, se calculó la relación de agua/cemento real de cada grupo experimental, la cual difiere de la relación agua/cemento de diseño. Esta información se presenta en la Tabla 5 y constituye un insumo indispensable para la interpretación crítica de los resultados.

II.VI. MOLDEO Y CURADO DE PROBETAS

Se fabricaron 75 probetas cilíndricas de 5x10 pulgadas, compactadas en tres capas mediante el varillado manual.

Posteriormente fueron curadas por 28 días en agua a temperatura ambiente y otros 14 días después del ensayo de compresión para ser observadas microscópicamente.

II.VII. ENSAYO DE COMPRESIÓN

Transcurrido el tiempo de curado, las probetas fueron ensayadas a compresión conforme a la NTP 339.034, utilizando una prensa de compresión.

II.VIII. EVALUACIÓN MICROESTRUCTURAL (SEM)

Los datos obtenidos fueron registrados en fichas de campo y planillas digitales, incluyendo los resultados de los ensayos físicos y mecánicos, así como las observaciones microscópicas del SEM.

3.3.3. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos obtenidos durante los ensayos de laboratorio fueron organizados y procesados utilizando el software Microsoft Excel 2021, con el propósito de obtener los valores promedio, máximos y mínimos de cada grupo experimental. Asimismo, se elaboraron tablas y gráficos comparativos que permitieron representar de manera visual los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión.

La presentación de los resultados se realizó en orden cronológico de las fases experimentales, iniciando con las características de los materiales empleados, seguidas del comportamiento de las mezclas con distintos porcentajes de agregado reciclado y con la adición del 11% de cal viva.

De igual manera, se emplearon recursos gráficos para mostrar entre el grupo control y los grupos experimentales, permitiendo visualizar las variaciones en la resistencia y la evolución del proceso de autorreparación del concreto.

3.3.4. PARA EL ENÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

El análisis de los datos se realizó aplicando métodos estadísticos descriptivos y comparativos, con el propósito de determinar la influencia de la adición del 11% de cal viva en la autorreparación del concreto elaborado con diferentes proporciones de concreto reciclado como agregado grueso.

También se utilizó el software SPSS V.26, para la prueba estadística ANOVA, exclusivamente para identificar diferencias significativas en la resistencia a la compresión entre los grupos. La evaluación del potencial de autorreparación se basó principalmente en la evidencia del microscopio electrónico de barrido (SEM) y sus espectros de dispersión de energía (EDS)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1.1. DISEÑO DE MEZCLA

Tabla 6

Propiedades de los materiales.

PROPIEDADES	PIEDRA CHANCADA	CONCRETO RECICLADO	ARENA GRUESA
peso específico (kg/m ³)	2,6770	2,3650	2,6020
peso seco compactado (kg/m ³)	1834,0690	1571,6390	1769,8810
peso suelto (kg/m ³)	1684,6130	1410,7090	1653,2140
contenido de humedad (%)	0,1700	2,5200	0,4900
% de absorción	1,0000	2,0000	2,0000
cemento		2950.0000	
asentamiento		3" - 4"	

Interpretación:

Se presenta los valores de las propiedades de los materiales (Tabla 6) obtenidos en laboratorio.

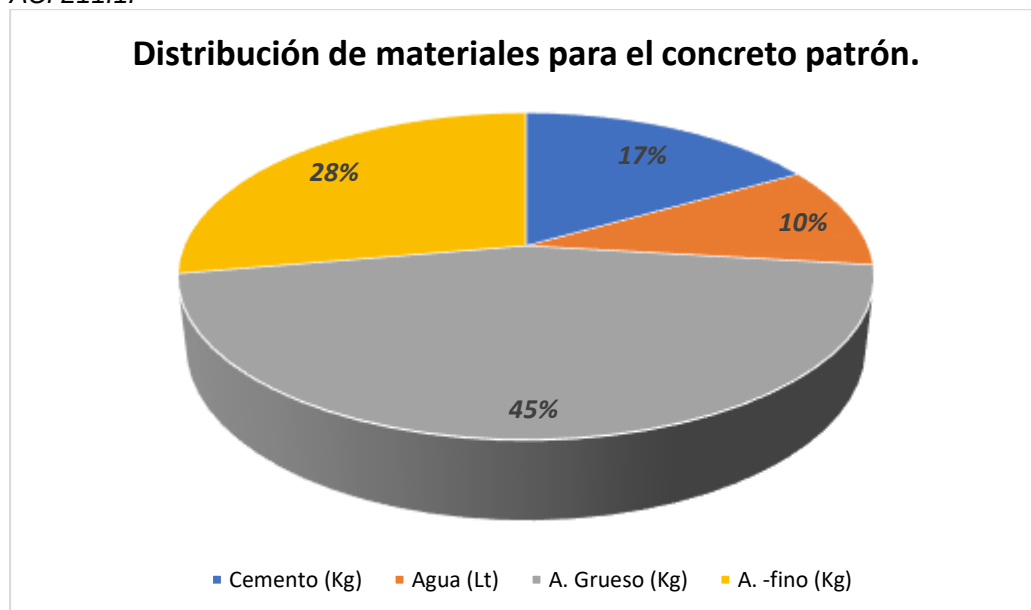
Tabla 7

Cantidades de materiales de los diferentes grupos experimentales y concreto patrón.

MATERIALES	PATRÓN	CONCRETO CON CAL	CONCRETO CON CAL Y 33% DE RECICLADO	CONCRETO CON CAL Y 66% DE RECICLADO	CONCRETO CON CAL Y 100% DE RECICLADO
Cemento (kg)	10,92	10,92	10,92	10,92	10,92
Agua (lt)	6,62	11,12	12,12	13,22	12,62
A. Grueso (kg)	29,62	29,62	19,85	10,07	0,00
A. -fino (kg)	18,09	18,09	18,09	18,09	18,09
Cal (kg)	0,00	7,18	7,18	7,18	7,18
A. Reciclado (kg)	0,00	0,00	9,77	19,55	29,62

Figura 1

Distribución de materiales para el concreto patrón, resultado del diseño de mezcla ACI 211.1.



Interpretación:

Se presenta las cantidades de materiales utilizadas para cada grupo de muestra (Tabla 7), como se observa la cantidad de cal es el 11% del peso total de la mezcla y las cantidades de agregado grueso reciclado se calcularon respecto al peso del agregado grueso.

Durante la elaboración de las mezclas con cal viva fue necesario adicionar agua adicional para mantener la trabajabilidad debido a la reacción exotérmica de la cal viva. Esta corrección incrementó la relación agua/cemento respecto al diseño teórico (Figura 1), contaminando la variable independiente. Como consecuencia, los resultados de la resistencia a la compresión reflejan el efecto combinado de cal viva más mayor relación de agua/cemento, y no el efecto aislado de la cal viva.

4.1.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Se presentan los valores obtenidos para cada grupo de estudio (Tablas 7 al 9). Para el procesamiento de los resultados se emplearon tablas de frecuencia y gráficos comparativos, con propósito de mostrar el análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

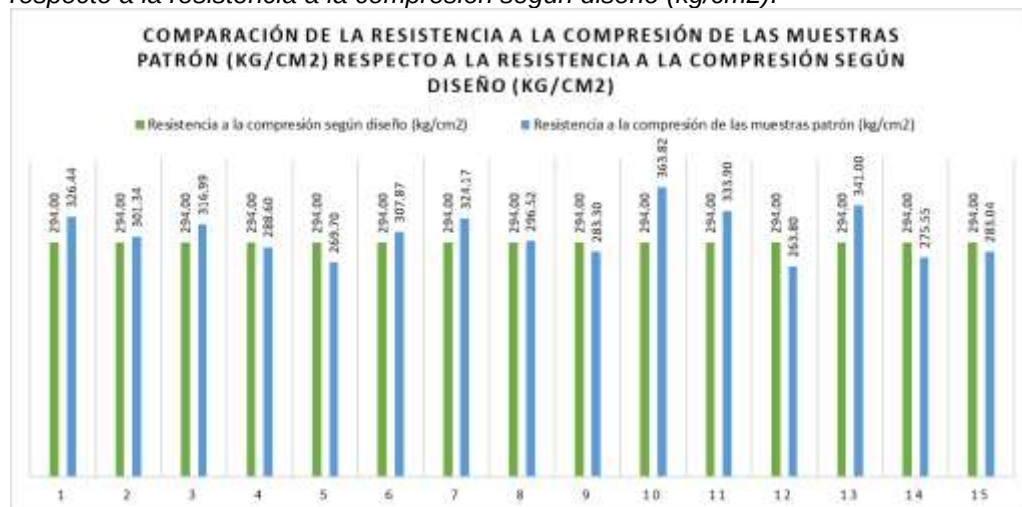
Tabla 8

Resultados de la resistencia a la compresión (f'c) de las muestras patrón y del diseño.

DESCRIPCIÓN	F'C diseño (kg/cm2)	Área (cm2)	Carga (kgF)	F'C (kg/cm2)	F'C Prom. (kg/cm2)	F'C Prom. DISEÑO
MP-01	294,00	78,54	25637,80	326,44	305,07	103,77%
MP-02	294,00	78,54	23666,48	301,34		
MP-03	294,00	78,54	24895,75	316,99		
MP-04	294,00	78,54	22666,23	288,60		
MP-05	294,00	78,54	21181,32	269,70		
MP-06	294,00	78,54	24179,70	307,87		
MP-07	294,00	78,54	25459,35	324,17		
MP-08	294,00	78,54	23287,55	296,52		
MP-09	294,00	78,54	22249,68	283,30		
MP-10	294,00	78,54	28573,27	363,82		
MP-11	294,00	78,54	26224,04	333,90		
MP-12	294,00	78,54	20718,26	263,80		
MP-13	294,00	78,54	26781,11	341,00		
MP-14	294,00	78,54	21641,11	275,55		
MP-15	294,00	78,54	22229,39	283,04		

Figura 2

Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm2) respecto a la resistencia a la compresión según diseño (kg/cm2).



Interpretación

Se observa que la resistencia a la compresión promedio de las muestras patrón (Tabla 8 y Figura 2), ensayadas a los 28 días, alcanzó un valor de 305,07 kg/cm2, mientras que la resistencia de diseño fue de 294 kg/cm2. Esto representa un incremento del 3,77% respecto al valor proyectado durante el diseño de mezcla.

Esto indica que la muestra patrón superó ligeramente la resistencia esperada, evidenciando una adecuada dosificación, correcta compactación y un proceso de curado favorable.

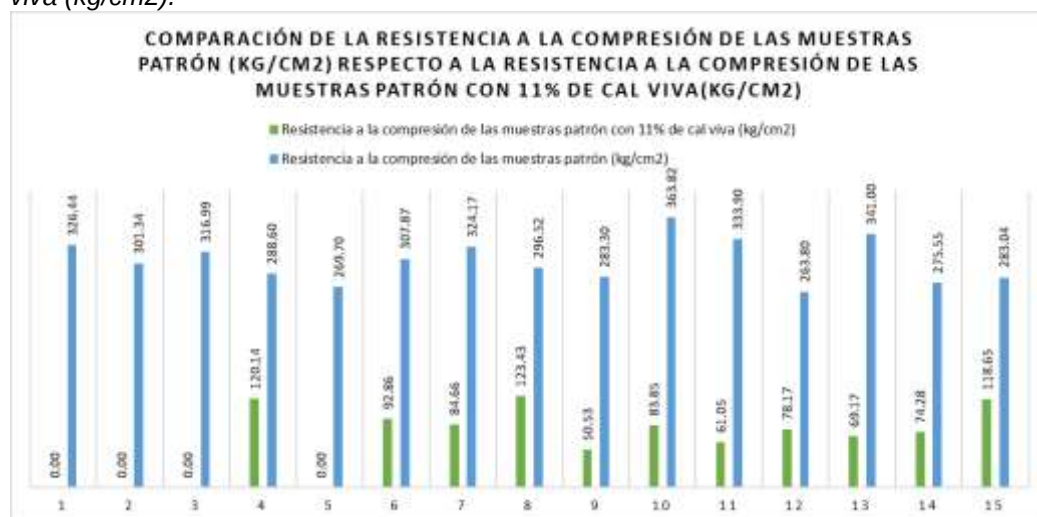
Tabla 9

Resultados de la resistencia a la compresión (f'c) de las muestras patrón y de las muestras patrón con cal viva 11%.

DESCRIPCIÓN	F'C patrón (kg/cm2)	Área (cm2)	Carga (kgF)	F'C (kg/cm2)	F'C Prom. (kg/cm2)	F'C Prom. patrón
MP+CAL-01	326,44	78,54	0,00	0,00		
MP+CAL-02	301,34	78,54	0,00	0,00		
MP+CAL-03	316,99	78,54	0,00	0,00		
MP+CAL-04	288,60	78,54	9435,47	120,14		
MP+CAL-05	269,70	78,54	0,00	0,00		
MP+CAL-06	307,87	78,54	7293,04	92,86		
MP+CAL-07	324,17	78,54	6648,88	84,66		
MP+CAL-08	296,52	78,54	9694,07	123,43	63,79	20,91%
MP+CAL-09	283,30	78,54	3968,34	50,53		
MP+CAL-10	363,82	78,54	6585,25	83,85		
MP+CAL-11	333,90	78,54	4794,42	61,05		
MP+CAL-12	263,80	78,54	6138,92	78,17		
MP+CAL-13	341,00	78,54	5432,76	69,17		
MP+CAL-14	275,55	78,54	5833,51	74,28		
MP+CAL-15	283,04	78,54	9318,51	118,65		

Figura 3

Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm2) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras patrón con 11% de cal viva (kg/cm2).



Interpretación

Se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de las muestras patrón en comparación con las elaboradas con la adición del 11% de cal viva (Tabla 9 y Figura 3) a los 28 días. Se observa que

las probetas con cal viva alcanzaron una resistencia promedio de 63,79 kg/cm², lo que representa el 20,91% de la resistencia promedio de la muestra patrón.

Este comportamiento evidencia que la adición de agua modifica la relación de agua/cemento provocando una disminución significativamente de la resistencia a la compresión inicial del concreto. Este fenómeno puede atribuirse a que la cal viva debido a su propiedad exotérmica, al reaccionar con el agua durante el proceso de hidratación, incrementa la demanda de agua en la mezcla, afectando la relación agua/cemento y generando una pasta menos densa en las primeras etapas de fraguado.

No obstante, esta disminución inicial en la resistencia a la compresión no implica necesariamente un comportamiento negativo a largo plazo, ya que la cal viva puede favorecer la autorreparación del concreto en etapas posteriores, al reaccionar con el dióxido de carbono del ambiente y formar carbonatos de calcio que sellan microfisuras.

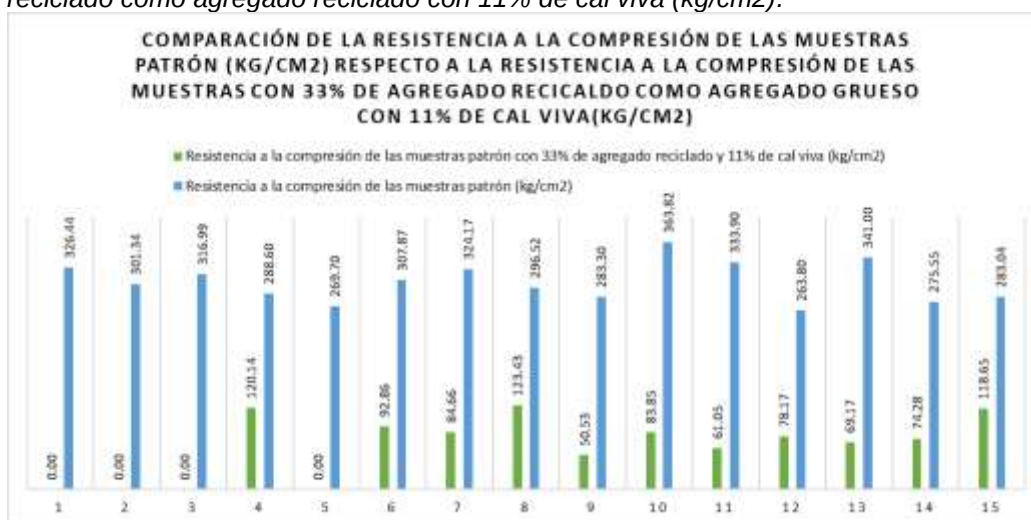
Tabla 10

Resultados de la resistencia a la compresión (f'c) de las muestras patrón y de las muestras con 33% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%.

DESCRIPCIÓN	F'C patrón (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga (kgF)	F'C (kg/cm ²)	F'C Prom. (kg/cm ²)	F'C Prom. patrón
33%+CAL-01	326,44	78,54	0,00	0,00	71,25	23,36%
33%+CAL-02	301,34	78,54	5223,31	66,51		
33%+CAL-03	316,99	78,54	6403,74	81,54		
33%+CAL-04	288,60	78,54	9314,53	118,60		
33%+CAL-05	269,70	78,54	0,00	0,00		
33%+CAL-06	307,87	78,54	7270,40	92,57		
33%+CAL-07	324,17	78,54	6326,44	80,55		
33%+CAL-08	296,52	78,54	7775,98	99,01		
33%+CAL-09	283,30	78,54	7717,04	98,26		
33%+CAL-10	363,82	78,54	6616,86	84,25		
33%+CAL-11	333,90	78,54	0,00	0,00		
33%+CAL-12	263,80	78,54	6241,09	79,47		
33%+CAL-13	341,00	78,54	6388,34	81,34		
33%+CAL-14	275,55	78,54	7350,45	93,59		
33%+CAL-15	283,04	78,54	7308,13	93,05		

Figura 4

Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 33% de agregado reciclado como agregado grueso con 11% de cal viva (kg/cm²).



Interpretación

Se observa que las probetas elaboradas con 33% de agregado reciclado y la adición del 11% de cal viva (Tabla 10 y Figura 4) a los 28 días, estos alcanzaron una resistencia promedio a la compresión de 71,25 kg/cm², lo que representa el 24,23% de la resistencia promedio de la muestra patrón.

Se evidencia una disminución general de la resistencia a la compresión, atribuible al empleo de agregado reciclado, el cual presenta mayor porosidad y menor adherencia que el agregado natural. Asimismo, la presencia de cal viva incrementa la demanda de agua durante el mezclado, modificando la relación agua/cemento, lo que afecta la compactación y densidad del concreto.

Sin embargo, al comparar este mismo resultado con el obtenido para el concreto patrón con 11% de cal viva, se observa un ligero incremento de la resistencia a la compresión. Esto sugiere que la incorporación del 33% de concreto ayudó atenuar el efecto de pérdida de resistencia que produjo el aumento de agua, aunque este aumento es superior a la demanda del concreto patrón con 11% de cal viva.

Este comportamiento puede deberse a la mayor absorción del agregado reciclado, la cual permitió retener parte del agua libre de la mezcla, reduciendo el exceso de agua que había debilitado al concreto con solo cal viva. En otras palabras, el agregado reciclado se comportó como un “amortiguador” del efecto de la cal y el agua, permitiendo que la mezcla gane algo más de cohesión y por tanto una resistencia ligeramente mayor.

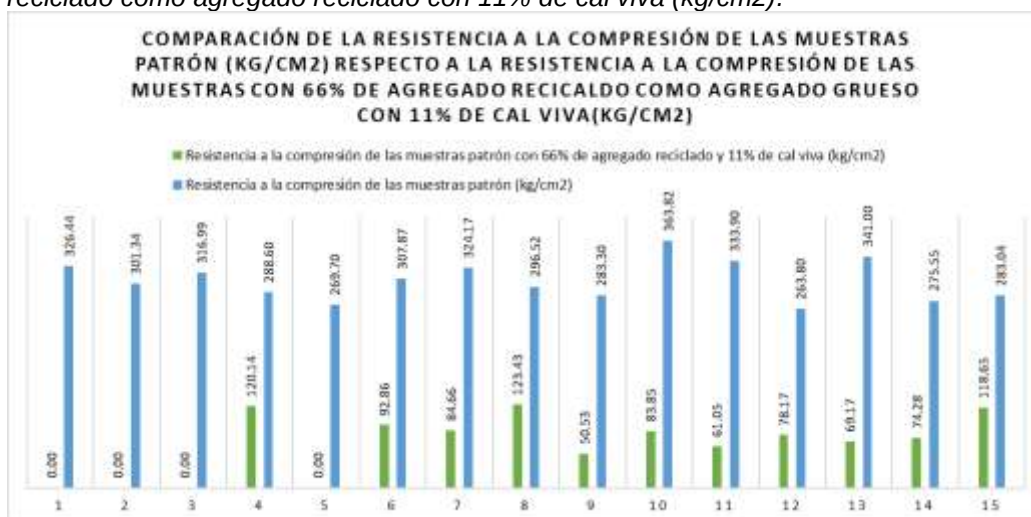
Tabla 11

Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras con 66% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%.

DESCRIPCIÓN	F'C patrón (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga (kgF)	F'C (kg/cm ²)	F'C Prom. (kg/cm ²)	F'C Prom. patrón
66%+CAL-01	326,44	78,54	0,00	0,00	88,16	28,90%
66%+CAL-02	301,34	78,54	7476,08	95,19		
66%+CAL-03	316,99	78,54	9367,66	119,28		
66%+CAL-04	288,60	78,54	5372,39	68,41		
66%+CAL-05	269,70	78,54	4353,80	55,44		
66%+CAL-06	307,87	78,54	10501,28	133,71		
66%+CAL-07	324,17	78,54	8034,99	102,31		
66%+CAL-08	296,52	78,54	6258,43	79,69		
66%+CAL-09	283,30	78,54	0,00	0,00		
66%+CAL-10	363,82	78,54	6601,06	84,05		
66%+CAL-11	333,90	78,54	7170,16	91,30		
66%+CAL-12	263,80	78,54	8584,92	109,31		
66%+CAL-13	341,00	78,54	11166,75	142,18		
66%+CAL-14	275,55	78,54	8970,58	114,22		
66%+CAL-15	283,04	78,54	10003,15	127,37		

Figura 5

Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 66% de agregado reciclado como agregado reciclado con 11% de cal viva (kg/cm²).



Interpretación

Se observa que las probetas elaboradas con 66% de agregado reciclado y la adición del 11% de cal viva (Tabla 11 y Figura 5) a los 28 días alcanzaron una resistencia promedio a la compresión de 88,16 kg/cm², lo que representa el 28,90% respecto a la resistencia promedio del concreto patrón.

A diferencia de los grupos anteriores, este conjunto evidencia un incremento notable de la resistencia. Dicho aumento puede atribuirse a un efecto conjunta entre la cal viva y el agregado reciclado, que en esta proporción parecen favorecer una mejor compactación y una reacción de autocarbonatación más efectiva dentro de la matriz del concreto.

Este comportamiento sugiere que, al utilizar un 66% de agregado reciclado, la mezcla alcanza una relación entre absorción y retención de humedad, generando condiciones más adecuadas para la activación de la cal viva y la formación de productos de curado como el carbonato de calcio (CaCO_3), los cuales contribuyen el sellado de microfisuras y el aumento de la cohesión interna.

En consecuencia, aunque la resistencia sigue siendo inferior al concreto patrón, a consecuencia del aumento de agua, el incremento de resistencia observado con respecto a los grupos anteriores demuestra que la sustitución parcial del agregado natural en esta proporción optimiza la interacción entre los componentes, mejorando el comportamiento mecánico del concreto con adición de cal viva

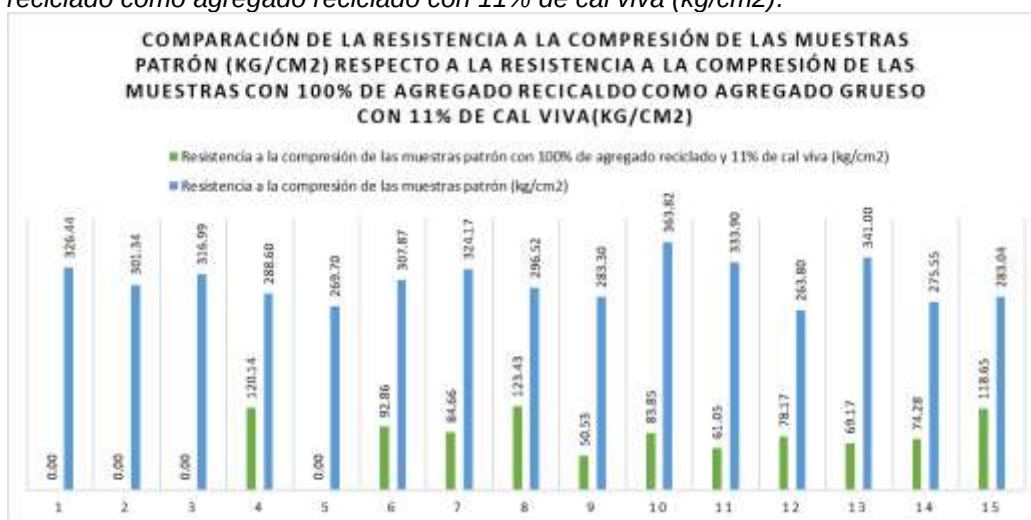
Tabla 12

Resultados de la resistencia a la compresión (f'_c) de las muestras patrón y de las muestras con 100% de agregado reciclado como agregado grueso con cal viva 11%.

DESCRIPCIÓN	F'C patrón (kg/cm ²)	Área (cm ²)	Carga (kgF)	F'C (kg/cm ²)	F'C Prom. (kg/cm ²)	F'C Prom. patrón
100%+CAL-01	326,44	78,54	10212,80	130,04		
100%+CAL-02	301,34	78,54	10584,39	134,77		
100%+CAL-03	316,99	78,54	9740,26	124,02		
100%+CAL-04	288,60	78,54	8794,78	111,98		
100%+CAL-05	269,70	78,54	10196,28	129,83		
100%+CAL-06	307,87	78,54	9165,75	116,71		
100%+CAL-07	324,17	78,54	10203,73	129,92		
100%+CAL-08	296,52	78,54	8752,46	111,44	113,54	37.22%
100%+CAL-09	283,30	78,54	10164,87	129,43		
100%+CAL-10	363,82	78,54	0,00	0,00		
100%+CAL-11	333,90	78,54	8273,29	105,34		
100%+CAL-12	263,80	78,54	10426,64	132,76		
100%+CAL-13	341,00	78,54	8852,70	112,72		
100%+CAL-14	275,55	78,54	9002,90	114,63		
100%+CAL-15	283,04	78,54	9389,38	119,55		

Figura 6

Comparación de la resistencia a la compresión de las muestras patrón (kg/cm²) respecto a la resistencia a la compresión de las muestras con 100% de agregado reciclado como agregado reciclado con 11% de cal viva (kg/cm²).



Interpretación

Se aprecia que las probetas elaboradas con 100% de agregado reciclado y la adición del 11% de cal viva (Tabla 12 y Figura 6) de 28 días, estas alcanzaron una resistencia promedio a la compresión de 113,54 kg/cm², lo que representa el 37,22% de la resistencia promedio del concreto patrón.

Este resultado confirma una tendencia ascendente en la resistencia conforme se incrementa al porcentaje de agregado reciclado en la mezcla. A diferencia de los grupos anteriores, el uso total de agregado reciclado permitió una mejor integración entre los componentes del concreto y la cal viva, lo que favoreció la formación de productos de curado y una mayor cohesión interna.

El incremento de la resistencia puede explicarse por la alta capacidad de absorción del concreto reciclado, que permitió regular la humedad interna y mejorar las condiciones de reacción de la cal viva, favoreciendo la formación de carbonado de calcio. Esto contribuyó a reforzar la estructura de la pasta del cemento, compensando parcialmente la pérdida de resistencia provocada por el aumento de agua.

4.1.3. AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO

Figura 7

Microestructura del concreto patrón observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).



Tabla 13

Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 6.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	3,7	0,4	2,3	0,3
O	75,8	1,8	61,9	1,4
Na	0	---	0	---
Mg	0,1	0,1	0,1	0,1
Al	1,6	0,1	2,3	0,2
Si	8,8	0,3	12,6	0,5
S	0,3	0,1	0,4	0,2
K	0	---	0	---
Ca	9,1	0,3	18,6	0,6
Fe	0,7	0,4	1,9	1,1

Figura 8

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 6.

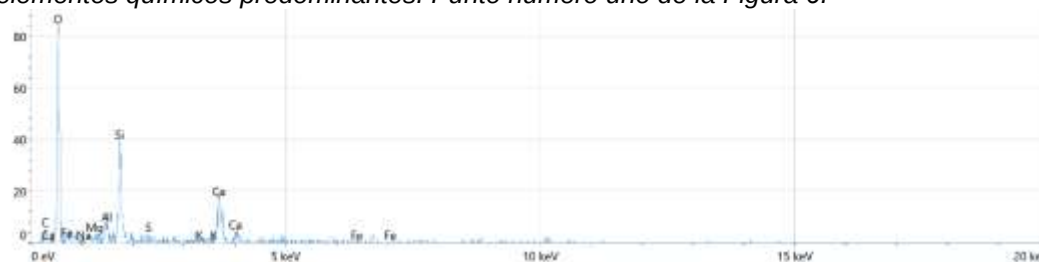


Tabla 14

Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 6.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	6,4	0,5	3,8	0,3
O	70,7	1,7	56,3	1,3
Na	0,3	0,2	0,4	0,2
Mg	0,6	0,1	0,7	0,2
Al	1,8	0,2	2,4	0,2
Si	9,1	0,2	12,8	0,3
S	0,3	0	0,5	0
K	0,4	0,1	0,7	0,2
Ca	8,5	0,4	17	0,8
Fe	1,9	0,3	5,4	0,9

Figura 9

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 6.

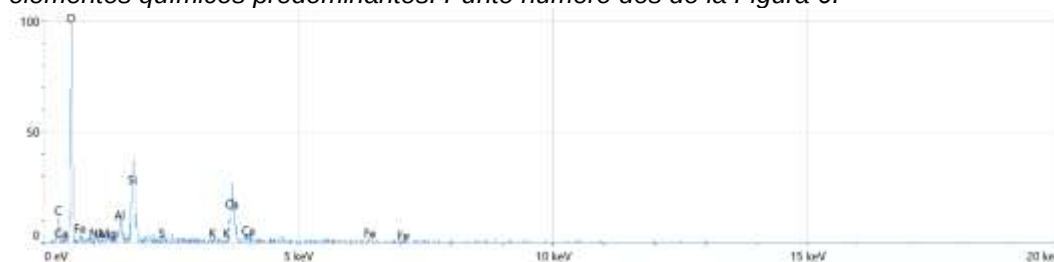


Tabla 15

Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 6.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	8,6	0,7	5,3	0,4
O	71,7	1,5	59,4	1,2
Na	0	---	0	---
Mg	0,4	0,1	0,5	0,1
Al	1,6	0,1	2,2	0,2
Si	8,1	0,3	11,8	0,4
S	0,1	0	0,2	0

K	0,5	0,1	1,1	0,1
Ca	8,2	0,4	16,9	0,8
Fe	0,9	0,2	2,6	0,6

Figura 10

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 6.

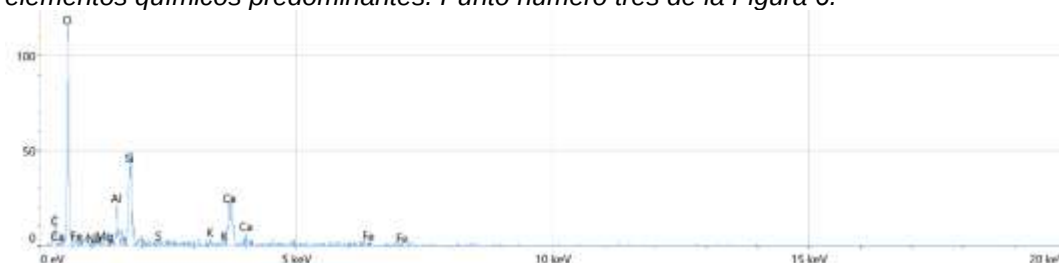


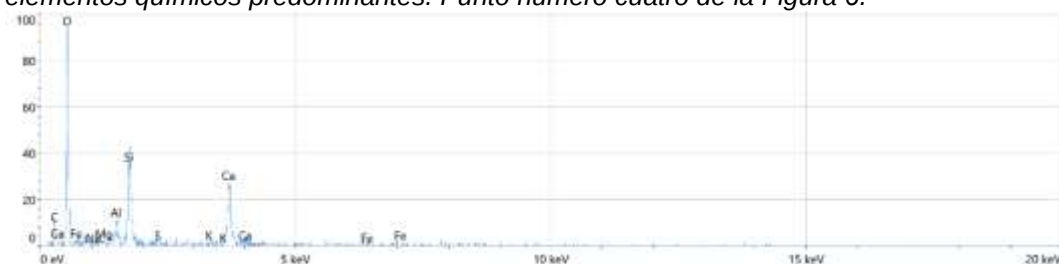
Tabla 16

Composición química elemental del concreto patrón obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 6.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	7,5	0,7	4,6	0,4
O	71	1,8	57,7	1,5
Na	0	---	0	---
Mg	0,2	0,1	0,3	0,1
Al	1,7	0,2	2,4	0,2
Si	9,3	0,3	13,3	0,5
S	0,1	0	0,2	0
K	0,3	0,1	0,6	0,2
Ca	8,7	0,4	17,8	0,8
Fe	1,1	0,5	3,2	1,4

Figura 11

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 6.



Interpretación

Se observa la superficie del concreto patrón (Figura 7) mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). A nivel microscópico, se identifican los productos de hidratación del cemento.

El análisis espectral de dispersión de energía (EDS) permitió examinar la composición elemental en cuatro puntos específicos de la superficie (Figura 7). Cada punto fue evaluado individualmente,

obteniéndose los resultados (Tablas 13 al 16) y sus correspondientes espectros (Figuras 8 al 11).

En todos los puntos analizados, los elementos oxígeno (O), calcio (Ca) y silicio (Si) son los más abundantes lo que confirma la presencia de productos de hidratación del cemento, tales como el silicato de calcio hidratado (C-S-H) y la portlandita (Ca(OH)_2), que proporcionan cohesión y alcalinidad al concreto. Asimismo, se detectaron pequeñas proporciones de aluminio (Al) y hierro (Fe), procedentes de las fases aluminato y ferrita del Clinker, que contribuyen estructural del material.

El contenido de carbono (C), se atribuye a procesos de carbonatación superficial del Ca(OH)_2 ocasionados por la exposición del concreto al dióxido de carbono atmosférico. Este fenómeno es característico del concreto sin adición de cal viva y no representa contaminación significativa, sino una ligera transformación natural de la superficie cementicia.

En los espectros EDS (Figuras del 8 al 11) se observa que los picos más pronunciados corresponden al oxígeno, silicio y calcio, mientras que los de aluminio, hierro, azufre y magnesio presentan intensidades menores, confirmando su condición de elementos secundarios. Esta distribución elemental evidencia que la matriz del concreto se encuentra bien hidratada y homogénea, sin indicios de deterioro.

En conjunto, estos resultados confirman que el concreto patrón presenta una microestructura densa y estable, conformada por fases hidratadas típicas del cemento, lo que garantiza su resistencia mecánica y durabilidad. Este comportamiento servirá como referencia base para comparar la influencia de la adición de cal viva en las mezclas modificadas, con el fin de evaluar su efecto en la autorreparación del concreto.

Figura 12

Microestructura del concreto patrón con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).

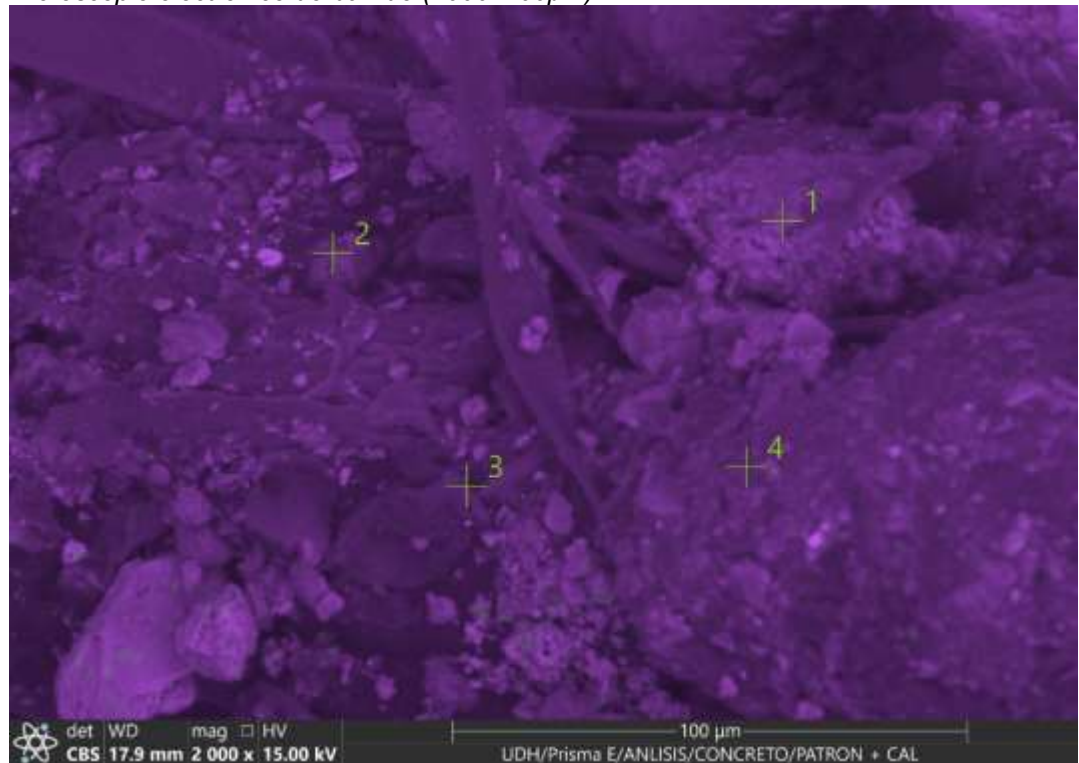


Tabla 17

Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 11.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	23,8	0,1	15,7	0,1
O	59,9	0,4	52,6	0,4
Na	0,2	0	0,2	0
Mg	0,4	0	0,5	0
Al	0,9	0	1,4	0
Si	4,8	0	7,5	0
S	0,3	0	0,6	0
K	0,3	0	0,5	0
Ca	9,1	0,1	20,1	0,2
Fe	0,3	0	1	0,1

Figura 13

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 11.

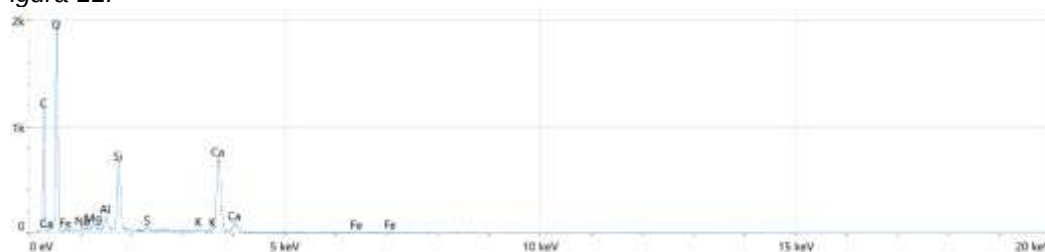


Tabla 18

Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 11.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	34,3	0,2	24,5	0,1
O	53,9	0,3	51,4	0,3
Na	0,3	0	0,4	0
Mg	0,7	0	0,9	0
Al	1,5	0	2,3	0
Si	4,1	0	6,8	0,1
P	0,1	0	0,2	0
S	0,3	0	0,7	0
Cl	0,2	0	0,3	0
K	0,3	0	0,7	0
Ca	3,7	0	8,9	0,1
Fe	0,6	0	2	0,1
Ba	0,1	0	0,8	0,1

Figura 14

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 11.

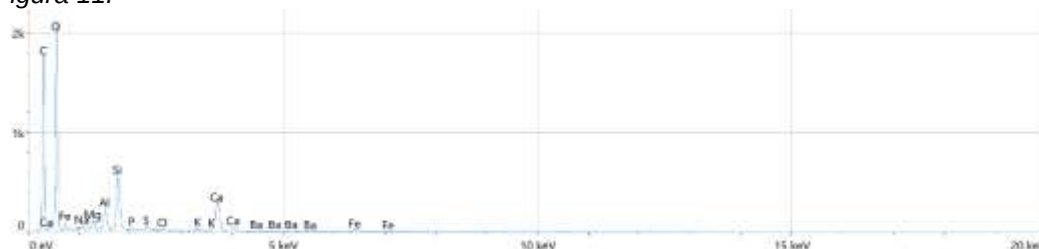


Tabla 19

Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 11.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	48,7	0,2	37,6	0,1
N	0	---	0	---
O	43,2	0,4	44,4	0,4
Na	0,5	0	0,8	0
Mg	0,3	0	0,5	0
Al	0,7	0	1,3	0
Si	1,8	0	3,3	0
S	0,3	0	0,6	0
Cl	0,5	0	1,2	0
K	0,1	0	0,4	0
Ca	3,3	0	8,4	0,1
Fe	0,4	0,1	1,5	0,2

Figura 15

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 11.

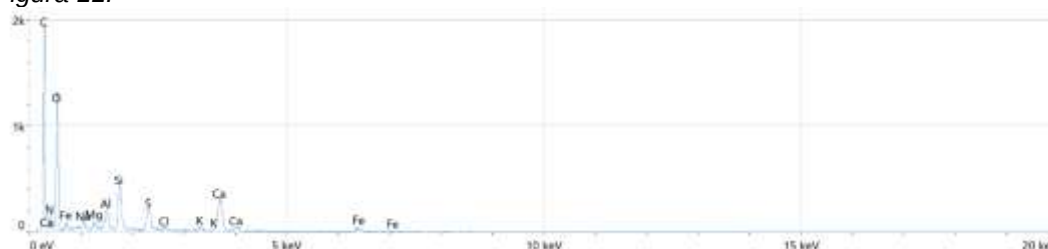
**Tabla 20**

Composición química elemental del concreto patrón con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 11.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	39,1	0,2	28,6	0,2
N	7,7	1,2	6,5	1,1
O	41,6	0,5	40,4	0,5
Na	0,4	0	0,6	0,1
Mg	0,4	0	0,6	0
Al	1,1	0	1,8	0
Si	3	0	5,1	0
S	1,5	0	2,9	0,1
Cl	0,2	0	0,5	0
K	0,4	0	0,8	0
Ca	3,6	0	8,7	0,1
Fe	1	0,1	3,5	0,2

Figura 16

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto patrón con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 11.



Interpretación

Se observa la microestructura del concreto patrón modificado con 11% de cal viva (Figura 12), mediante microscopía electrónica (SEM). A nivel microscópico, se distingue una superficie heterogénea y menos compacta que la del concreto patrón sin cal, con presencia de partículas angulosas y zonas porosas que evidencian una mayor reactividad superficial. En la imagen se identificaron cuatro puntos de análisis, cuyos resultados de composición elemental (Tablas del 17 al 20) y sus correspondientes espectros (Figuras del 13 al 16).

Los análisis de dispersión de energía (EDS) revelaron un incremento notable en el contenido de carbono (C), que varía entre 23,8% y 48,7% atómico, acompañado de una reducción del oxígeno (O) y el silicio (Si) respecto al concreto patrón. Este aumento de carbono indica un proceso de carbonatación más intenso, atribuible a la reacción del óxido de calcio (CaO) con el dióxido de carbono atmosférico para formar carbonato de calcio (CaCO₃). Esta reacción es típica cuando se adiciona cal viva, ya que su alta alcalinidad favorece la absorción de CO₂ y la precipitación de productos carbonatados dentro de la matriz.

El calcio (Ca) presenta valores entre 3,6% y 9,1% atómico, mientras que el silicio (Si) disminuye respecto al concreto patrón, lo que sugiere una disminución relativa del silicato de calcio hidratado (C-S-H) frente a la formación de compuestos carbonatados. Además, en algunos puntos se detectó presencia de bario (Ba) y cloro (Cl) en pequeñas cantidades, posiblemente provenientes de impurezas o del proceso de curado, aunque sin incidencia estructural relevante.

Los picos más intensos en los espectros EDS corresponden al (C) y al oxígeno (O), seguidos por el calcio (Ca), confirmando la predominancia del carbonato de calcio (CaCO₃) como fase principal. Esta fase, aunque menos resistente que el silicato de calcio hidratado (C-S-H), puede contribuir a la autorreparación del concreto al sellar microfisuras superficiales mediante la precipitación de carbonato.

En conjunto, estos resultados evidencian que la adición de 11% de cal viva modificó significativamente la composición química y la morfología del concreto, promoviendo la formación de productos de carbonatación secundaria. Si bien esto puede generar una ligera disminución en la resistencia mecánica, también favorece la capacidad de autorreparación frente a fisuras, lo cual es consistente con el mecanismo de autorreparación inducida por cal viva que se evalúa en esta investigación.

Figura 17

Microestructura del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100μm).

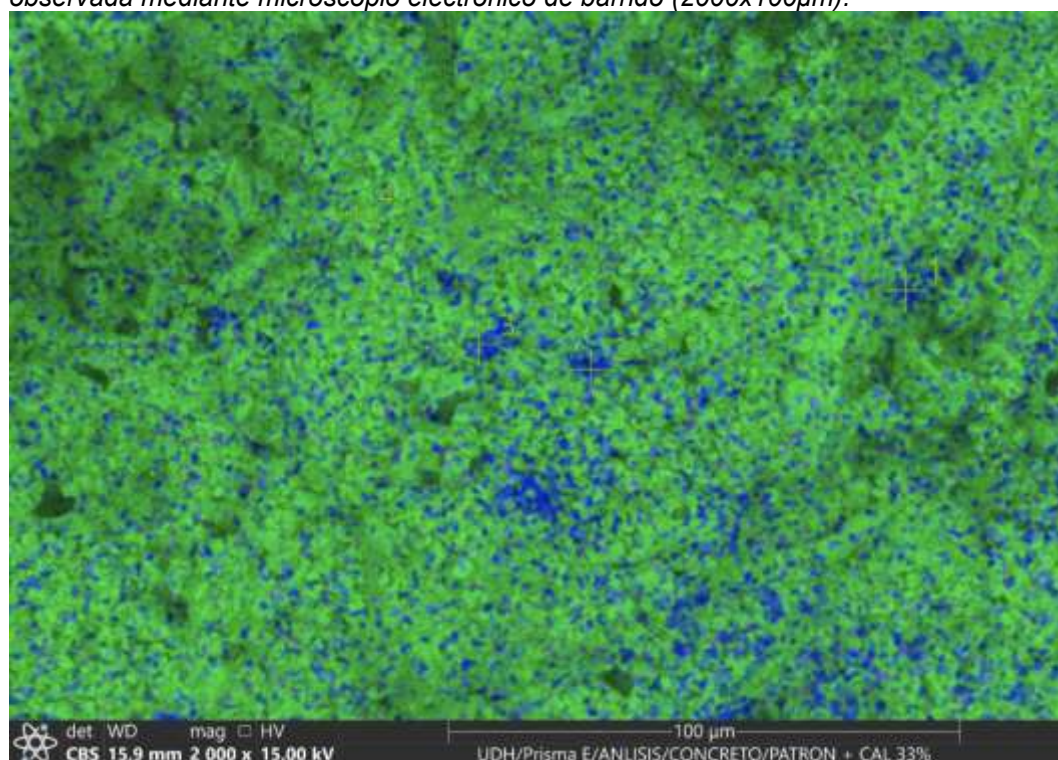


Tabla 21

Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 15.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
O	78,5	2,8	61	2,2
Al	0,8	0,2	1,1	0,2
Si	3,8	0,2	5,2	0,3
Ca	16,8	0,5	32,7	1

Figura 18

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 15.

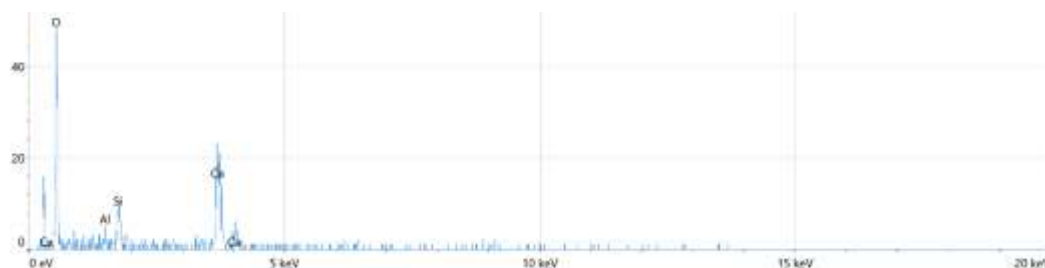


Tabla 22

Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 15.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
O	73,9	2,9	54,5	2,1
Al	1,2	0,2	1,5	0,2
Si	3,8	0,2	4,9	0,3
Ca	21,1	0,5	39,1	1

Figura 19

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 15.

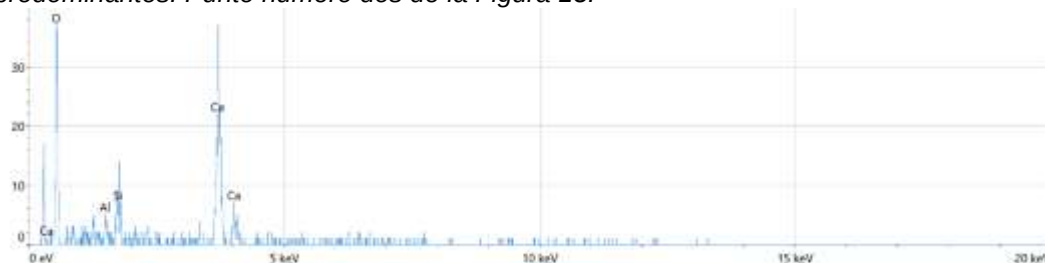


Tabla 23

Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 15.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
O	76,1	2,8	57,5	2,1
Al	1	0,1	1,3	0,2
Si	3,6	0,2	4,7	0,3
Ca	19,3	0,5	36,5	1

Figura 20

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 15.

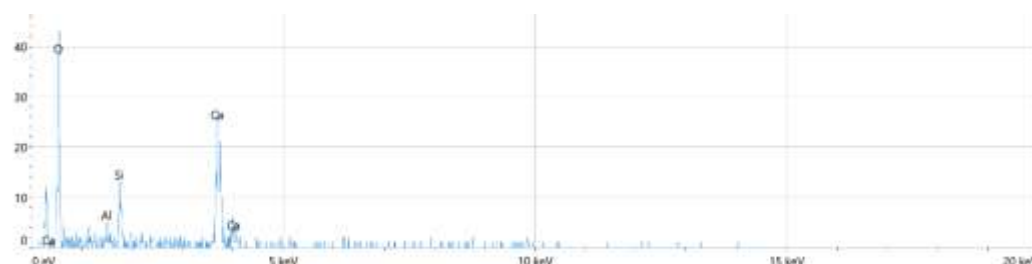


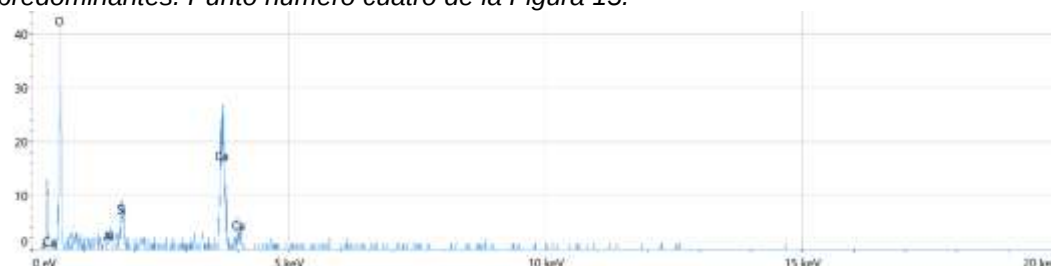
Tabla 24

Composición química elemental del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 15.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
O	77,2	2,9	58,7	2,2
Al	0,7	0,1	0,9	0,2
Si	3,3	0,2	4,3	0,3
Ca	18,9	0,7	36	1,3

Figura 21

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 33% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 15.



Interpretación

Se presenta la microestructura del concreto con 33% de agregado reciclado y adición del 11% de cal viva (Figura 17), obtenida mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). La imagen evidencia una matriz más densa y homogénea en comparación con el concreto patrón con cal, observándose una reducción de poros y fisuras microscópicas. Esta compacidad se atribuye al efecto de absorción del agregado reciclado, que retuvo parte del exceso de agua y favoreció una distribución más uniforme de los productos de hidratación y carbonatación.

El análisis espectral de dispersión de energía (EDS) (Tablas del 21 al 24 y Figuras del 18 al 21) revela una composición dominada por oxígeno (O), calcio (Ca) y silicio (Si), los cuales son los principales

constituyentes de los productos de hidratación del cemento. Los valores del calcio oscilan entre 16,8% y 21,1% atómico, mientras que el oxígeno (O) varía entre 73% y 78% atómico, indicando una alta proporción de compuestos oxigenados de calcio, típicos del silicato de calcio hidratado (C-S-H) y del hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

En comparación con el concreto patrón con cal viva, se aprecia una disminución del carbono en la matriz y aumento relativo de silicio, lo cual sugiere una mayor formación de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y una menor carbonatación superficial. Esto concuerda con el comportamiento mecánico observado, donde esta mezcla presentó un incremento de resistencia respecto al concreto con solo cal viva. Dicho comportamiento se explica porque el agregado reciclado actúa como un reservorio de humedad, liberando agua gradualmente y manteniendo la hidratación del cemento durante más tiempo.

Los picos predominantes en los espectros EDS confirman la presencia de C, O, Si y Ca junto con pequeñas cantidades de Al y Fe, lo que indica que la mezcla conserva los productos típicos de la hidratación del cemento, aunque modificados por la incorporación de la cal viva.

En conjunto, estos resultados muestran que la adición de cal viva, combinada con el 33% de agregado reciclado, promueve un equilibrio entre los procesos de hidratación y carbonatación, logrando una estructura más compacta y con potencial de autorreparación moderada. La presencia de productos de carbonatación junto con el silicato de calcio hidratado (C-S-H) sugiere una microestructura capaz de resistir la propagación de microfisuras y mejorar el sellado interno del concreto.

Figura 22

Microestructura del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).

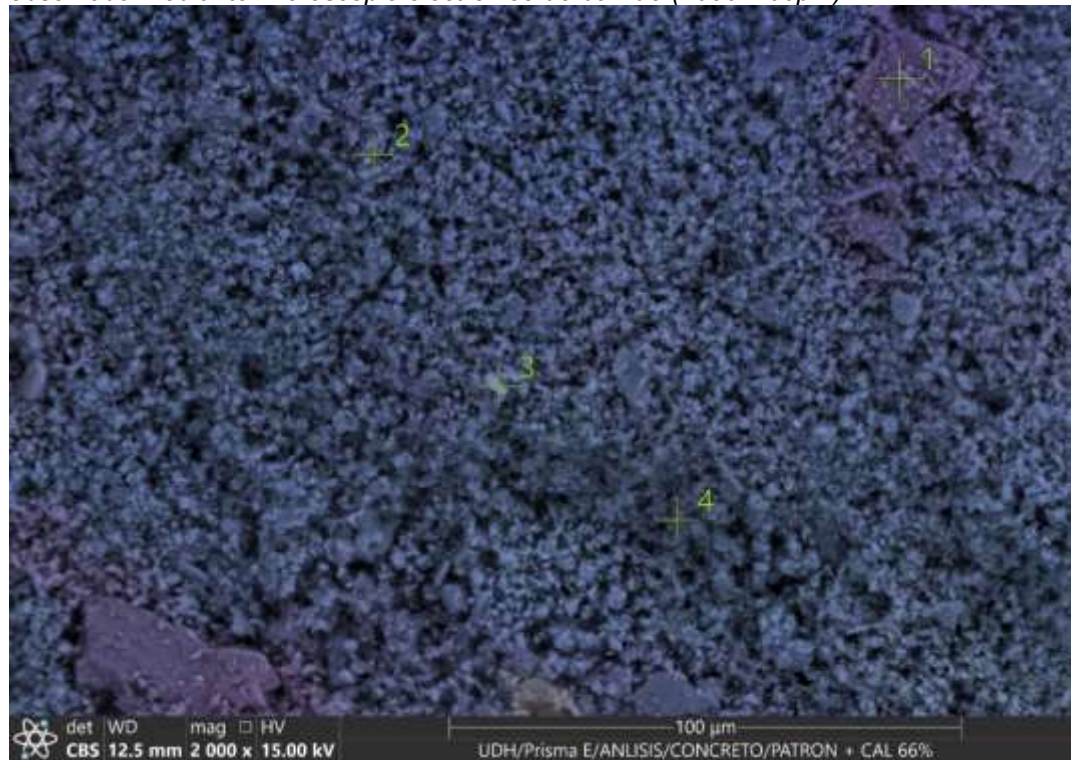


Tabla 25

Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 20.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	8,9	0,2	5	0,1
O	57,1	0,4	43	0,3
Na	0,7	0	0,8	0
Mg	0,4	0	0,4	0
Al	3,9	0	4,9	0
Si	16,6	0,1	21,9	0,1
S	0,2	0	0,3	0
K	1,8	0	3,3	0,1
Ca	9,8	0,1	18,5	0,2
Fe	0,7	0,1	1,8	0,2

Figura 23

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 20.



Tabla 26

Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 20.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	6,7	0,1	3,7	0,1
O	65,1	0,5	48	0,4
Mg	0,4	0	0,5	0
Al	1,7	0	2,1	0
Si	5,3	0,1	6,8	0,1
S	0,4	0	0,6	0
K	0,5	0	0,9	0
Ca	19,2	0,1	35,4	0,2
Fe	0,8	0,1	2	0,1

Figura 24

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 20.



Tabla 27

Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 20.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	5,7	0,1	3,2	0,1
O	70,2	0,3	52,8	0,2
Mg	1	0	1,2	0
Al	3	0	3,8	0
Si	4,7	0	6,2	0

P	0,2	0	0,3	0
S	0,1	0	0,2	0
K	0,3	0	0,6	0
Ca	9,2	0,1	17,3	0,1
Fe	5,5	0,1	14,5	0,2

Figura 25

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 20.



Tabla 28

Composición química elemental del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 20.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	7,5	0,1	4,1	0,1
O	62,7	0,6	45,5	0,4
Mg	0,3	0	0,4	0
Al	1,5	0	1,8	0
Si	4,3	0	5,4	0,1
S	0,3	0	0,4	0
K	0,7	0	1,2	0
Ca	22,7	0,1	41,3	0,2

Figura 26

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 20.



Interpretación

Se muestra la microestructura del concreto con 66% de agregado reciclado y la adición de 11% de cal viva (Figura 22), observada mediante microscopio electrónico de barrido (SEM). Se aprecia una superficie heterogénea con partículas de tamaño regular y presencia de poros finos distribuido de manera uniforme. En

comparación con concreto con 33% de agregado reciclado, se nota un leve incremento en la densidad superficial y una mayor formación de productos de hidratación y carbonatación, lo que sugiere una evolución favorable de la microestructura.

Los resultados del análisis EDS (Tablas del 25 al 28 y Figuras del 23 al 26) evidencia que los elementos predominantes son el oxígeno (O), el calcio (Ca) y el silicio (Si) con contenidos promedios de 66%-70% atómico para el oxígeno, 16%-22% para calcio y 5%-16% para silicio. Esta composición confirma la presencia de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y carbonato de calcio (CaCO_3), principales responsables de la cohesión y estabilidad del concreto.

En esta mezcla, el contenido de calcio aumenta respecto a la del 33%, lo que sugiere una mayor formación de compuestos derivados de la cal viva y una intensificación de los procesos de carbonatación, sin comprometer completamente la hidratación del cemento. Este equilibrio químico contribuye a mejora de la compacidad del material y favorece la autorreparación de microfisuras mediante la precipitación de carbonatos en zonas porosas.

Por otro lado, la proporción moderada de silicio y aluminio indica la persistencia de productos típicos del cemento, mientras que el hierro (Fe) y el magnesio (Mg) aparecen en pequeñas cantidades, reflejando restos de Clinker y de impurezas minerales del agregado reciclado.

En general, la combinación del 66% de agregado reciclado con 11% de cal viva genera una matriz más estable y compacta que las anteriores, manteniendo una adecuada relación entre hidratación y carbonatación. Esta composición justifica el incremento de la resistencia a la compresión observado experimentalmente (88,16 kg/cm²), ya que la formación simultánea de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y carbonatos de calcio fortalece la estructura y sella los poros internos, reduciendo la permeabilidad del concreto.

Figura 27

Microestructura del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva observada mediante microscopio electrónico de barrido (2000x100µm).

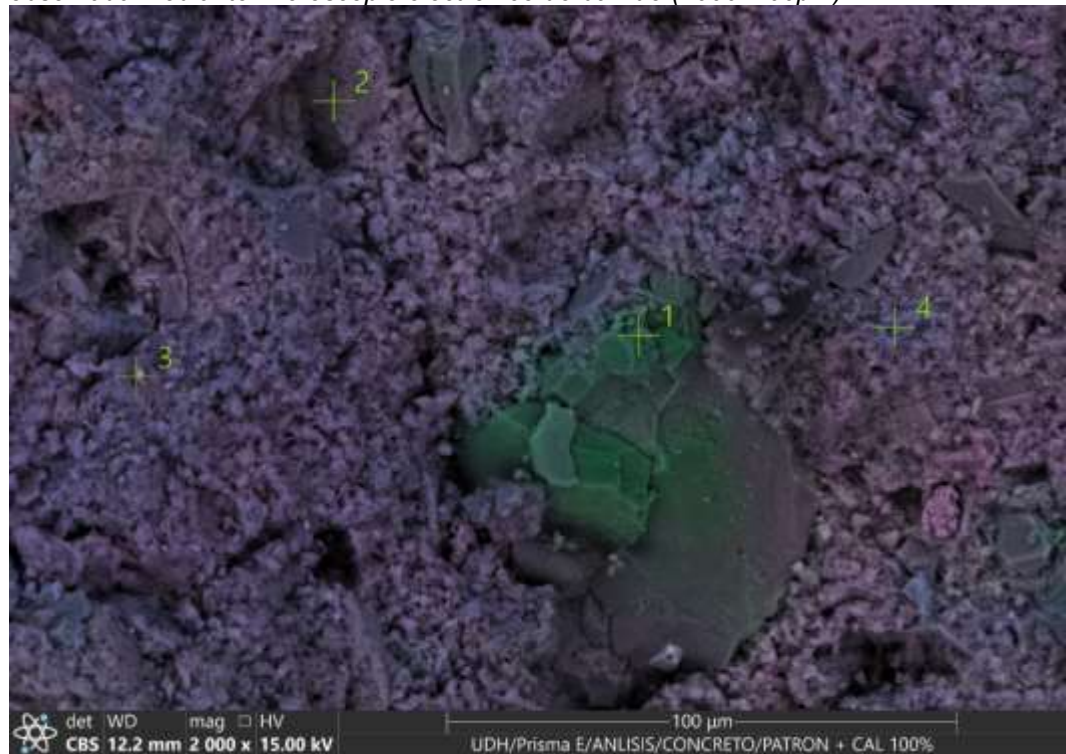


Tabla 29

Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número uno de la Figura 25.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	8,8	0,2	5,3	0,1
O	63,5	0,3	51,2	0,3
Mg	0,3	0	0,3	0
Al	0,7	0	1	0
Si	19,9	0,1	28,1	0,1
Ca	6,5	0	13,2	0,1
Fe	0,3	0	0,9	0,1

Figura 28

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número uno de la Figura 25.



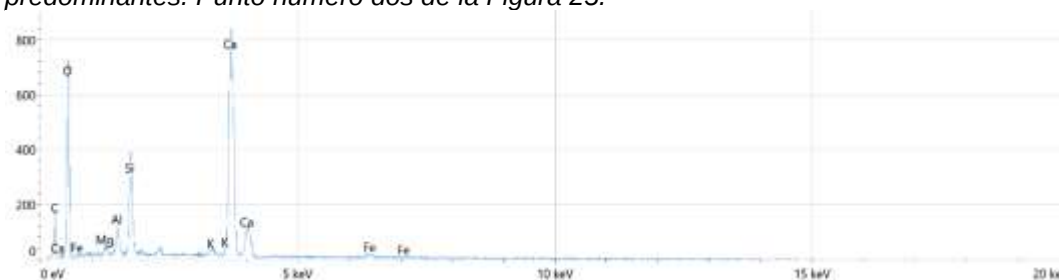
Tabla 30

Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número dos de la Figura 25.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	7,3	0,1	3,9	0,1
O	62,7	0,6	45,1	0,4
Mg	0,5	0	0,5	0
Al	1,3	0	1,6	0
Si	5,1	0	6,4	0,1
K	0,4	0	0,7	0
Ca	21,9	0,1	39,5	0,3
Fe	0,9	0,1	2,3	0,2

Figura 29

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número dos de la Figura 25.

**Tabla 31**

Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número tres de la Figura 25.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	13,9	0,2	6,5	0,1
O	53,1	0,4	33,3	0,3
Mg	0,7	0	0,7	0
Al	1,5	0	1,6	0
Si	5,1	0,1	5,6	0,1
S	0,2	0	0,3	0
Ca	12,3	0,1	19,3	0,2
Fe	0,6	0,1	1,4	0,2
Cu	12,6	0,1	31,4	0,3
Re	0	0	0	0

Figura 30

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número tres de la Figura 25.



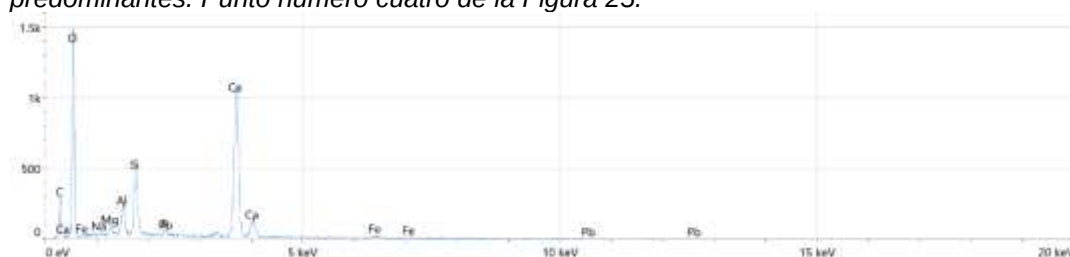
Tabla 32

Composición química elemental del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva obtenida mediante análisis espectro de dispersión de energía (EDS). Punto número cuatro de la Figura 25.

Elemento	% atómico	% de error atómico	% en peso	% de error en peso
C	8,2	0,1	4,7	0,1
O	66,4	0,5	50,6	0,3
Na	0,1	0	0,2	0
Mg	0,7	0	0,8	0
Al	1,9	0	2,5	0
Si	4,8	0	6,4	0
S	0,4	0	0,5	0
Ca	16,6	0,1	31,6	0,1
Fe	0,8	0,1	2	0,2
Pb	0,1	0	0,7	0,2

Figura 31

Espectro de dispersión de energía (EDS) del concreto con 100% de agregado reciclado con 11% de cal viva que muestra los elementos químicos predominantes. Punto número cuatro de la Figura 25.



Interpretación

Microestructura del concreto elaborado con 100% (Figura 27) de agregado reciclado y adición del 11% de cal viva, observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). La imagen revela una superficie heterogénea con zonas compactas intercaladas con partícula laminares, propias de productos de carbonatación y recristalización de hidróxidos de calcio. En comparación con las mezclas anteriores, se aprecia una matriz menos densa con mayor

presencia de microfisuras, lo cual puede atribuirse al elevado contenido de agregado reciclado y a su elevada absorción de agua.

El análisis EDS (Tablas 29 al 32 y Figuras del 28 al 31), confirma una composición dominada por oxígeno (53%-66%), calcio (12%-22%) y silicio (5%-9%), acompañados de pequeñas cantidades de hierro, aluminio y carbono. Los porcentajes de calcio y carbono evidencian una mayor formación de carbonatos (CaCO_3), especialmente en las zonas superficiales, donde la cal viva reacciona con el dióxido de carbono ambiental y el agua retenida por el agregado reciclado.

La presencia simultánea de altos valores de carbono y calcio en los puntos uno y tres indica la ocurrencia de una intensa carbonatación, lo que da lugar a la formación de compuestos cristalinos (calcita y aragonita). Si bien estos productos favorecen el sellado de fisuras y poros, su exceso puede reducir la proporción del silicato de calcio hidratado (C-S-H), principales responsables de la resistencia mecánica.

Los picos de silicio, aunque menores que en la mezcla al 66%, confirman la persistencia de silicato de calcio hidratado (C-S-H) en ciertas zonas, lo que sugiere que aún existe hidratación parcial del cemento. A diferencia de lo esperado, esta combinación microestructural no es una menor resistencia; el concreto con 100% de agregado reciclado alcanzó una resistencia promedio de 113,54 kg/cm², superior a la de las mezclas con 33 % y 66% de agregado reciclado.

Este comportamiento indica que la pasta adherida del agregado reciclado, sumada a los productos de carbonatación derivados de la cal viva, actuó como un sistema de relleno que compensó la heterogeneidad estructural, permitiendo una recuperación significativa de la resistencia a la compresión.

En términos microestructurales, el concreto con 100% de agregado reciclado y 11% de cal viva presenta una matriz más porosa heterogénea, con predominio de carbonatos de calcio sobre el silicato de calcio hidratado (C-S-H), lo que indica que la reacción de la cal se desplazó hacia la carbonatación más que hacia la hidratación cementicia. No obstante, la alta presencia de carbonatos contribuyó al sellado interno y a la mejora parcial de la cohesión, lo que explica que este concreto haya mostrado una resistencia mayor que la de los grupos intermedios. A pesar de ello, la abundante carbonatación también indica un potencial relevante de autorreparación, ya que estos productos pueden rellenar las microfisuras generadas en el material.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

La contrastación de hipótesis se realizó mediante procedimientos estadísticos y microestructurales.

En primer lugar, el análisis estadístico se aplicó exclusivamente a los valores de resistencia a la compresión. Dado que la resistencia disminuyó de manera significativa en todas las mezclas con cal viva, esta prueba no evalúa directamente el proceso de autorreparación, sino únicamente las diferencias entre grupos.

La evaluación de la autorreparación microestructural se basó principalmente en la evidencia cualitativa generada mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM), donde se observó la formación de carbonatos de calcio en todos los grupos que contenían cal viva.

Por lo tanto, las pruebas estadísticas y las microestructurales deben interpretarse de manera independiente.

Prueba de normalidad

Tabla 33

Resultados de las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, aplicadas a los valores de resistencia a la compresión de los diferentes grupos experimentales.

Pruebas de normalidad							
	GRUPOS EXPERI- MENTALES	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	0	,174	11	,200*	,924	11	,358
	1	,150	12	,200*	,939	12	,486
	2	,077	13	,200*	,985	13	,995
	3	,221	14	,063	,915	14	,188
	4	,116	15	,200*	,967	15	,812

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se presentan los resultados de las pruebas de normalidad (Tabla 33), el grupo cero es el grupo de muestras de la mezcla patrón más 11% de cal viva, el grupo uno es de la mezcla de 33% de agregado reciclado más 11% de cal viva, el grupo dos es de la mezcla de 66% de agregado grueso reciclado más 11% de cal viva, el grupo tres es de la mezcla de 100% de agregado reciclado más 11% de cal viva y el grupo cuatro es el grupo de control, muestra sin agregado reciclado ni cal viva.

Kolmogorov-Smirnov es utilizada principalmente en muestras mayores a 30 muestras, mientras que Shapiro-Wilk es la más adecuada para tamaños menores a 30 muestras. Dado que en la presente investigación se elaboraron quince probetas por cada grupo, la prueba considerada fue Shapiro-Wilk.

Según los resultados de Shapiro-Wilk, todos los grupos experimentales presentan valores de significancia ($p > 0,05$), lo cual indica que:

Los datos de resistencia a la compresión presentan una distribución normal.

Al confirmarse la normalidad de los datos, corresponde aplicar una prueba paramétrica para comparar medias entre más de dos grupos independientes. Por lo tanto, la prueba seleccionada para la contratación de la hipótesis general fue la ANOVA de un factor

Tabla 34

Resultados de la prueba ANOVA de un factor.

ANOVA					
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	490255,242	4	122563,810	254,691	,000
Dentro de grupos	28873,543	60	481,226		
Total	519128,785	64			

El valor de significancia ($p < 0,05$) indica que existe diferencias estadísticas entre los grupos. Este resultado evidencia variaciones en el comportamiento mecánico del concreto asociadas al incremento de la relación agua/cemento real y ala mayor porosidad del reciclado.

El ANOVA no evalúa ni valida el proceso de autorreparación.

Tabla 35

Tukey HSD (Honeste Significant Difference) del ANOVA de un factor.

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

HSD Tukey

(I) GRUPOS	(J) GRUPOS	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
EXPERIMENTALES	EXPERIMENTALES				Límite inferior	Límite superior
0	1	-2,08076	9,15696	,999	-27,8343	23,6728
	2	-14,74678	8,98694	,478	-40,0222	10,5286
	3	-34,67195*	8,83861	,002	-59,5302	-9,8137

	4	- 218,08842*	8,70801	,000	- 242,5794	-193,5975
	0	2,08076	9,15696	,999	-23,6728	27,8343
1	2	-12,66603	8,78177	,603	-37,3644	12,0323
	3	-32,59119*	8,62991	,003	-56,8625	-8,3199
	4	- 216,00767*	8,49611	,000	- 239,9026	-192,1127
2	0	14,74678	8,98694	,478	-10,5286	40,0222
	1	12,66603	8,78177	,603	-12,0323	37,3644
	3	-19,92516	8,44930	,141	-43,6885	3,8381
	4	- 203,34164*	8,31259	,000	- 226,7205	-179,9628
3	0	34,67195*	8,83861	,002	9,8137	59,5302
	1	32,59119*	8,62991	,003	8,3199	56,8625
	2	19,92516	8,44930	,141	-3,8381	43,6885
	4	- 183,41648*	8,15199	,000	- 206,3436	-160,4893
4	0	218,08842*	8,70801	,000	193,5975	242,5794
	1	216,00767*	8,49611	,000	192,1127	239,9026
	2	203,34164*	8,31259	,000	179,9628	226,7205
	3	183,41648*	8,15199	,000	160,4893	206,3436

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Dado que el ANOVA evidenció diferencia entre los grupos se aplicó la prueba Tukey HSD (Tabla 35), este permitió comparar las diferencias mecánicas entre los grupos. Las diferencias encontradas confirman la disminución de la resistencia a la compresión en todas las mezclas que contiene cal viva, pero estos resultados no se utilizan para contrastar hipótesis relacionadas con autorreparación.

Hipótesis general

Hi: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó significativamente en la autorreparación del concreto $f'c = 210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024.

Ho: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, no influyó significativamente en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024.

La hipótesis general del estudio plantea que la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la

autorreparación del material elaborado con concreto reciclado como agregado grueso.

Dado que la resistencia a la compresión no constituye un indicador válido de autorreparación, la contrastación de la hipótesis general se basa exclusivamente en la evidencia microestructural obtenida mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM).

El análisis SEM reveló la formación de carbonato de calcio (CaCO_3), relleno parcial de poros y sellado de microfisuras en todos los grupos experimentales que contenían cal viva. Estos hallazgos son coherentes con los mecanismos descritos en la literatura sobre autorreparación química por carbonatación.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis general (H_i).

Hipótesis específicas

La contrastación de las hipótesis específicas no se realizó mediante los valores de resistencia a la compresión, ya que esta propiedad no constituye un indicador válido de autorreparación. Su evaluación se fundamentó en la evidencia microestructural observada mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM).

HE1: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

Se acepta HE1 basada en evidencia microestructural. El análisis SEM mostró formación de CaCO_3 y sellado parcial de microfisuras.

HE2: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

Se acepta HE2 basada en evidencia microestructural. Se observó presencia de CaCO_3 y depósitos minerales dentro de la matriz.

HE3: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

Se acepta HE3 basada únicamente en evidencia microestructural. El SEM evidenció productos de curación y relleno de poros compatibles con procesos de autorreparación.

HE4: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influyó en la autorreparación del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

elaborado con 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

Se acepta HE4 basada únicamente en evidencia microestructural.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este estudio determinó de qué manera influyó la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024. Desde los resultados presentados, se pudo interpretar los efectos combinados de la cal viva, el agua adicional utilizada durante el mezclado y el agregado reciclado en el comportamiento microestructural y en la resistencia a la compresión del material.

Un aspecto crítico identificado durante la experimentación fue la reacción exotérmica generada por la cal viva, la cual redujo rápidamente la trabajabilidad de las mezclas. Para restablecer el asentamiento requerido fue necesario adicionar volúmenes significativos de agua, incrementando así la relación agua/cemento por encima de los valores teóricos establecidos en el diseño experimental. Este fenómeno alteró directamente la variable dependiente y constituyó la principal causa de la disminución drástica de la resistencia a la compresión observada en los grupos con cal viva. Por lo tanto, los resultados mecánicos no representan el efecto aislado de la cal, sino el efecto combinado de cal viva más aumento de la relación agua/cemento. Debido a ello, cualquier interpretación del comportamiento resistente debe considerar este sesgo metodológico.

Como consecuencia de este incremento no controlado en la relación agua/cemento, la comparación entre el concreto patrón y los concretos con cal viva perdió pureza experimental. No es correcto atribuir la caída de resistencia exclusivamente a la cal o al uso de agregado reciclado, ya que el aumento de agua introdujo un factor confusor de mayor impacto que estos. Esta situación afecta la validez interna del estudio e impide establecer conclusiones mecánicas definitivas sobre la influencia directa de la cal viva en la resistencia del concreto. La literatura confirma que incrementos relativamente pequeños en la relación agua/cemento generan descensos significativos de resistencia, por lo que la magnitud de la reducción registrada en este estudio está directamente vinculada con este factor.

Pese a la disminución considerable de resistencia a la compresión, los resultados SEM/EDS permiten interpretar un comportamiento diferente en términos de autorreparación. Tal como se mostró en los análisis microscópicos, todas las mezclas que

contienen cal viva mostraron una formación evidente de carbonato de calcio en distintas partes. La presencia de calcio y carbón en porcentajes elevados dentro de los espectros, así como la observación visual de pequeños fragmentos blancos incrustados en el concreto, sugieren que parte de la cal viva reaccionó progresivamente durante el curado, generando carbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$). Este compuesto es conocido por su capacidad de volver a su estado natural y así rellenando microfisuras y poros, actuando como un mecanismo natural de autosellado. Por otra parte, el concreto patrón no mostró este tipo de estructuras, confirmando que la formación de carbonatos se debe directamente a la adición del 11% de cal viva.

Seymour et al. (2023) realizaron un estudio titulado, “Mezclado en caliente: conocimientos mecanicistas sobre la durabilidad del hormigón romano antiguo”, con el objetivo de investigar la durabilidad del concreto romano antiguo mediante un enfoque multiescala de mapeo elemental y químico. Los resultados mostraron que los clastos de cal relictos en el mortero actúan como fuentes de calcio reactivo para el relleno de poros y grietas a largo plazo, promoviendo la auto reparación del concreto. La técnica de mezcla en caliente utilizada por los romanos fue identificada como clave para retener estos clastos dentro de la matriz del mortero.

Coincidiendo con esta investigación en que estos clastos de cal viva actúan como reservorios de calcio capaces de promover la autorreparación mediante la formación de carbonatos. Aunque las condiciones de fabricación son diferentes, los mecanismos observados en este estudio muestran una tendencia comparable.

De manera particular, las mezclas con 33%, 66% y 100% de agregado reciclado mostraron niveles altos de carbonatos, lo cual puede explicarse por la mayor porosidad del material reciclado que facilita la circulación de agua y la interacción con los fragmentos de cal. Conforme se incrementó el concreto reciclado, se observó que la resistencia a la compresión empezó a recuperarse parcialmente, aunque sin alcanzar los valores del patrón. Esto puede deberse a que la matriz más permeable favoreció la hidratación progresiva de la cal, liberando calcio y activando procesos de autosellado interno que atenuaron parcialmente la pérdida de la resistencia a la compresión generada por el aumento de la relación agua/cemento. Este comportamiento no había sido documentado previamente en la región y aporta un elemento novedoso a la interacción cal viva – agregado reciclado.

Pinzón y Defrancisco (2022) realizaron un estudio, titulado “La importancia de usar concreto de demolición para la fabricación de nuevos concretos”. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo y un

alcance descriptivo, haciendo revisión de investigaciones y análisis de resultados de ensayos de laboratorio previos. Con el objetivo de examinar y analizar el aprovechamiento de materiales de desecho o reciclados provenientes del sector constructivo para la creación y desarrollo de pavimentos rígidos. Se encontró que para fabricar nuevos concretos es viable ya que este posee características similares al agregado natural, aunque posee mayor absorción de agua por su porosidad, pero es beneficioso en cuanto a preservación de recursos naturales y reducción de costos de construcción. La resistencia a la compresión del concreto con agregados reciclados es comparable al concreto con agregados naturales cuando la concentración de agregados reciclados no supera el 40%.

Vargas (2023) llevó a cabo un estudio, titulado “USO POTENCIAL DEL CONCRETO RECICLADO EN EL DESARROLLO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN”. Utilizó un enfoque cualitativo exploratorio, el estudio se basó en un análisis sistemático de literatura, revisando distintas fuentes científicas y diferentes estudios de casos. Con el objetivo de analizar el uso del concreto reciclado en el desarrollo de materiales para la construcción, enfocándose en su viabilidad y sostenibilidad. Los resultados mostraron que el concreto reciclado ofrece beneficios significativos en términos de sostenibilidad y reducción de costos. Sin embargo, estos agregados reciclados poseen una mayor absorción del agua, sus propiedades físicas y mecánicas son aptas para la construcción.

De igual manera los resultados de estos investigadores coinciden con esta investigación respecto a la mayor absorción del agregado reciclado su influencia en la trabajabilidad, aunque difieren en el efecto mecánico final debido a la presencia de cal viva, especialmente debido al incremento de agua requerido y la alteración de agua/cemento.

Pratap et al. (2020) realizaron un estudio titulado “Utilización de residuos de construcción y demolición como agregado grueso en la construcción de pavimentos rígidos”. Utilizando un enfoque cuantitativo y experimental. Con el objetivo de investigar la posibilidad de utilizar agregados de residuos de construcción y demolición en la construcción de pavimentos rígidos. Los resultados mostraron que el concreto con un 20% de sustitución de agregados naturales por agregados reciclados de construcción y de demolición tenía una resistencia a la compresión similar a la del concreto convencional. A medida que aumentaba la proporción de agregados reciclados, la resistencia disminuía debido a las pequeñas fracturas y la heterogeneidad del material reciclado.

Mori (2019), en su investigación titulada “La resistencia a la compresión e impermeabilidad de concretos con agregados

reciclados de concretos tradicionales”. El estudio fue de tipo cuantitativo. El objetivo fue estudiar la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto reciclado y determinar su viabilidad de uso. Los resultados indicaron que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es un 34.16% menor que la del concreto con agregado natural. Además, el concreto con agregado reciclado mostró una absorción de agua un 80% mayor y un peso un 8.61% menor en comparación con el concreto convencional.

Contrariamente a estos investigadores, que mencionan que la resistencia disminuye conforme aumenta la proporción de agregado reciclado, en este estudio, sin embargo, ocurrió lo contrario, lo que evidencia que la cal viva alteró la tendencia habitual del concreto reciclado y generó una interacción química distinta.

Aguilar y Díaz (2021), en su investigación titulada “Adición de cal para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² - moyobamba - san martin”. Con un enfoque cuantitativo, fue de tipo aplicada y nivel explicativo, y utilizó un diseño experimental. Buscaron determinar si la adición de cal mejora la resistencia a la compresión de un concreto de $f'_c=210$ kg/cm². La proporción del 4% tuvo una resistencia de 235,15 kg/cm², superando el diseño base de 212,40 kg/cm². También las proporciones de 8% y 12% presentaron mejores inferiores que el 4%.

Contrariamente al presente investigador, los resultados no siguen el comportamiento positivo encontrado al añadir cal en concretos convencionales. Principalmente porque las condiciones de mezcla, el tipo de agregado y la relación agua/cemento difirieron sustancialmente.

El conjunto de estos hallazgos sugiere que la adición de cal viva sí promueve un proceso de autorreparación microestructural en concretos elaborados con agregado reciclado, aun cuando la resistencia a la compresión disminuye considerablemente, debido al aumento de la relación agua/cemento. El aporte más relevante del estudio radica en demostrar que la combinación de cal viva y agregado reciclado genera un entorno químico favorable para la formación interna de carbonato de calcio, pero también evidencia que este beneficio depende de un control estricto de la cantidad de agua, del tamaño de partículas de la cal y del manejo adecuado del curado.

Finalmente, se reconoce como principal limitación metodológica el incremento no controlado de la relación agua/cemento, provocado por la necesidad de compensar la pérdida de trabajabilidad asociada a la reacción exotérmica de la cal viva. Esta variación impidió aislar el efecto puro de la cal viva sobre la resistencia a la compresión de la resistencia, por lo que los valores obtenidos deben interpretarse como

el efecto combinado del aditivo y del exceso de agua. Futuras investigaciones deberían mantener constante la relación a/c mediante el uso de aditivos superplastificante o algún otro método alternativo que controle la propiedad exotérmica de la cal viva, usar cal con granulometría controlada y emplear métodos de monitoreo directo de microfisuras para evaluar con mayor precisión los procesos de autosellado inducidos por la cal.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que:

Para el objetivo general

La investigación permitió determinar que la adición del 11% de cal viva influye procesos de autorreparación a nivel microestructural en concretos elaborados con diferentes proporciones de agregado reciclado, evidenciados por la formación consistente de carbonato de calcio observada mediante SEM/EDS. Sin embargo, debido al incremento no controlado de la relación agua/cemento producido para compensar la reacción exotérmica de la cal viva, no es posible atribuir la disminución de la resistencia a la compresión al efecto directo de la cal viva. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como el efecto combinado de cal viva más aumento de la relación agua/cemento.

Para el objetivo específico uno

En la mezcla sin agregado reciclado se observó formación de carbonatos, pero la eficacia del sellado fue limitada debido a la baja porosidad del material. No obstante, la reducción significativa de la resistencia a la compresión no puede relacionarse con la adición de la cal viva, sino con el incremento de la relación agua/cemento requerido durante el mezclado. Por lo tanto, este grupo evidencia autorreparación microestructural, pero no permite evaluar el efecto mecánico de la cal de manera aislada.

Para el objetivo específico dos

En el concreto con 33% de agregado reciclado presentó una mayor presencia de carbonatos debido a su porosidad más elevada, lo que favoreció procesos de autosellado interno. La recuperación parcial de resistencia observada no debe interpretarse como un efecto directo de la cal, sino como una interacción entre el incremento de la relación agua/cemento y la capacidad del material poroso para alojar productos de carbonatación. Microestructuralmente, este porcentaje mostró condiciones propicias para la autorreparación inducida.

Para el objetivo específico tres

La mezcla con 66% de agregado reciclado evidenció un proceso de autorreparación más claro, con formaciones de carbonato distribuidas en mayor extensión. Este comportamiento confirma que la mayor porosidad del concreto reciclado facilita la precipitación mineral secundaria. Sin embargo, al igual que en los otros grupos, la resistencia a la compresión obtenida está condicionada por el aumento de la relación agua/cemento, por lo que no es posible atribuir mejoras o pérdidas mecánicas exclusivamente a la cal viva.

Para el objetivo específico cuatro

El concreto con 100% de agregado reciclado mostró la expresión más marcada de autorreparación microestructural, con amplio desarrollo de carbonatos. Este grupo confirma la capacidad del concreto altamente poroso para alojar la precipitación derivada de la cal viva. No obstante, la interpretación mecánica continúa limitada por la variación de la relación agua /cemento, lo que impide evaluar el efecto aislado de la cal viva sobre la resistencia a la compresión.

Para la investigación en general

- Bajo las condiciones de mezcla empleadas, especialmente debido al incremento no controlado de la relación agua/cemento, no fue posible alcanzar la resistencia a la compresión de 210 kg/cm², por lo que los resultados obtenidos no representan un concreto estructural sino un concreto no estructural.
- El estudio confirma que la cal viva induce mecanismos de autorreparación microestructural cuando existe suficiente porosidad para alojar los productos de carbonatación.
- Las características de mayor absorción y porosidad del agregado reciclado favorecen la formación de carbonatos y potencian el proceso de autosellado.
- La resistencia a la compresión obtenida en las mezclas con cal viva no refleja el efecto puro del aditivo debido al incremento no controlado de la relación agua/cemento, constituyendo la principal limitación metodológica del estudio.
- La cal viva puede considerarse un agente potencial de autorreparación microestructural, siempre que se mantenga constante la relación agua/cemento o se utilicen aditivos que permitan controlar la trabajabilidad.
- Los resultados aportan criterios para discriminar entre porcentajes de agregado reciclado en función del equilibrio entre porosidad disponible y los mecanismos de autorreparación esperados.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que futuras investigaciones mantengan constante la relación agua/cemento mediante el uso de aditivos superplastificantes o sistemas de mezcla controlada. Esta medida permitirá aislar el efecto real de la cal viva y evitar el sesgo generado por el incremento de agua observado en este estudio.
- Se sugiere utilizar cal viva con granulometría controlada o previamente tratada (apagada o pulverizada) para reducir la reacción exotérmica inicial y evitar variaciones bruscas en la trabajabilidad de la mezcla.
- Se recomienda estudiar la cal viva como agente de autorreparación únicamente a nivel microestructural y bajo condiciones de porosidad adecuadas, ya que en este estudio no fue posible evaluar su efecto mecánico aislado debido a la variación de la relación agua/cemento.
- Se aconseja complementar futuras investigaciones con ensayos de permeabilidad, absorción capilar, carbonatación acelerada y resistencia a edades avanzadas, con el fin de evaluar el impacto real de la cal viva en la durabilidad de concreto con agregado reciclado.
- Se recomienda investigar proporciones menores de cal viva o combinaciones con otros aditivos para identificar un rango óptimo que equilibre resistencia mecánica y capacidad de autorreparación microestructural.
- Se sugiere que la Universidad de Huánuco adopte procedimientos accesibles y tarifas diferenciadas para tesis en el uso de equipos SEM/EDS, facilitando la investigación de materiales avanzados y mejorando la calidad de los trabajos de investigación.
- Se recomienda que instituciones públicas y privadas fomenten la clasificación, acopio y procesamiento del concreto demolido, impulsando su reutilización como agregado reciclado y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental del sector construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABANTO CASTILLO, F. (2013). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO*. LIMA: SAN MARCOS.

Aguilar Macedo, J. L., & Díaz Asunción, V. L. (2021). *Adición de cal para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² - Moyobamba - San Martín*. Moyobamba, Perú: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69549>

Alanya Chamorro, J. L. (2020). *ELABORACIÓN DE CONCRETO $F'C = 175$ KG/CM² UTILIZADO CONCRETO RECICLADO DE VIAS PEATONALES COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2019*. Huánuco, Perú: UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO.

Benavides Rubio, D., & Benavidez Núñez, C. (2021). Caracterización de ladrillo de concreto con cal hidratada y plástico PET reciclado. *Revista Ciencia Nor@ndina*. Obtenido de <https://unach.edu.pe/rcnorandina/index.php/ciencianorandina/article/view/14/17>

Borja Suárez, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.

Cachay Díaz, L. C. (2022). *VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE DE $F'C=210$ KG/CM² CON ADITIVO PLASTIFICAMENTE SIKAMENTR 290 N AL REEMPLAZAR EN DIFERENTES PORCENTAJES EL AGREGADO GRUESO POR AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO*. Cajamarca, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4761>

Carrasco Días, S. (2005). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.

Chávez Beraún, E. A. (2019). *ADOQUINES DE CONCRETO ELABORADOS CON AGREGADO RECICLADO PARA PAVIMENTOS EN LA ESPERANZA - AMARILIS - HUÁNUCO 2018*. Huánuco, Huánuco, Perú: UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO.

Cortés Cortés, M. E., & Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología*. Ciudad del Carmen: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARMEN.

CURIOSOANDO. (12 de febrero de 2024). *CURIOSOANDO*. Obtenido de <https://curiosoando.com/que-es-la-reactividad-quimica>

Guerra Aguilar, W. V., & Niño Guevara, A. R. (2022). *Diseño de concreto reciclado para construcción de muros prefabricados de viviendas*

modulares con el Método ACI en Villa María del Triunfo. Lima, Perú: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/659328>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. Ciudad de México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta ed.). México D.F., México: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Malca Muñoz, E. M. (2018). *Efecto de la incorporación de cal en la resistencia a la compresión del concreto, Cajamarca - 2018*. Cajamarca: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28507>

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. (23 de febrero de 2022). ¿Qué es La CAL? [video]. (A. Rodríguez, Ed.) YouTube, MADRID, ESPAÑA. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ZyTTvSw7bAQ>

McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2017). *Diseño de Concreto reforzado* (Décima ed.). (ALFAOMEGA, Ed.) New Jersey: ALFAOMEGA.

Mori Apagüño, H. (2019). *La resistencia a la compresión e impermeabilidad de concretos con agregados reciclados de concretos tradicionales*. Tarapoto, Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN - TARAPOTO. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11458/3392>

MOTORGIGA. (12 de febrero de 2024). Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/autocombustion-definicion-significado/gmx-niv15-con356.htm>

Peña Celis, A. C. (2022). *Aprovechamiento del concreto reciclado proveniente de los residuos de demolición de pavimento rígido en la producción de concreto nuevo en el Distrito de Molinos - Huánuco - 2021*. Molinos, Huánuco, Perú: UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO.

Pinzón Galvis, S., & Defrancisco Larrañaga, C. A. (julio - diciembre de 2022). LA IMPORTANCIA DE USAR CONCRETO DE DEMOLICIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE NUEVOS CONCRETOS. *Publicaciones e Investigación*, 16(2). Obtenido de <https://doi.org/10.22490/25394088.5866>

Pratap Singh, B., Kumar Sadhya, H., & Kumar, A. (2020). Utilization of Construction & Demolition Waste as Coarse Aggregate in Rigid Pavement Construction. Chittorgarh, India. Obtenido de <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=31742>

Químicas. (12 de febrero de 2024). *Químicas*. Obtenido de <https://www.quimicas.net/2019/09/corrosividad.html>

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Lima, Perú: SENCICO.

RIVVA LÓPEZ, E. (2015). *DISEÑO DE MEZCLAS* (tercera ed.). Lima, Perú.

Seymour, L., Maragh, J., Sabatini, P., Di-Tommaso, M., Weaver, J., & Masic, A. (6 de enero de 2023). *Mezclado en caliente: conocimientos mecanicistas sobre la durabilidad del hormigón romano antiguo*. Obtenido de SCIENCE ADVANCES: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.add1602>

Vargas Ospina, S. (2023). *Uso potencial del concreto reciclado en el desarrollo de materiales para la construcción [Análisis sistemático de literatura, Universidad Cooperativa de Colombia]*. Neiva - Huila - Colombia: Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/53741>

Vásquez Lavado, M. A. (2020). *“ADOQUINES DE CONCRETO TIPO II EN VÍAS URBANAS, UTILIZANDO ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN Y ADITIVOS ACELERANTES”*. HUÁNUCO, PERÚ. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13080/6054>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Rojas Chavez, R. (2026). *Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso, Huánuco 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 1651-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 26 de julio de 2024

Visto, el Oficio N° 1129-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO FC=210KG/CM2 ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1160-2024-D-FI-UDH, de fecha 21 de mayo de 2024, perteneciente al Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ** se le designó como ASESOR(A) al Mg. William Paolo Taboada Trujillo, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1129-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO FC=210KG/CM2 ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Alberto Carlos Jara Trujillo (Presidente), Mg. Luis Fernando Narro Jara (Secretario) y Mg. Jose Wicley Tuanama Lavi (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO FC=210KG/CM2 ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Jhovani Monzano Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
DECANO
Mg. Bertha Campos Ríos
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EIML/nto.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 1160-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 21 de mayo de 2024

Visto, el Oficio N° 800-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 489636-0000005403, del Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ**, quien solicita cambio de Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45º inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 489636-0000005403, presentado por el (la) Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ**, quien solicita cambio de Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), y;

Que, con Resolución N° 0277-2024-D-FI-UDH, de fecha 20 de febrero de 2024, en la cual se designa como Asesor de Tesis del Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ** a la Mg. Ingrid Delia Dignarda Arteaga Espinoza, quien desiste a dicho asesoramiento, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 31 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DEJAR SIN EFECTO, la Resolución N° 0277-2024-D-FI-UDH, de fecha 20 de febrero de 2024.

Artículo Segundo.- DESIGNAR, como nuevo Asesor de Tesis del Bach. **Ronaldo ROJAS CHAVEZ** al Mg. William Paolo Taboada Trujillo, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Tercero.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:
Fac. de Ingeniería – PAIC- Asesor- Mat. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nto

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso, Huánuco 2024”

VARIABLES	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TIPO DE INVESTIGACIÓN
V.I.: Adición de cal viva V.D.: Autorreparación	PG: ¿De qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024? PE1: ¿De qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con un 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024? PE2: ¿De qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con un 33% de concreto	OG: Determinar de qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024. OE1: Determinar de qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con un 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024. OE2: Determinar de qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con un 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.	Hi: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye significativamente en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024. Ho: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, no influye significativamente en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el 2024. HE1: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ elaborado con 0% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024. HE2: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto	Enfoque: Enfoque cuantitativo. Alcance o nivel: Alcance explicativo. Diseño: Cuasi experimental. Técnica de investigación: Observación Directa. Instrumentos: Fichas de campo, ficha de laboratorio de resistencia a la compresión y ficha de porcentaje de absorción certificada por el laboratorio. Población: 75 probetas cilíndricas de concreto de dimensiones de 6 plg de diámetro y 12 plg, estas probetas, están en divididas en diferentes grupos, con diferentes porcentajes concreto reciclado. Muestra:

reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

PE3: ¿De qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con un 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

PE4: ¿De qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso de la masa del concreto, en la capacidad de autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con un 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco, Perú, en el año 2024?

OE3: Determinar de qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con un 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

OE4: Determinar de qué manera influye la adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con un 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

$f'c=210$ kg/cm² elaborado con 33% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

HE3: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 66% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

HE3: La adición del 11% de cal viva, respecto al peso del concreto, influye en la autorreparación del concreto $f'c=210$ kg/cm² elaborado con 100% de concreto reciclado como agregado grueso en la ciudad de Huánuco en el año 2024.

No probabilística, bajo el diseño cuasiexperimental, constituida de cinco grupos, cuatro de ellos con proporciones de concreto reciclado del 0%, 33%, 66%, y 100% y un quinto sin cal viva ni concreto reciclado. Cada proporción contará con 15 probetas de medidas de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto.

ANEXO 4

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS



UNIVERSIDAD HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO ESPECIALIZADO DE GEOTECNICA, PAVIMENTOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



TESIS: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO $f'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$ ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"

TESISTA: RONALDO ROJAS CHAVEZ

DATOS INFORMATIVOS DEL EXPERTO:

- 1) APELLIDOS Y NOMBRES: VIGO ROJAS, ROBIN ALFREDO.
- 2) TÍTULO Y/O GRADO: INGENIERO CIVIL.
- 3) CENTRO DE LABORES: UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN.
- 4) ESPECIALIDAD O CARGO: ESPECIALISTA DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA.
- 5) INSTRUMENTOS:
 - A. Ensayo de peso específico y absorción de los agregados finos y gruesos (NTP 400.021 - NTP 400.022 - ASTM C127-88)
 - B. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados finos (NTP 400.012 - ASTM C136)
 - C. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados gruesos (NTP 400.012 - ASTM C136)
 - D. Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados finos y gruesos (NTP 400.017 - MTC E203)
 - E. Ensayo de contenido de humedad de los agregados finos y gruesos (NTP 339.185 - ASTM D2216-19)
 - F. Ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento portland (NTP 339.035 - ASTM C143/143)
 - G. Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034 - ASTM C39/ C39M)

6) VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

PUNTUACIÓN:

RANGO	DESCRIPCIÓN
0-5	NO APLICABLE
5-10	NO VÁLIDO, REFORMULAR
10-15	VÁLIDO, APLICAR
15-20	VÁLIDO, EXCELENTE APLICAR

EVALUACIÓN:



INDICADORES DE EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO	CRITERIOS	VALORIZACIÓN			
		MALO	REGULAR	BUENO	MUY BUENO
		1	2	3	4
CLARIDAD	¿Están formulados con lenguaje apropiado que facilite su comprensión?				X
OBJETIVIDAD	¿Están expresados en datos medibles u observables?				X
COHERENCIA	¿Existe relación del contenido con los indicadores y las variables?				X
PERTINENCIA	¿Las categorías de respuestas y sus valores son apropiados?				X
SUFICIENCIA	¿Son suficientes la calidad y claridad de ítems en los instrumentos?				X

OBSERVACIONES:

Los formatos demuestran un enfoque integral, lo cual garantiza la calidad y establece un estándar para la ejecución de ensayos.

DECISIÓN DEL EXPERTO:

El instrumento debe ser aplicado: SI (X) NO ()


Roberto A. Vigo Rojas
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 264232



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, **Robin Alfredo Vigo Rojas**, como técnico responsable del laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, **ACEPTO** participar como apoyo en el proceso de validación del trabajo de investigación titulado:

"Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f'c = 210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso – Huánuco 2024", cuyo objetivo es evaluar la influencia de la adición de cal viva en la **autorreparación** del concreto de resistencia **$f'c = 210$ kg/cm²**, considerando las dosificaciones de **11% de cal viva** combinadas con **0%, 33%, 66% y 100% de concreto reciclado**.

Se me ha informado sobre el procedimiento y propósito de la investigación. Esta contribución promete profundizar el conocimiento sobre el uso de cal viva en el concreto para atribuirle propiedades **autorreparadoras** en la ciudad de **Huánuco**.

En cumplimiento de mis funciones, me comprometo a brindar el apoyo técnico necesario y a exigir el cumplimiento de los procedimientos conforme a las normas técnicas peruanas e internacionales.

Este trabajo de investigación corresponde al **Bach. Ing. Civil Ronaldo Rojas Chávez**, exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la **Universidad de Huánuco**, quien está siendo asesorado por el **Mg. William Paolo Taboada Trujillo**.

Por último, los responsables del proyecto podrán divulgar la información estrictamente para fines de esta investigación.



Ing. **Robin Alfredo VIGO ROJAS**
Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - UNPHEVAL



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, **Said Bradi Verdi Chahua**, como técnico responsable del laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, **ACEPTO** participar como apoyo en el proceso de validación del trabajo de investigación titulado:

"Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f_c = 210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso – Huánuco 2024", cuyo objetivo es evaluar la influencia de la adición de cal viva en la **autorreparación** del concreto de resistencia **$f_c = 210$ kg/cm²**, considerando las dosificaciones de **11% de cal viva** combinadas con **0%, 33%, 66% y 100% de concreto reciclado**.

Se me ha informado sobre el procedimiento y propósito de la investigación. Esta contribución promete profundizar el conocimiento sobre el uso de cal viva en el concreto para atribuirle propiedades **autorreparadoras** en la ciudad de **Huánuco**.

En cumplimiento de mis funciones, me comprometo a brindar el apoyo técnico necesario y a exigir el cumplimiento de los procedimientos conforme a las normas técnicas peruanas e internacionales.

Este trabajo de investigación corresponde al **Bach. Ing. Civil Ronaldo Rojas Chávez**, exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la **Universidad de Huánuco**, quien está siendo asesorado por el **Mg. William Paolo Taboada Trujillo**.

Por último, los responsables del proyecto podrán divulgar la información estrictamente para fines de esta investigación.



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, **Kevin Edson Campos Benavides**, como técnico responsable del laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, **ACEPTO** participar como apoyo en el proceso de validación del trabajo de investigación titulado:

"Influencia de la adición de cal viva en la autorreparación del concreto $f_c = 210$ kg/cm² elaborado con concreto reciclado como agregado grueso – Huánuco 2024", cuyo objetivo es evaluar la influencia de la adición de cal viva en la **autorreparación** del concreto de resistencia **$f_c = 210$ kg/cm²**, considerando las dosificaciones de **11% de cal viva** combinadas con **0%, 33%, 66% y 100% de concreto reciclado**.

Se me ha informado sobre el procedimiento y propósito de la investigación. Esta contribución promete profundizar el conocimiento sobre el uso de cal viva en el concreto para atribuirle propiedades **autorreparadoras** en la ciudad de **Huánuco**.

En cumplimiento de mis funciones, me comprometo a brindar el apoyo técnico necesario y a exigir el cumplimiento de los procedimientos conforme a las normas técnicas peruanas e internacionales.

Este trabajo de investigación corresponde al **Bach. Ing. Civil Ronaldo Rojas Chávez**, exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la **Universidad de Huánuco**, quien está siendo asesorado por el **Mg. William Paolo Taboada Trujillo**.

Por último, los responsables del proyecto podrán divulgar la información estrictamente para fines de esta investigación.





TESIS: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO F'C=210KG/CM2 ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"

TESISTA: RONALDO ROJAS CHAVEZ

UBICACIÓN: PILLCO MARCA - HUÁNUCO

CANtera: FIGUEROA - ANDABAMBA

FECHA: 23 - agosto - 2024

INFORME DE LABORATORIO

1. MUESTRA: PIEDRA CHANCADA.

1.1. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO

GRUESO

(N.T.P. 400.021, ASTM C-127)

$$ABS \% = \frac{(S-A)}{A} \quad S = \frac{A}{(B+S-C)}$$

DESCRIPCIÓN		PRUEBA 1
Masa de la muestra secada en el horno 24H	A	993.54 gr
Masa de la muestra Saturada Superficialmente Seca	B	1000.00 gr
Masa aparente de la muestra de ensayo saturado en agua	C	628.90 gr
Peso Especifico Seco		2.677 gr/cm ³
Absorción		0.65%

1.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO

(ASTM C-29)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	25.13 Kg	24.78 Kg	24.81 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	5.82 Kg	5.82 Kg	5.82 Kg
Peso de la muestra	19.31 Kg	18.96 Kg	18.99 Kg
Volumen del recipiente	0.01133 m ³	0.01133 m ³	0.01133 m ³
Peso Unitario Suelto	1704.325 Kg/m ³	1673.433 Kg/m ³	1676.081 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Suelto Seco	1684.613 Kg/m ³		

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	26.59 Kg	26.53 Kg	26.68 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	5.82 Kg	5.82 Kg	5.82 Kg
Peso de la muestra	20.77 Kg	20.71 Kg	20.86 Kg
Volumen del recipiente	0.01133 m ³	0.01133 m ³	0.01133 m ³
Peso Unitario Compactado	1833.186 Kg/m ³	1827.891 Kg/m ³	1841.130 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Compactado	1834.69 /m ³		



Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - Universidad



1.3. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
(NTP 339.185 - ASTM D2216-19)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Muestras	536.00 gr	516.00 gr	538.00 gr
Tara	112.00 gr	110.00 gr	112.00 gr
Muestra Húmeda	424.00 gr	406.00 gr	426.00 gr
Muestra Seca	424.00 gr	404.00 gr	426.00 gr
Agua Contenido en la Muestra	0.00 gr	2.00 gr	0.00 gr
Contenido de Humedad	0.00%	0.50%	0.00%
Contenido de Humedad Promedio	0.17%		

1.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
(NTP 400.012)

PESO HÚMEDO = 5000 gr.
PESO SECO = 4954.19 gr.

TAMIZ	DIAMETRO DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) QUE PASA	MÍN.	MÁX.
2 1/2"	63.50 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
2"	50.80 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
1 1/2"	38.10 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
1"	25.40 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
3/4"	19.05 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%	100.00%	90.00%	100.00%
1/2"	12.70 mm	2605.19 gr	52.59%	52.59%	47.41%	20.00%	55.00%
3/8"	9.53 mm	2223.10 gr	44.87%	97.46%	2.54%	0.00%	15.00%
N° 4	4.76 mm	94.00 gr	1.90%	99.36%	0.64%	0.00%	5.00%
N° 8	2.00 mm	24.39 gr	0.49%	99.85%	0.15%	0.00%	5.00%
FONDO		7.51 gr	0.15%	100.00%	0.00%		

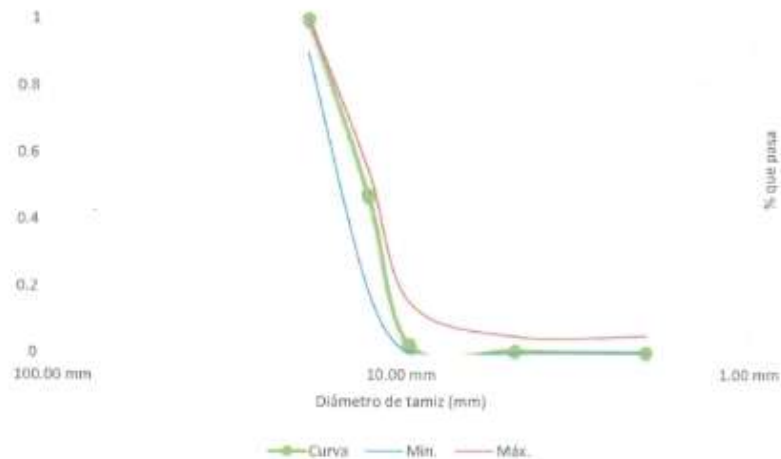
MÓDULO DE FINEZA = 3.49
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1/2"



Técnico Responsable de Laboratorio de Geotecnia - UNHCVL



Granulometría de la Piedra Chancada



2. MUESTRA: ARENA GRUESA.

2.1. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (N.T.P. 400.022, ASTM C-128)

$$\text{ABS \%} = \frac{(S-A)}{A}$$

$$S = \frac{A}{(B+S-C)}$$



DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	
Masa de la muestra secada en el horno 24H	A	294.80 gr
Masa de la fiola llenado de agua hasta la marca de calibración	B	647.70 gr
Masa de la fiola llenado de muestra y agua hasta la marca de calibración	C	834.40 gr
Masa de la muestra Saturada Superficialmente Seca	S	300.00 gr
Peso Especifico Seco		2.602 gr/cm ³
Absorción		1.76%

2.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO (N.T.P. 400.017, ASTM C-29)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	6.43 Kg	6.44 Kg	6.36 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	1.78 Kg	1.78 Kg	1.78 Kg
Peso de la muestra	4.65 Kg	4.66 Kg	4.58 Kg

[Firma]
Ing. Geotecnología PC/MS
Trabajo Perifoneador de Laboratorio
de Geotecnia - UH/IEVAL



Volumen del recipiente	0.0028 m ³	0.0028 m ³	0.0028 m ³
Peso Unitario Suelto	1660.357 Kg/m ³	1663.929 Kg/m ³	1635.357 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Suelto Seco	1653.214 Kg/m ³		

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	6.78 Kg	6.74 Kg	6.71 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	1.78 Kg	1.78 Kg	1.78 Kg
Peso de la muestra	4.98 Kg	4.96 Kg	4.93 Kg
Volumen del recipiente	0.0028 m ³	0.0028 m ³	0.0028 m ³
Peso Unitario Compactado	1778.214 Kg/m ³	1771.071 Kg/m ³	1760.357 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Compactado	1769.881 Kg/m ³		

2.3. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS
(NTP 339.185 - ASTM D2216-19)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Muestras	466.00 gr	448.00 gr	422.00 gr
Tara	106.00 gr	108.00 gr	106.00 gr
Muestra Húmeda	360.00 gr	340.00 gr	316.00 gr
Muestra Seca	358.00 gr	338.00 gr	315.00 gr
Agua Contenido en la Muestra	2.00 gr	2.00 gr	1.00 gr
Contenido de Humedad	0.56%	0.59%	0.32%
Contenido de Humedad Promedio	0.49%		

2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
(NTP 400.012)

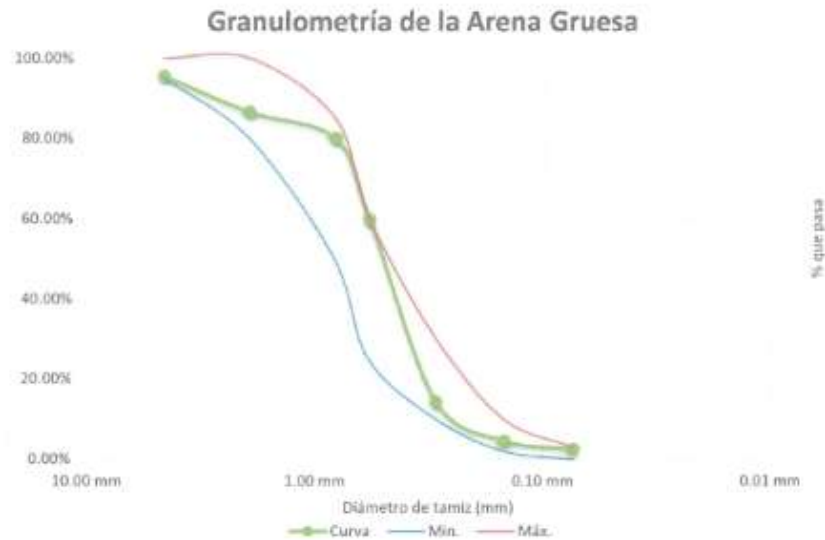
PESO HÚMEDO = 1000 gr.
PESO SECO = 992.6 gr.



TAMIZ	DIAMETRO DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) QUE PASA	MÍN.	MÁX.
N° 4	4.76 mm	44.70 gr	4.50%	4.50%	95.50%	95.00%	100.00%
N° 8	2.00 mm	88.70 gr	8.94%	13.44%	86.56%	80.00%	100.00%
N° 16	0.84 mm	65.20 gr	6.57%	20.01%	79.99%	50.00%	85.00%
N° 30	0.59 mm	199.70 gr	20.12%	40.13%	59.87%	25.00%	60.00%
N° 50	0.30 mm	451.60 gr	45.50%	85.62%	14.38%	10.00%	30.00%
N° 100	0.15 mm	97.20 gr	9.79%	95.42%	4.58%	2.00%	10.00%
N° 200	0.07 mm	20.90 gr	2.11%	97.52%	2.48%	0.00%	3.00%
FONDO	0.00 mm	24.60 gr	2.48%	100.00%	0.00%		



MÓDULO DE FINEZA = 2.59



3. MUESTRA: CONCRETO CHANCADO

3.1. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (N.T.P. 400.021, ASTM C-127)

$$ABS \% = \frac{(S-A)}{A}$$

$$S = \frac{A}{(B+S-C)}$$



DESCRIPCIÓN		PRUEBA 1
Masa de la muestra secada en el horno 24H	A	981.11 gr
Masa de la muestra Saturada Superficialmente Seca	B	1000.00 gr
Masa aparente de la muestra de ensayo saturado en agua	C	585.20 gr
Peso Específico Seco		2.365 gr/cm³
Absorción		1.93%

3.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C-29)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	21.74 Kg	21.69 Kg	21.98 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	5.82 Kg	5.82 Kg	5.82 Kg

Ing. María Rosa Urbán VIGO ROMAS
 Técnico Responsable de Laboratorio
 de Geotecnia - UNATEVAL



Peso de la muestra	15.92 Kg	15.87 Kg	16.16 Kg
Volumen del recipiente	0.01133 m ³	0.01133 m ³	0.01133 m ³
Peso Unitario Suelto	1405.119 Kg/m ³	1400.706 Kg/m ³	1426.302 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Suelto Seco	1410.709 Kg/m ³		

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Peso de la muestra con el peso del recipiente	23.68 Kg	23.68 Kg	23.52 Kg
Peso del recipiente cilíndrico	5.82 Kg	5.82 Kg	5.82 Kg
Peso de la muestra	17.86 Kg	17.86 Kg	17.70 Kg
Volumen del recipiente	0.01133 m ³	0.01133 m ³	0.01133 m ³
Peso Unitario Compactado	1576.346 Kg/m ³	1576.346 Kg/m ³	1562.224 Kg/m ³
Promedio Peso Unitario Compactado	1571.639 Kg/m ³		

3.3. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS (NTP 339.185 - ASTM D2216-19)

DESCRIPCIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
Muestras	629.00 gr	610.50 gr	745.60 gr
Tara	129.00 gr	110.50 gr	245.60 gr
Muestra Húmeda	500.00 gr	500.00 gr	500.00 gr
Muestra Seca	488.10 gr	487.20 gr	487.90 gr
Agua Contenido en la Muestra	11.90 gr	12.80 gr	12.10 gr
Contenido de Humedad	2.44%	2.63%	2.48%
Contenido de Humedad Promedio	2.52%		

3.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NTP 400.012)

PESO HÚMEDO = 5000 gr.
PESO SECO = 3530 gr.



[Signature]
Ing. Civil **RODRIGO ROJAS**
Coordinador Administrativo del Laboratorio de Geotecnia - UNHEVAL

TAMIZ	DIAMETRO DEL TAMIZ	PESO RETENIDO	(%) RETENIDO	(%) RET. ACUM.	(%) QUE PASA	MÍN.	MÁX.
2 1/2"	63.50 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
2"	50.80 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
1 1/2"	38.10 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
1"	25.40 mm	0.00 gr	0.00%	0.00%			
3/4"	19.05 mm	19.90 gr	0.56%	0.56%	99.44%	90.00%	100.00%
1/2"	12.70 mm	1960.00 gr	55.52%	56.09%	43.91%	20.00%	55.00%
3/8"	9.53 mm	1446.00 gr	40.96%	97.05%	2.95%	0.00%	15.00%
N° 4	4.76 mm	45.70 gr	1.29%	98.35%	1.65%	0.00%	5.00%



UNIVERSIDAD HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO ESPECIALIZADO DE GEOTECNICA, PAVIMENTOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



N° 8	2.00 mm	53.80 gr	1.52%	99.87%	0.13%	0.00%	5.00%
FONDO		4.60 gr	0.13%	100.00%	0.00%		

MÓDULO DE FINEZA = 3.52
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL = 1/2"



Ing. [Nombre] [Apellido]
Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - URHVEVA



TESIS: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO $F'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$ ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"

TESISTA: RONALDO ROJAS CHAVEZ

UBICACIÓN: PILLCO MARCA - HUÁNUCO

CANtera: FIGUEROA - ANDABAMBA

FECHA: 23 - agosto - 2024

DISEÑO DE MEZCLA

propiedades	piedra chancada	concreto reciclado	arena gruesa
peso específico	2.6770	2.3650	2.6020
peso seco compactado	1834.0690	1571.6390	1769.8810
peso suelto	1684.6130	1410.7090	1653.2140
contenido de humedad	0.1700	2.5200	0.4900
% de absorción	1.0000	2.0000	2.0000
cemento		2950.0000	
asentamiento		3" - 4"	

1. Determinación de tamaño máximo nominal.

$$\text{T.M.N.} = \frac{1}{2}"$$

2. Determinación de módulo de fineza.

$$\text{M.F.} = \frac{\% \text{ ACUMULADO } (N_4 + N_8 + N_{16} + N_{30} + N_{50} + N_{100})}{100}$$

$$\text{M.F.} = 2.59$$

3. Resistencia promedio (F'_{cr}).

$$F'_{cr} \text{ requerido} = 210 \text{ Kg}/\text{CM}^2$$

Condiciones:

$$F'_{cr} = F'_{c'} + 70 \text{ Kg}/\text{CM}^2 < 210 \text{ Kg}/\text{CM}^2$$

$$F'_{cr} = F'_{c'} + 84 \text{ Kg}/\text{CM}^2 \quad 210 - 350 \text{ Kg}/\text{CM}^2$$

$$F'_{cr} = F'_{c'} + 98 \text{ Kg}/\text{CM}^2 > 350 \text{ Kg}/\text{CM}^2$$

$$F'_{cr} = 294 \text{ Kg}/\text{CM}^2$$

4. Volumen unitario del agua y volumen de aire atrapado.

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y DE CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES VALORES DE ASENTAMIENTO Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADOS.





Asentamiento	Agua en L/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados		
	3/8"	1/2"	3/4"
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO			
1" a 2"	207	199	190
3" a 4"	228	216	205
6" a 7"	243	228	216
Cantidad aproximada de aire atrapado, en porcentaje.	3	2.5	2

Volumen unitario de agua= 216 Lt/m³

Cantidad de aire atrapado= 2.5 %

5. Relación agua - cemento.

RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Resistencia a la compresión a los 28 días (F'cp)	RELACIÓN AGUA - CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE	CONCRETO CON AIRE
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

F'cp= 294.00 Kg/Cm²

a/c= 0.56

6. Cantidad de cemento.

Contenido de cemento= $\frac{\text{Agua de la mezcla (Kg/Cm}^2\text{)}}{\text{relación a/c}}$



Ing. César Paredes, Director General
Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - UHREVAL



Contenido de cemento= 386.82 Kg

7. Contenido de agregado grueso.

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO	Módulo de agregado grueso, seco y compactado po unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino			
	MÓDULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

M.F.= 2.59

MÓDULO DE AG= 0.571

CANT. (Kg) 1= 1047.25

8. Cantidad de agregado fino/método de los volúmenes absolutos (m3).

Volumen de cemento= 0.1228

Volumen de agua= 0.216

Volumen de aire= 0.025

Volumen 1 de A.G.= 0.3912

Suma de Volúmenes 1= 0.7550

Volumen 1 de A.F.= 0.2450

CANT. (Kg) 1= 637.48

9. Cantidades de materiales.

Cemento (Kg)= 386.82

Agua (Lt)= 216.00

A. Grueso (Kg)= 1047.25

A. -fino (Kg)= 637.48

10. Ajustes por humedad.

Ing. César Roberto Alfredo Viquez Rojas
Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - UPRHEVAL



UNIVERSIDAD HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO ESPECIALIZADO DE GEOTECNICA, PAVIMENTOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



A. Grueso (Kg)= 1049.03
A. fino (Kg)= 640.60
Agua efectiva (Lt)= 234.32

11. Cantidades de materiales final.

Cemento (Kg)= 386.82
Agua (Lt)= 234.32
A. Grueso (Kg)= 1049.03
A. -fino (Kg)= 640.60

Cantidades por bolsa de cemento:

Cemento= 1.00
A. -fino= 1.66
A. Grueso= 2.71
Agua= 0.61



[Firma]
Ing. Ciro Roberto Alvarado SOTO R.O. 143
Especialista Responsable del Laboratorio
de Geotecnia - UNHCV



TESIS: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO $f'c=210\text{KG}/\text{CM}^2$ ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"

TESISTA: RONALDO ROJAS CHAVEZ

UBICACIÓN: PILLCO MARCA - HUÁNUCO

CANtera: FIGUEROA - ANDABAMBA

FECHA: 23 - agosto - 2024

CANTIDAD DE MATERIALES

- Volumen de probetas (20x10cm)

ALTURA	0.2 m
DIAMETRO	0.1 m
ÁREA	0.0079 m
VOLUMEN	0.0016 m ³

- Volumen de concreto para 15 probetas

# DE PROBETAS	15
VOLUMEN TOTAL	0.0236 m ³

VOLUMEN TOTAL CON DESPERDICIO (30%) = 0.0306 m³

- Cantidad de materiales

MEZCLA = 1:1.66:2.71 a/c=0.61

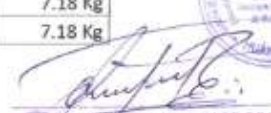
CANTIDAD DE AGUA POR M3	216 Lt
RELACIÓN DE A/C	0.61
CANTIDAD DE CEMENTO POR M3	356.58 Kg

CANTIDAD DE CEMENTO NECESARIO (KG)	10.92 Kg
BOLSAS DE CEMENTO	0.26

ARENA GRUESA	18.09 Kg
PIEDRA CHANCADA	29.62 Kg
AGUA	6.62 Lt

- Cantidad de cal

Peso de materiales	65.25 Kg
11% del peso de la mezcla	7.18 Kg
cantidad de cal viva (Kg)	7.18 Kg


Ing. Civil Roberto Alfredo VIGO ROJAS
Técnico Responsable del Laboratorio
de Geotecnia - UNHVEAL





• Cantidad de materiales para 15 probetas

MATERIALES	PATRON	CONCRETO CON CAL	CONCRETO CON CAL Y 33% DE RECICLADO	CONCRETO CON CAL Y 66% DE RECICLADO	CONCRETO CON CAL Y 100% DE RECICLADO	TOTALES
Cemento (Kg)	10.92	10.92	10.92	10.92	10.92	54.61
Agua (Lt)	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	33.08
A. Grueso (Kg)	29.62	29.62	19.85	10.07	0.00	89.16
A. -fino (Kg)	18.09	18.09	18.09	18.09	18.09	90.44
Cal (Kg)	0.00	7.18	7.18	7.18	7.18	28.71
A. Reciclado (Kg)	0.00	0.00	9.77	19.55	29.62	58.94



Roberto Abrego Vique
Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - UNHCV-AL



TESIS: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CAL VIVA EN LA AUTORREPARACIÓN DEL CONCRETO F'C=210KG/CM2 ELABORADO CON CONCRETO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, HUÁNUCO 2024"

TESISTA: RONALDO ROJAS CHAVEZ
UBICACIÓN: PILLCO MARCA - HUÁNUCO
CANTERA: FIGUEROA - ANDABAMBA
FECHA: 23 - agosto - 2024

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

EDAD: 28 días.
FECHA DE MOLDEO: 28/10/2024.
FECHA DE RUPTURA: 25/11/2024
TIPO DE MUESTRA: Muestra patrón.

DESCRIPCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (KgF)	F'C (Kg/Cm ²)	F'C Prom. (Kg/Cm ²)	F'C prom DISEÑO
MP-01	10	20	78.54	25,637.80	326.44		
MP-02	10	20	78.54	23,666.48	301.34		
MP-03	10	20	78.54	24,895.75	316.99		
MP-04	10	20	78.54	22,666.23	288.60		
MP-05	10	20	78.54	21,181.32	269.70		
MP-06	10	20	78.54	24,179.70	307.87		
MP-07	10	20	78.54	25,459.35	324.17		
MP-08	10	20	78.54	23,287.55	296.52	305.07	103.77%
MP-09	10	20	78.54	22,249.68	283.30		
MP-10	10	20	78.54	28,573.27	363.82		
MP-11	10	20	78.54	26,224.04	333.90		
MP-12	10	20	78.54	20,718.26	263.80		
MP-13	10	20	78.54	26,781.11	341.00		
MP-14	10	20	78.54	21,641.11	275.55		
MP-15	10	20	78.54	22,229.39	283.04		

EDAD: 28 días.
FECHA DE MOLDEO: 29/10/2024.
FECHA DE RUPTURA: 26/11/2024
TIPO DE MUESTRA: Muestra patrón + 11% de cal.



DESCRIPCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (KgF)	F'C (Kg/Cm ²)	F'C Prom. (Kg/Cm ²)	F'C prom DISEÑO
MP+CAL-01	10	20	78.54	0.00	0.00		
MP+CAL-02	10	20	78.54	0.00	0.00	63.79	21.70%
MP+CAL-03	10	20	78.54	0.00	0.00		

Tecnico Responsable de Laboratorio de Geotecnia - UNHEVAL



UNIVERSIDAD HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO ESPECIALIZADO DE GEOTECNICA, PAVIMENTOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

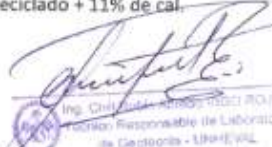


MP+CAL-04	10	20	78.54	9,435.47	120.14
MP+CAL-05	10	20	78.54	0.00	0.00
MP+CAL-06	10	20	78.54	7,293.04	92.86
MP+CAL-07	10	20	78.54	6,648.88	84.66
MP+CAL-08	10	20	78.54	9,694.07	123.43
MP+CAL-09	10	20	78.54	3,968.34	50.53
MP+CAL-10	10	20	78.54	6,585.25	83.85
MP+CAL-11	10	20	78.54	4,794.42	61.05
MP+CAL-12	10	20	78.54	6,138.92	78.17
MP+CAL-13	10	20	78.54	5,432.76	69.17
MP+CAL-14	10	20	78.54	5,833.51	74.28
MP+CAL-15	10	20	78.54	9,318.51	118.65

EDAD: 28 días.
FECHA DE MOLDEO: 06/11/2024.
FECHA DE RUPTURA: 4/12/2024
TIPO DE MUESTRA: 33% concreto reciclado + 11% de cal.

DESCRIPCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (KgF)	F'C (Kg/Cm ²)	F'C Prom. (Kg/Cm ²)	F'C prom DISEÑO
33%+CAL-01	10	20	78.54	0.00	0.00		
33%+CAL-02	10	20	78.54	5,223.31	66.51		
33%+CAL-03	10	20	78.54	6,403.74	81.54		
33%+CAL-04	10	20	78.54	9,314.53	118.60		
33%+CAL-05	10	20	78.54	0.00	0.00		
33%+CAL-06	10	20	78.54	7,270.40	92.57		
33%+CAL-07	10	20	78.54	6,326.44	80.55		
33%+CAL-08	10	20	78.54	7,775.98	99.01	71.25	24.23%
33%+CAL-09	10	20	78.54	7,717.04	98.26		
33%+CAL-10	10	20	78.54	6,616.86	84.25		
33%+CAL-11	10	20	78.54	0.00	0.00		
33%+CAL-12	10	20	78.54	6,241.09	79.47		
33%+CAL-13	10	20	78.54	6,388.34	81.34		
33%+CAL-14	10	20	78.54	7,350.45	93.59		
33%+CAL-15	10	20	78.54	7,308.13	93.05		

EDAD: 28 días.
FECHA DE MOLDEO: 08/11/2024.
FECHA DE RUPTURA: 06/12/2024
TIPO DE MUESTRA: 66% concreto reciclado + 11% de cal.


Ing. Christian Roberto Pineda Rojas
Ingeniero Responsable de Laboratorio de Geotecnia - UNHCVL





UNIVERSIDAD HERMILIO VALDIZÁN
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO ESPECIALIZADO DE GEOTÉCNICA, PAVIMENTOS Y ENSAYOS DE MATERIALES



DESCRIPCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (KgF)	F'C (Kg/Cm ²)	F'C Prom. (Kg/Cm ²)	F'C prom DISEÑO
66%+CAL-01	10	20	78.54	0.00	0.00		
66%+CAL-02	10	20	78.54	7,476.08	95.19		
66%+CAL-03	10	20	78.54	9,367.66	119.28		
66%+CAL-04	10	20	78.54	5,372.39	68.41		
66%+CAL-05	10	20	78.54	4,353.80	55.44		
66%+CAL-06	10	20	78.54	10,501.28	133.71		
66%+CAL-07	10	20	78.54	8,034.99	102.31		
66%+CAL-08	10	20	78.54	6,258.43	79.69	88.16	29.99%
66%+CAL-09	10	20	78.54	0.00	0.00		
66%+CAL-10	10	20	78.54	6,601.06	84.05		
66%+CAL-11	10	20	78.54	7,170.16	91.30		
66%+CAL-12	10	20	78.54	8,584.92	109.31		
66%+CAL-13	10	20	78.54	11,166.75	142.18		
66%+CAL-14	10	20	78.54	8,970.58	114.22		
66%+CAL-15	10	20	78.54	10,003.15	127.37		

EDAD: 28 días.
FECHA DE MOLDEO: 15/11/2024.
FECHA DE RUPTURA: 13/12/2024
TIPO DE MUESTRA: 100% concreto reciclado + 11% de cal.

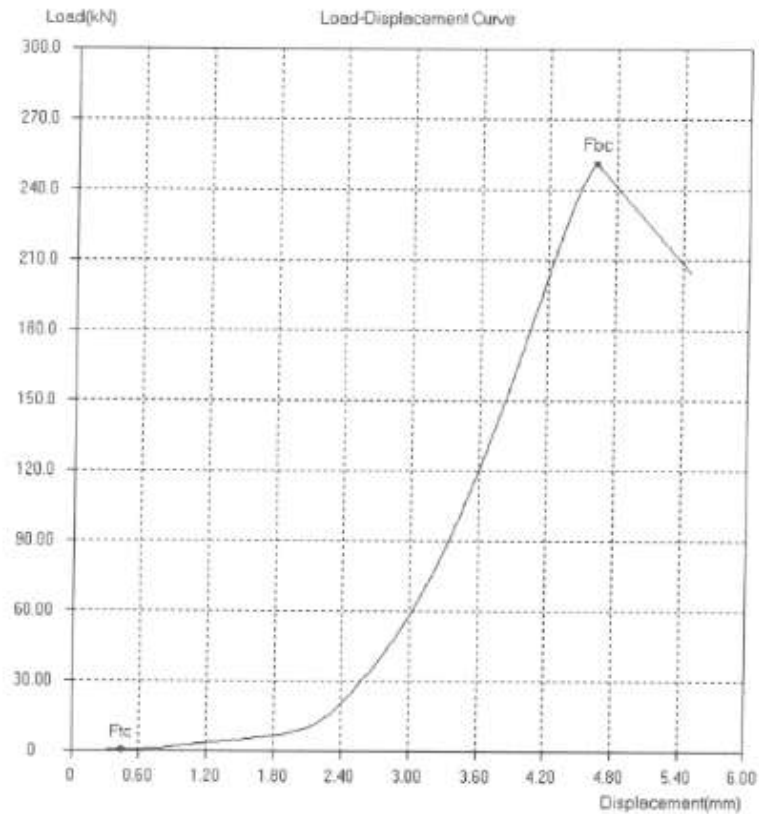
DESCRIPCIÓN	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (KgF)	F'C (Kg/Cm ²)	F'C Prom. (Kg/Cm ²)	F'C prom DISEÑO
66%+CAL-01	10	20	78.54	10,212.80	130.04		
66%+CAL-02	10	20	78.54	10,584.39	134.77		
66%+CAL-03	10	20	78.54	9,740.26	124.02		
66%+CAL-04	10	20	78.54	8,794.78	111.98		
66%+CAL-05	10	20	78.54	10,196.28	129.83		
66%+CAL-06	10	20	78.54	9,165.75	116.71		
66%+CAL-07	10	20	78.54	10,203.73	129.92		
66%+CAL-08	10	20	78.54	8,752.46	111.44	113.54	38.62%
66%+CAL-09	10	20	78.54	10,164.87	129.43		
66%+CAL-10	10	20	78.54	0.00	0.00		
66%+CAL-11	10	20	78.54	8,273.29	105.34		
66%+CAL-12	10	20	78.54	10,426.64	132.76		
66%+CAL-13	10	20	78.54	8,852.70	112.72		
66%+CAL-14	10	20	78.54	9,002.90	114.63		
66%+CAL-15	10	20	78.54	9,389.38	119.55		



Ing. Juan Pablo Alvarado VILCÁZCUE
Técnico Responsable de Laboratorio
de Geotecnia - UHVEVAL

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-01	TestData	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm)	8107.34
Lc(mm)	150	Fbc(kN)	251.42
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.74



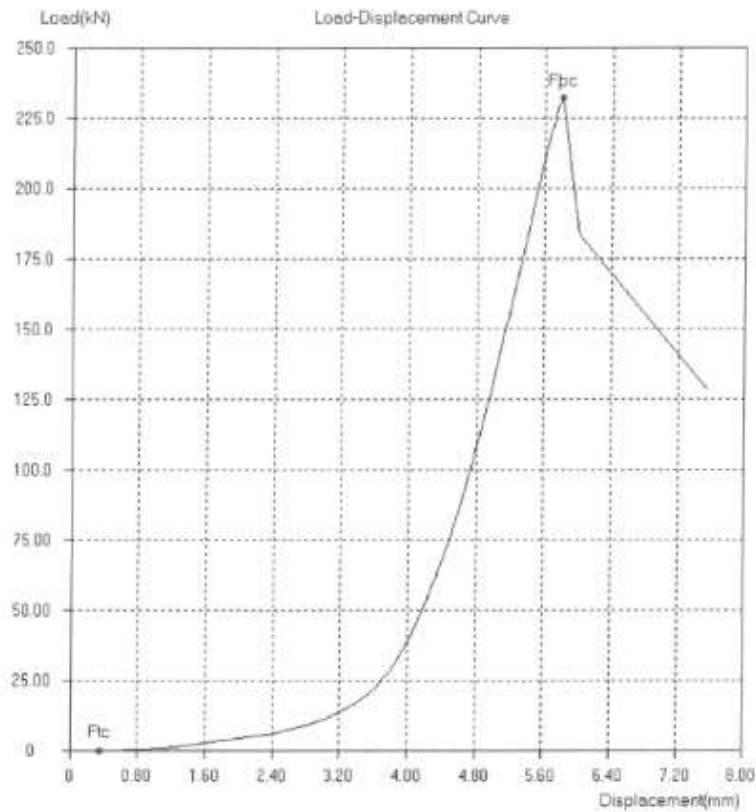
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-02	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	232.09
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	232.09
Rpc(MPa)	30	Ec(GPa)	0.69



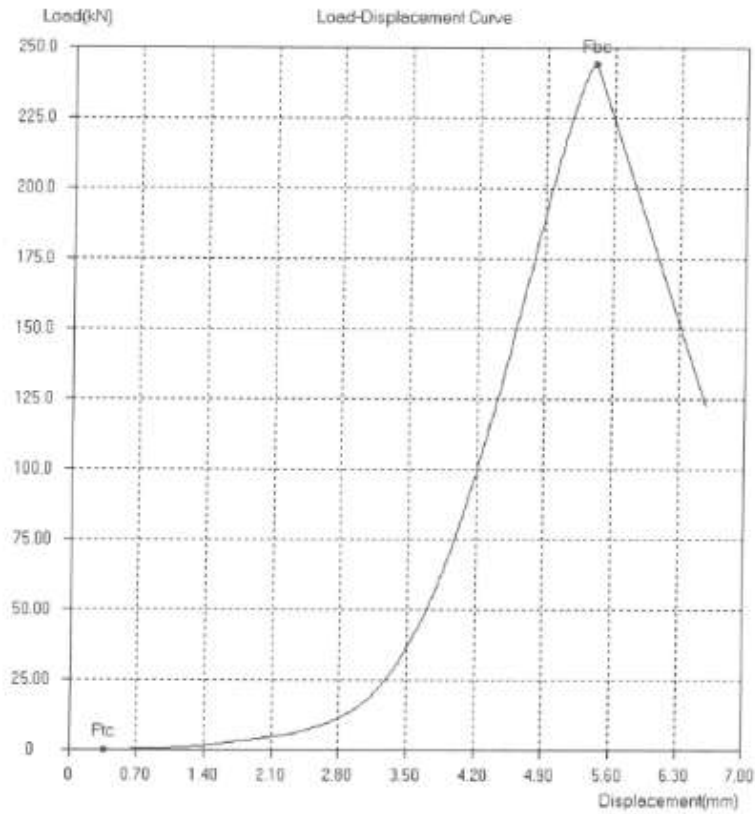
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-03	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	244.14
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.75



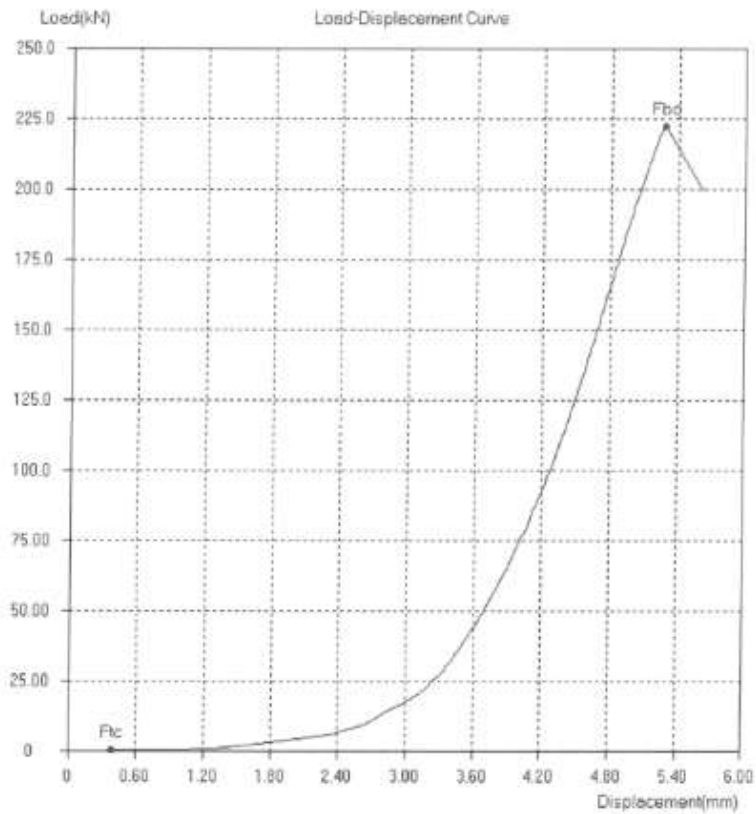
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-04	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	222.28
Rbc(MPa)	25	Fpc(kN)	0.20
Rpc(MPa)	0	Ec(GPa)	0.64



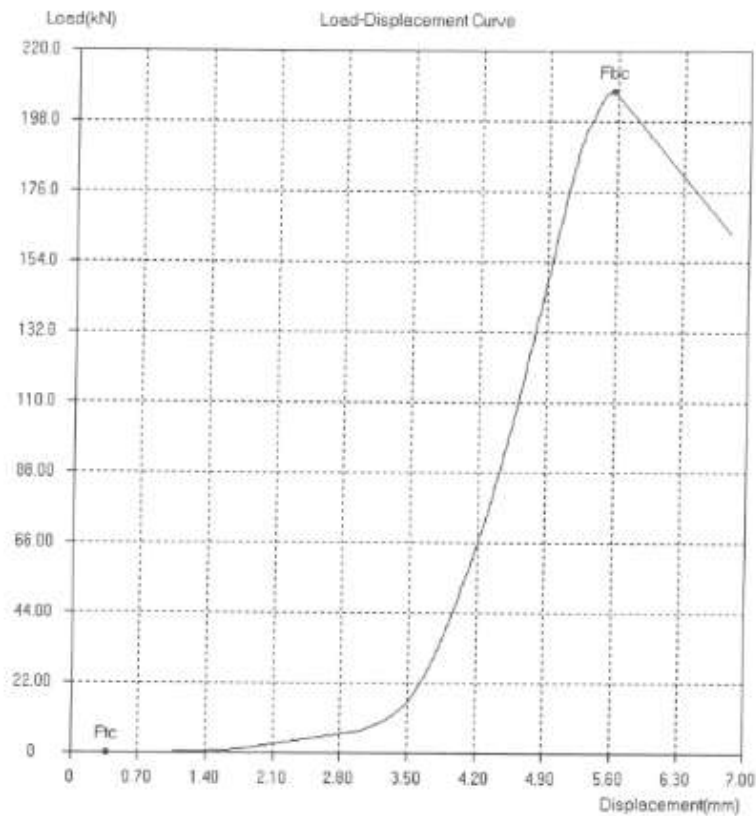
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-05	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	Sc(mm²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	207.72
Rbc(MPa)	25	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.70



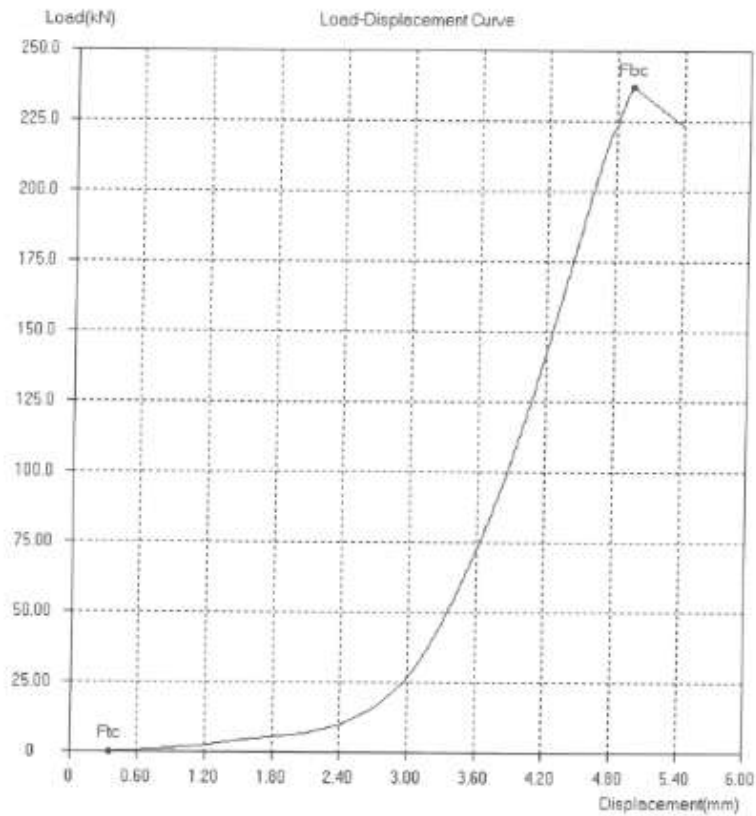
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-06	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	237.12
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.74



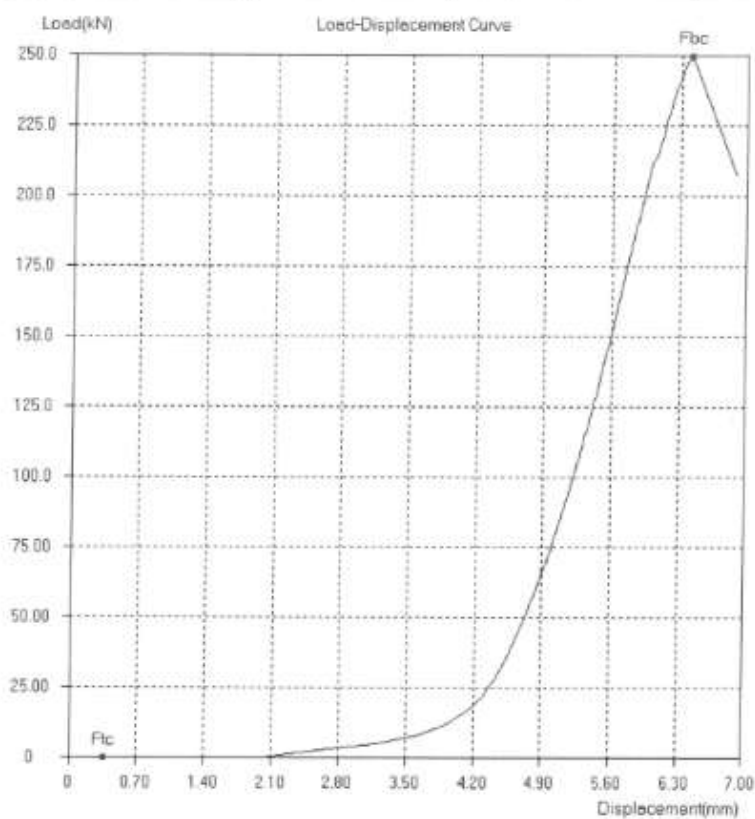
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-07	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Cirde:
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	249.67
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.78



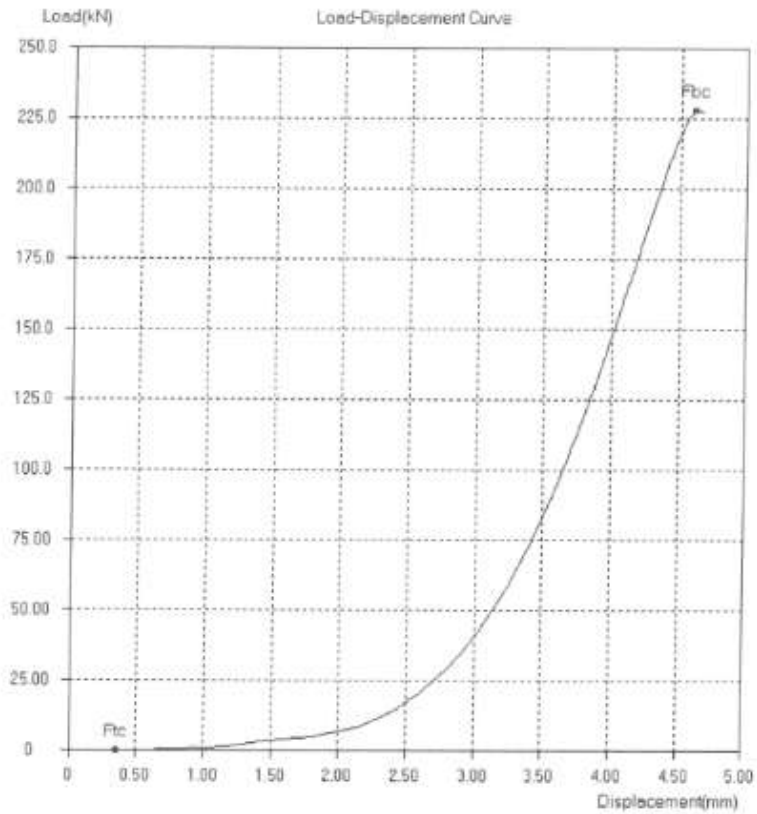
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-08	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	228.37
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.75



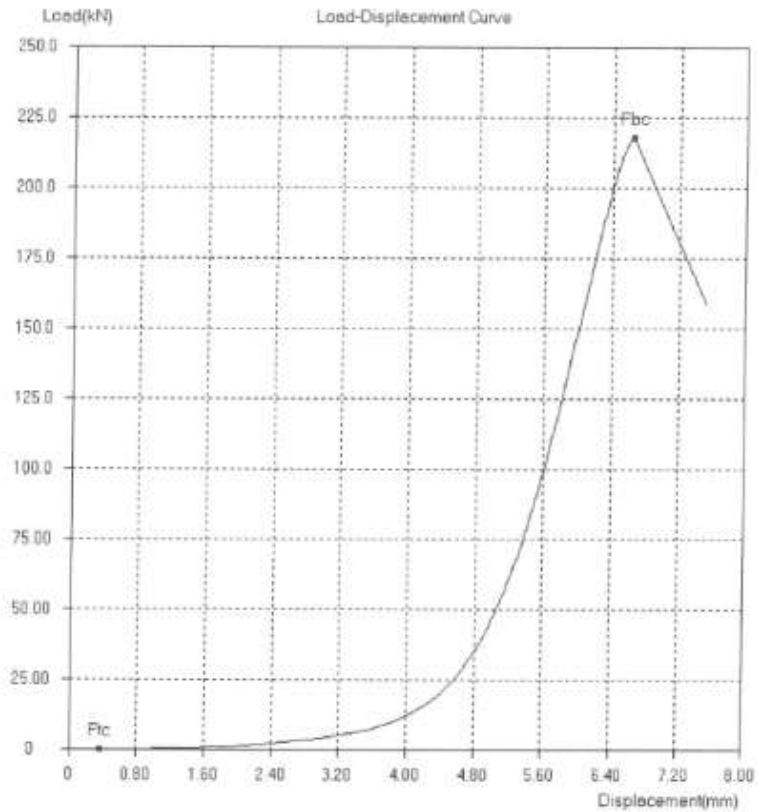
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-09	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Cilind.
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	218.19
Rbc(MPa)	25	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.69



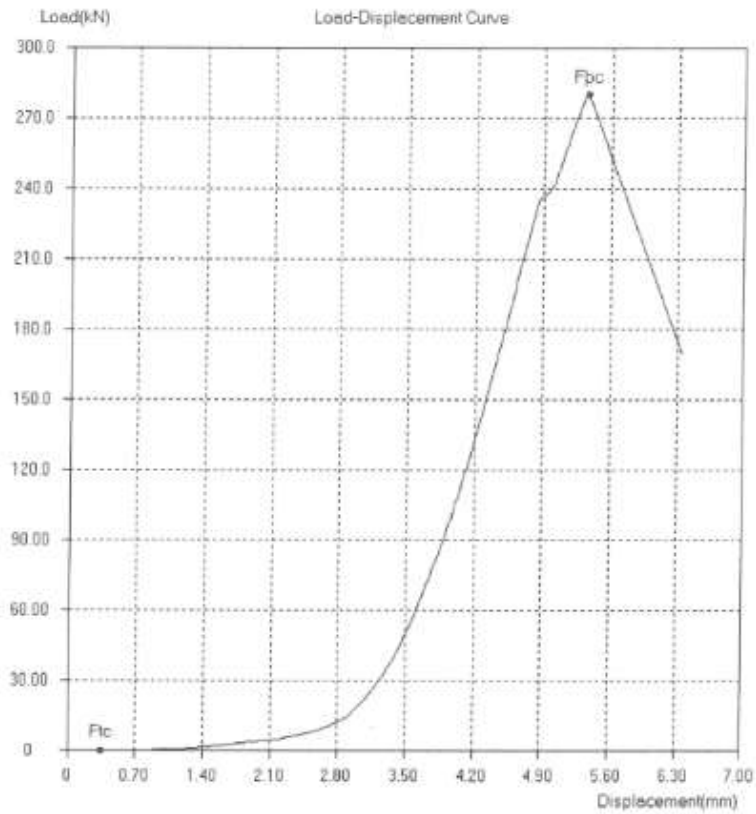
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-10	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	280.21
Rbc(MPa)	35	Fpc(kN)	280.21
Rpc(MPa)	35	Ec(GPa)	0.87



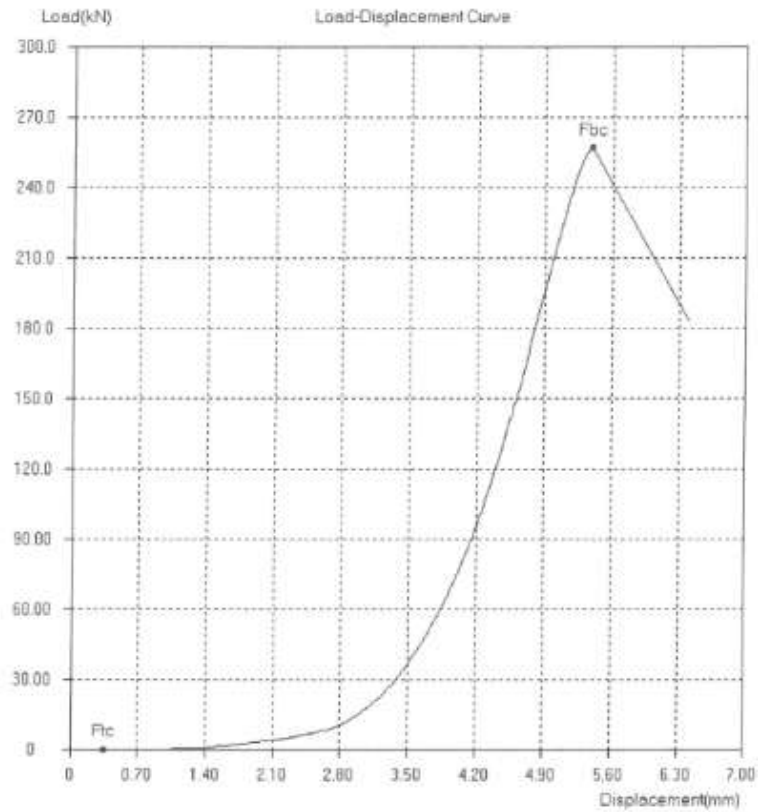
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-11	TestDate	11/25/2024
Operator	RONALD	Type	Cirde
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	257.17
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.80



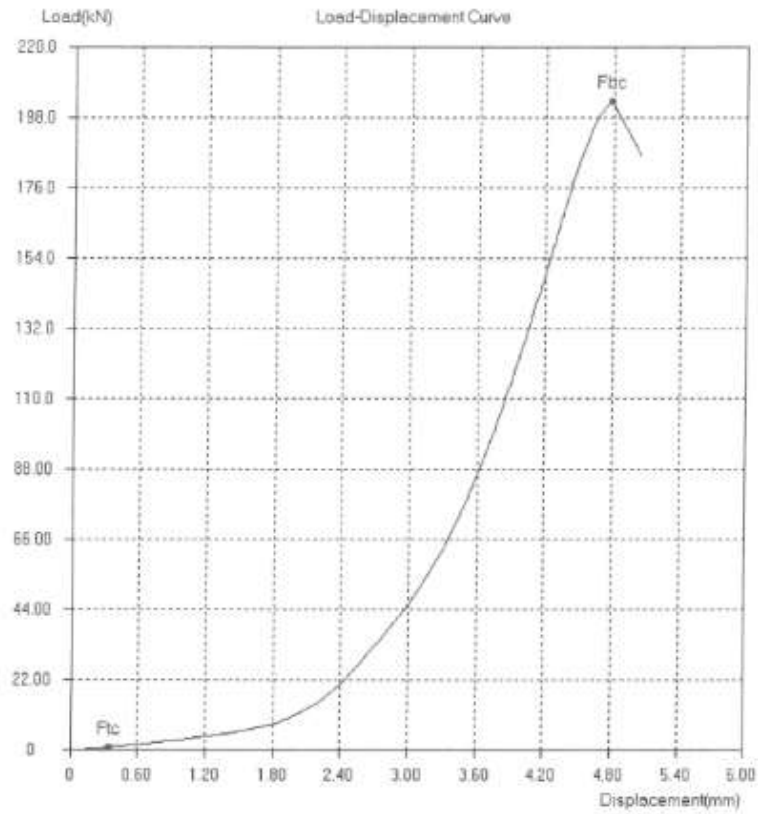
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-12	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	203.18
Rbc(MPa)	25	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.56



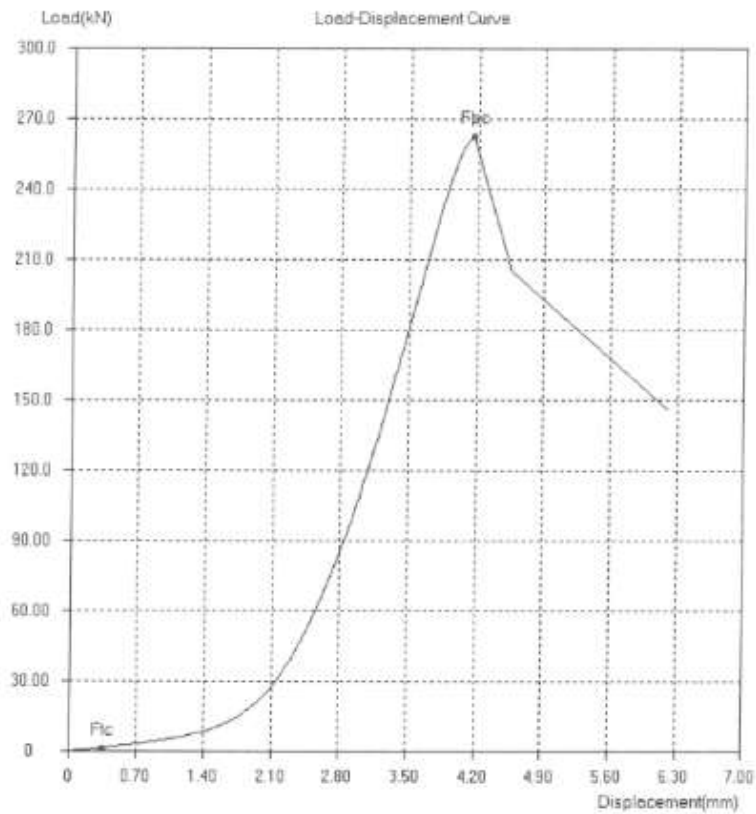
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-13	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	262.63
Rbc(MPa)	30	Fpc(kN)	262.63
Rpc(MPa)	30	Ec(GPa)	0.81



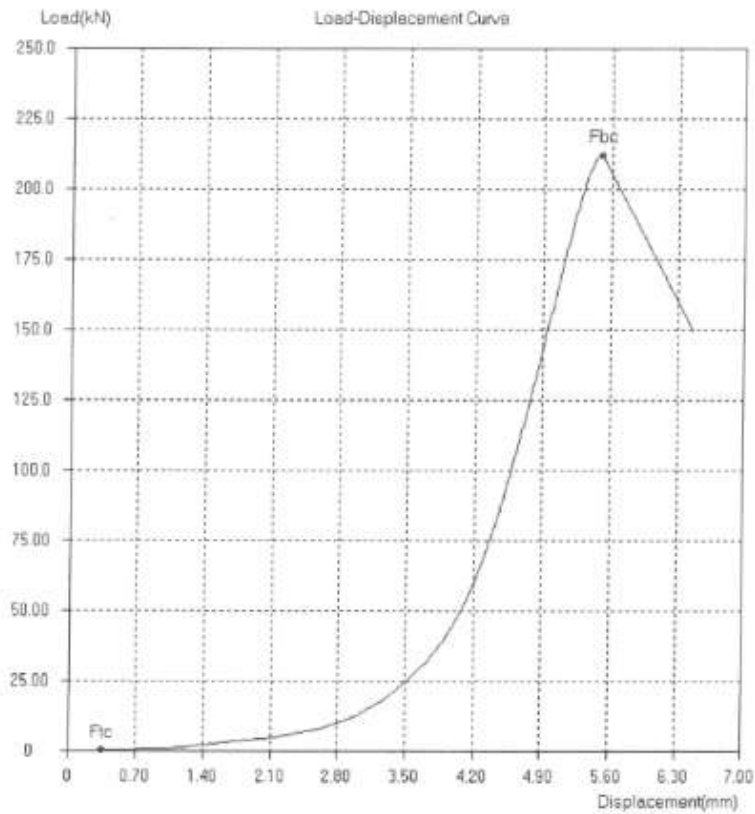
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-14	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Cirde
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	F _{bc} (kN)	212.23
R _{bc} (MPa)	25	F _{pc} (kN)	/
R _{pc} (MPa)	/	E _c (GPa)	0.74



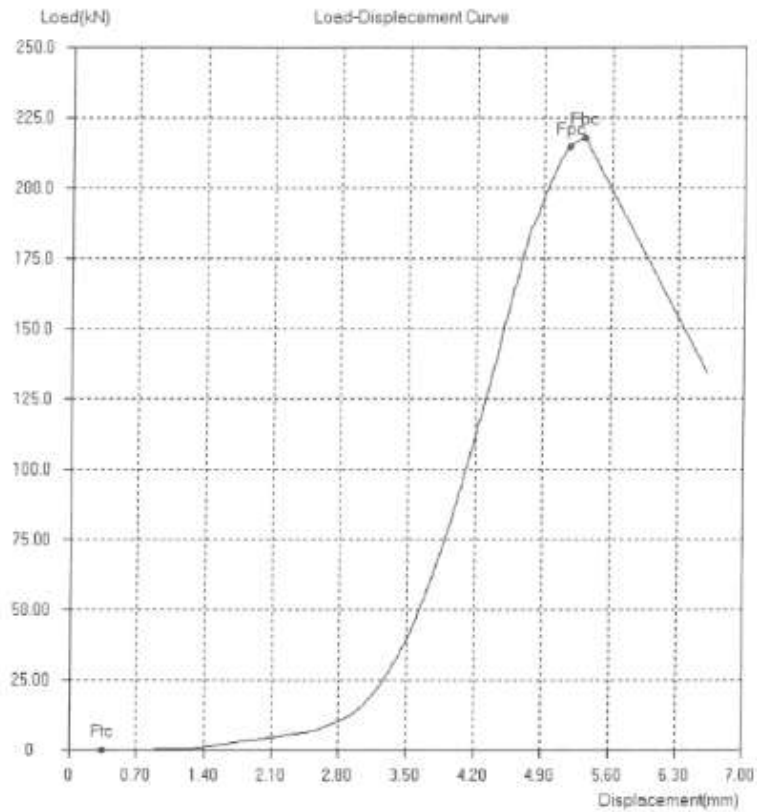
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-15	TestDate	11/26/2024
Operator	RONALD	Type	Circle
Size(mm)	101.6	So(mm ²)	8107.34
Lo(mm)	150	Fbc(kN)	218.00
Rbc(MPa)	25	Fpc(kN)	214.79
Rpc(MPa)	25	Ec(GPa)	0.73



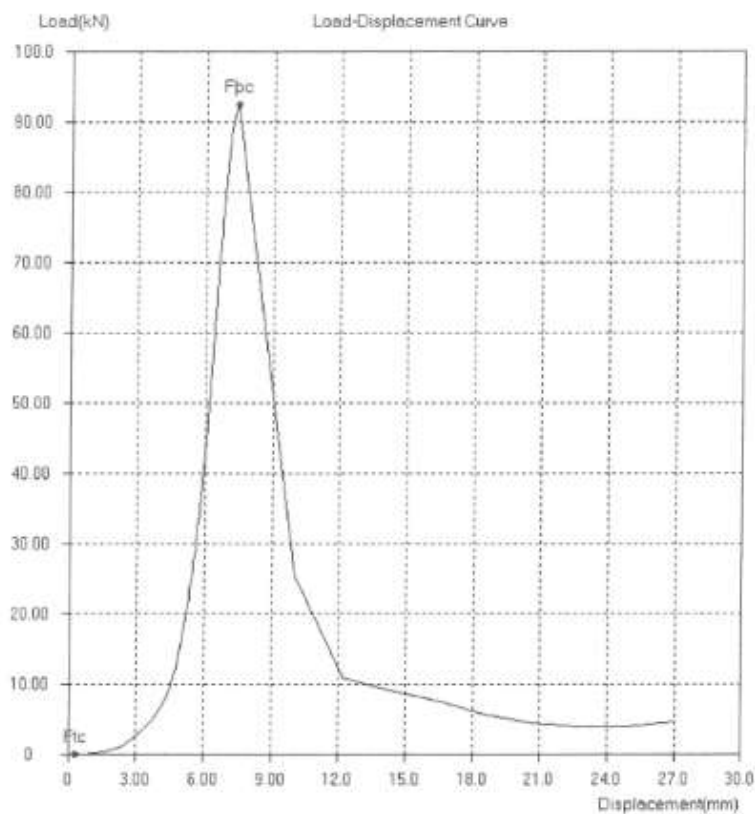
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-04	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	Sc(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	92.53
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	92.53
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.23



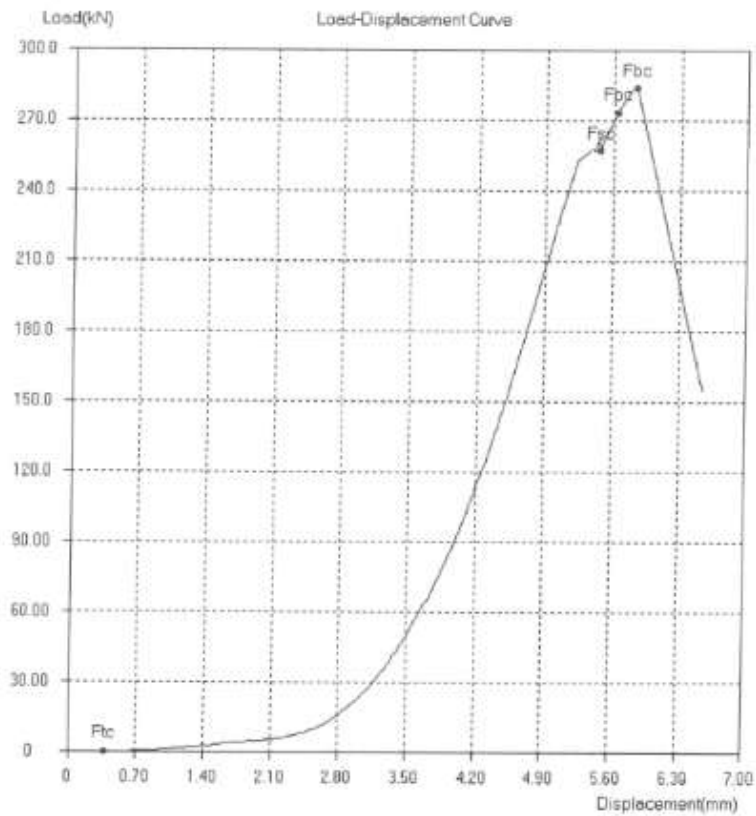
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP+CAL-05	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Cirde
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	263.86
Rbc(MPa)	35	Fpc(kN)	273.37
Rpc(MPa)	35	Ec(GPa)	0.76



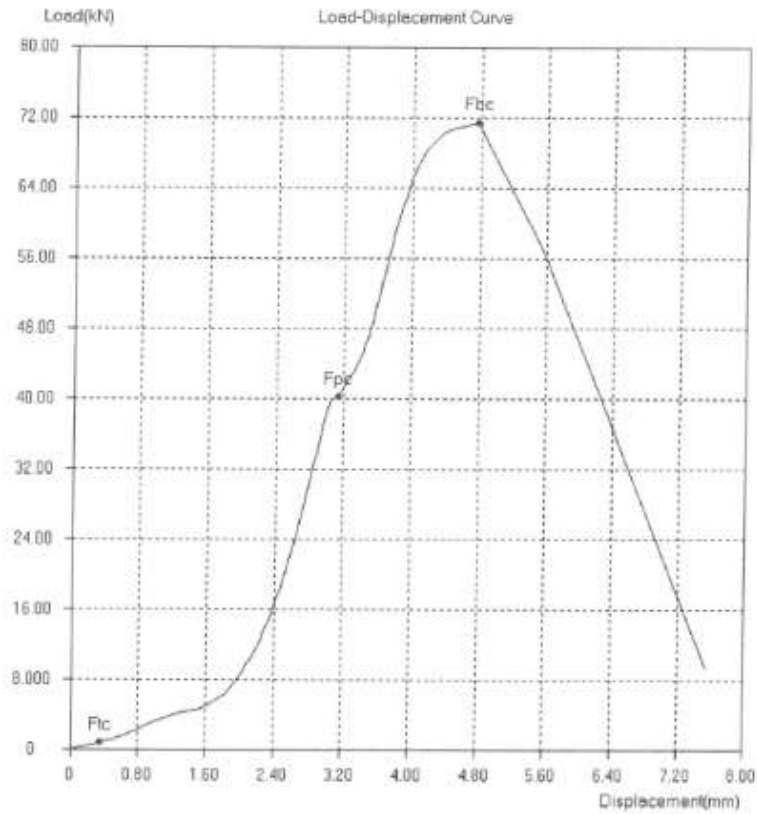
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-06	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Cirde
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	71.52
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	40.26
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.26



DR. WILLIAM TABOADA

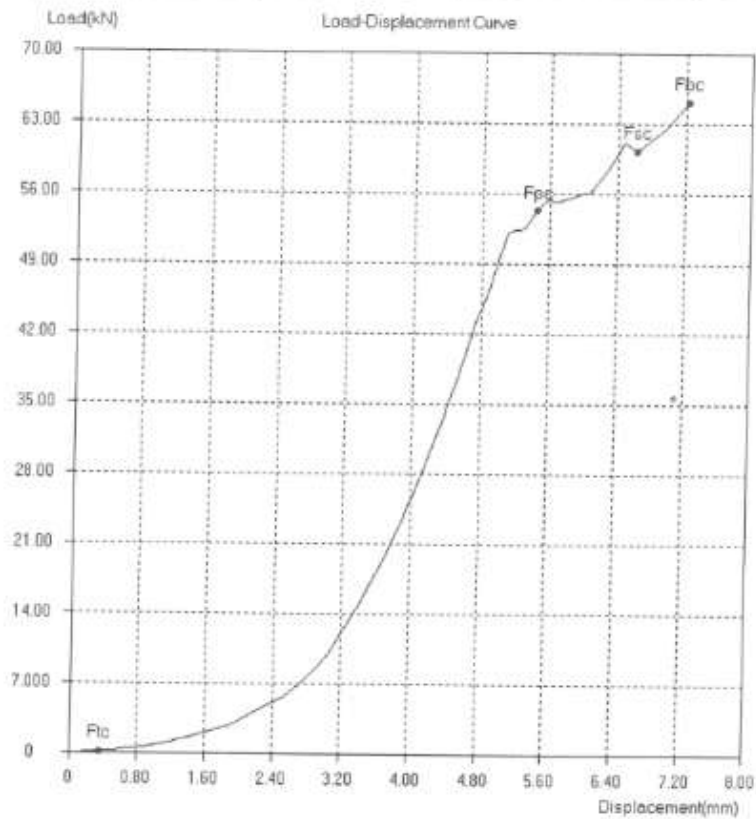
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-07	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Ciclo
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	65.20
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	54.37
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.14



DR. WILLIAM TABOADA

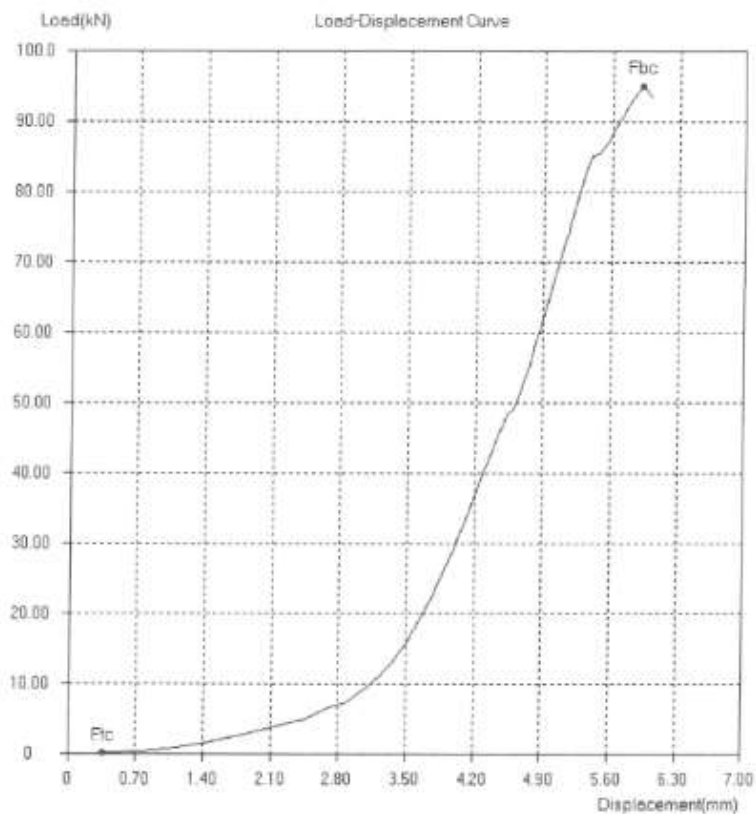
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-08	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	95.07
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.22



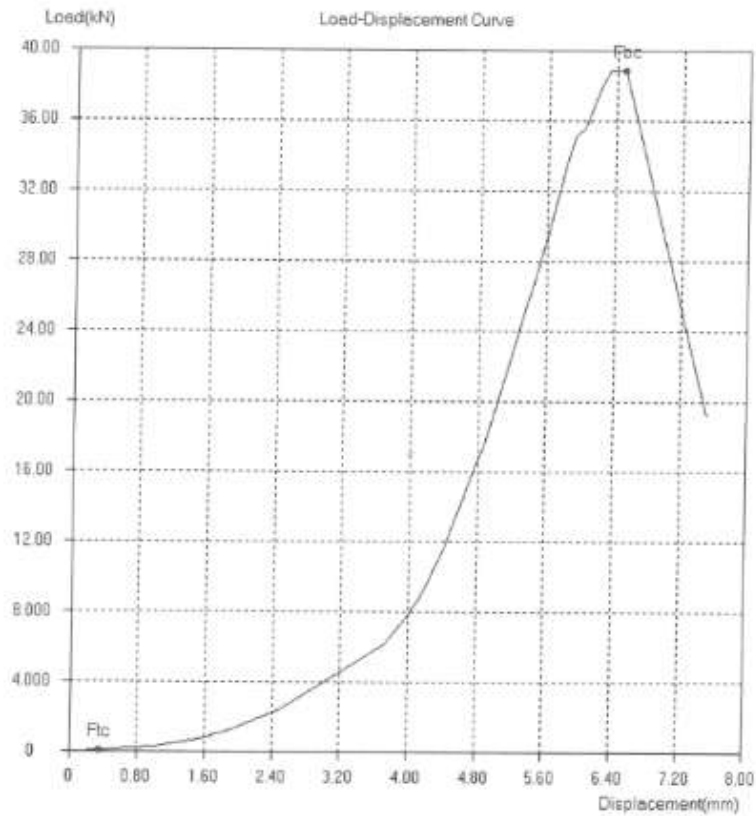
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-09	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	38.92
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	/
Rpc(MPa)	/	Ec(GPa)	0.09



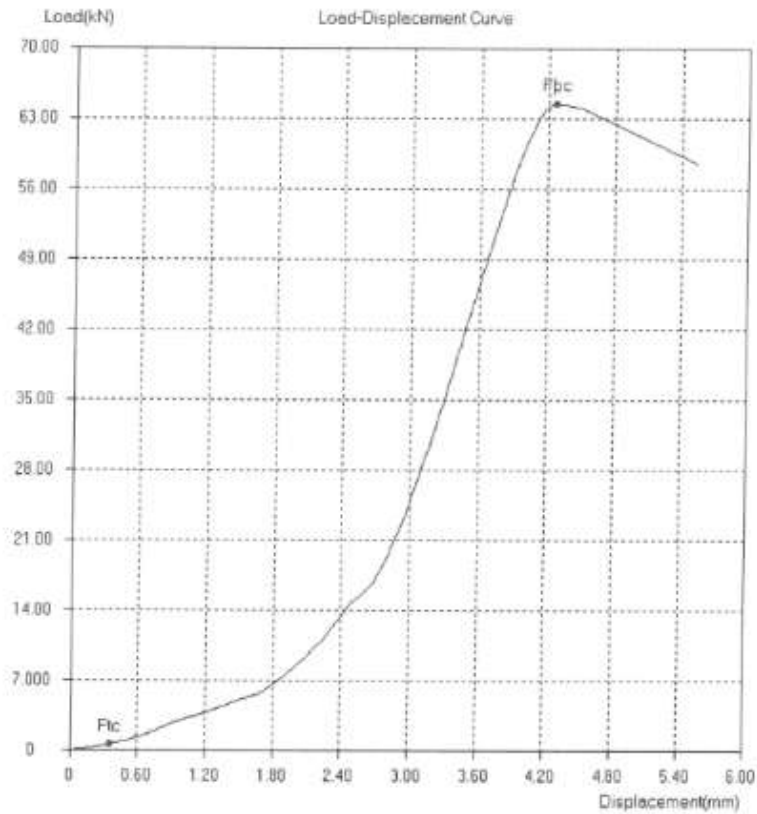
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-10	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	64.58
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	64.58
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.21



DR. WILLIAM TABOADA

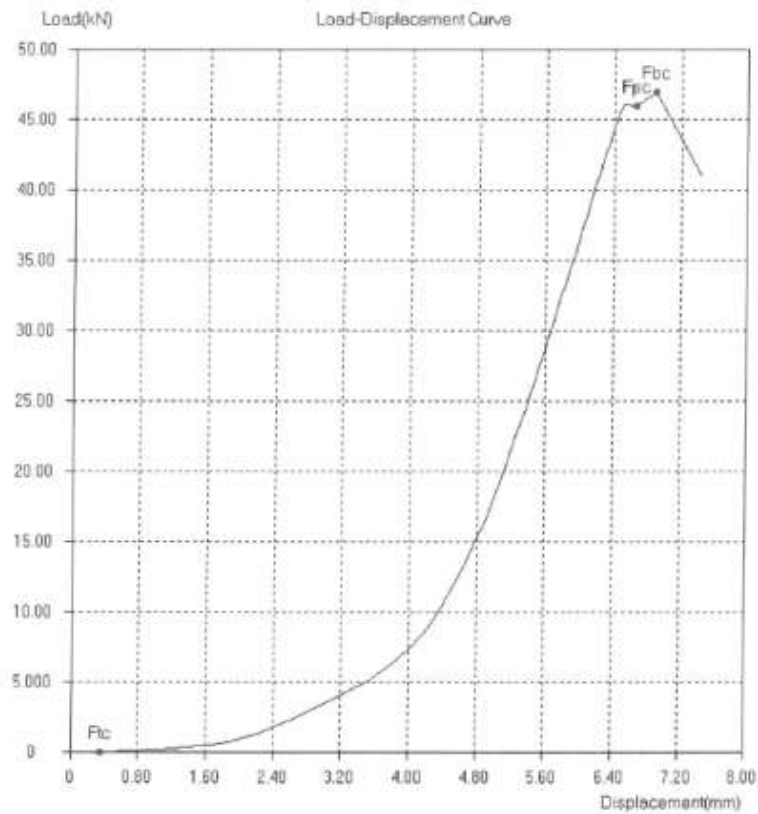
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP+CAL-11	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	Sc(mm ²)	7854.00
Lc(mm)	200	Fbc(kN)	47.02
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	46.01
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.11



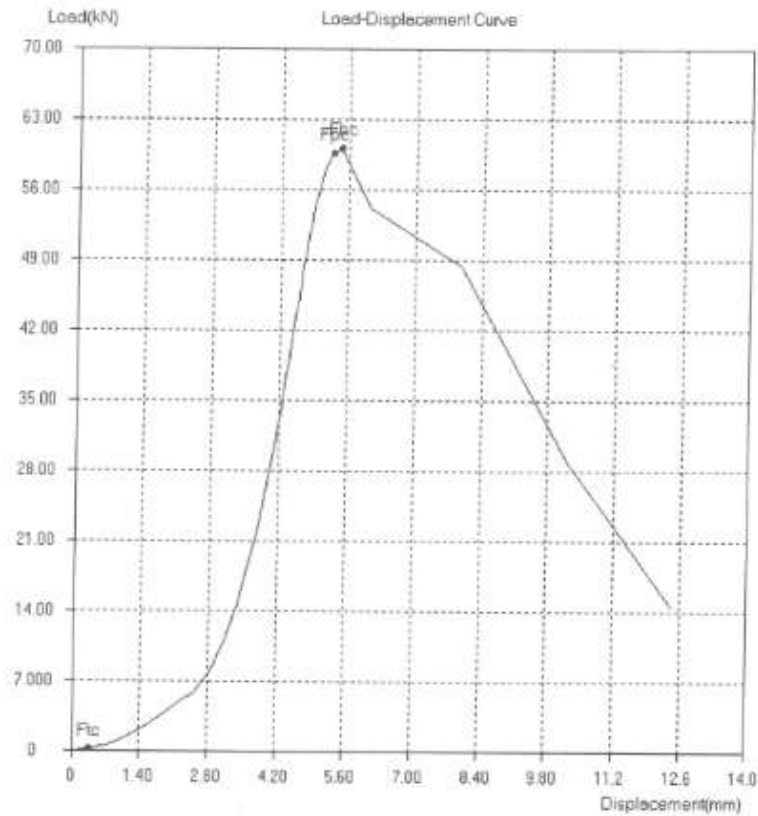
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP+CAL-12	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lc(mm)	200	Fbc(kN)	60.20
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	59.65
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.17



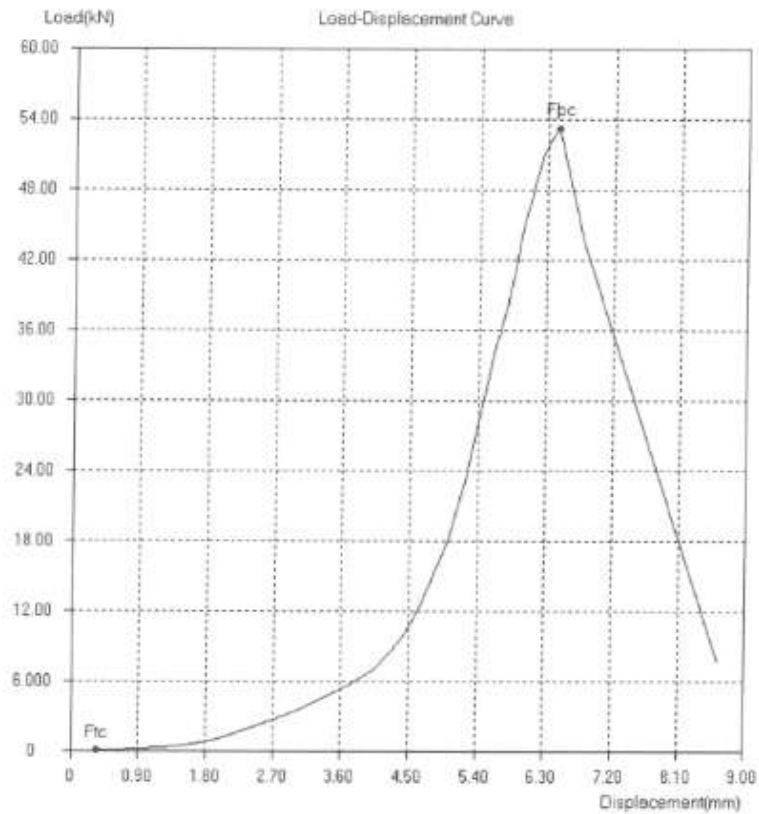
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP+CAL-13	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	53.28
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	53.28
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.17



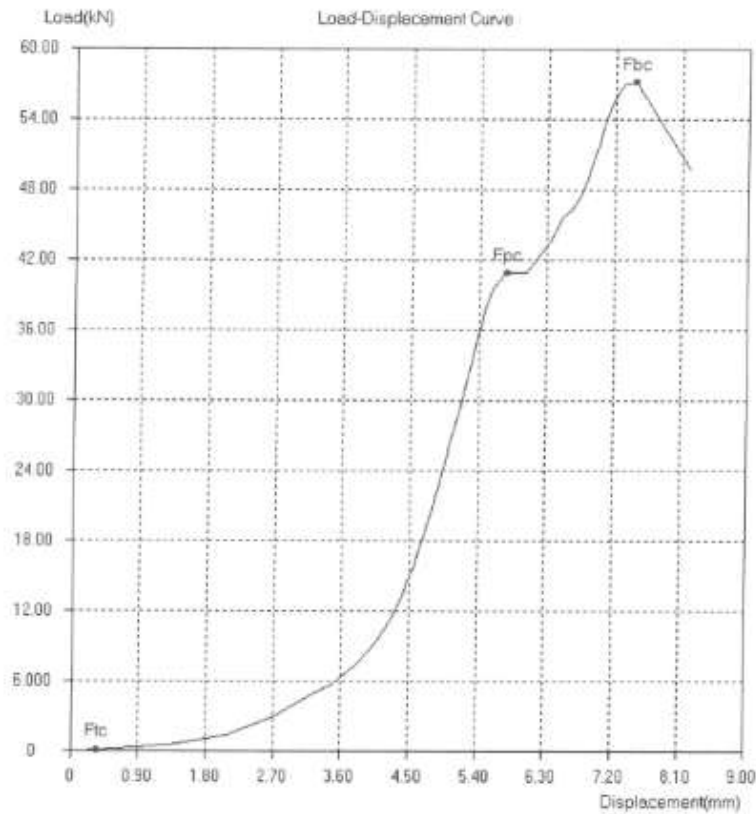
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-14	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	57.21
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	40.94
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.16



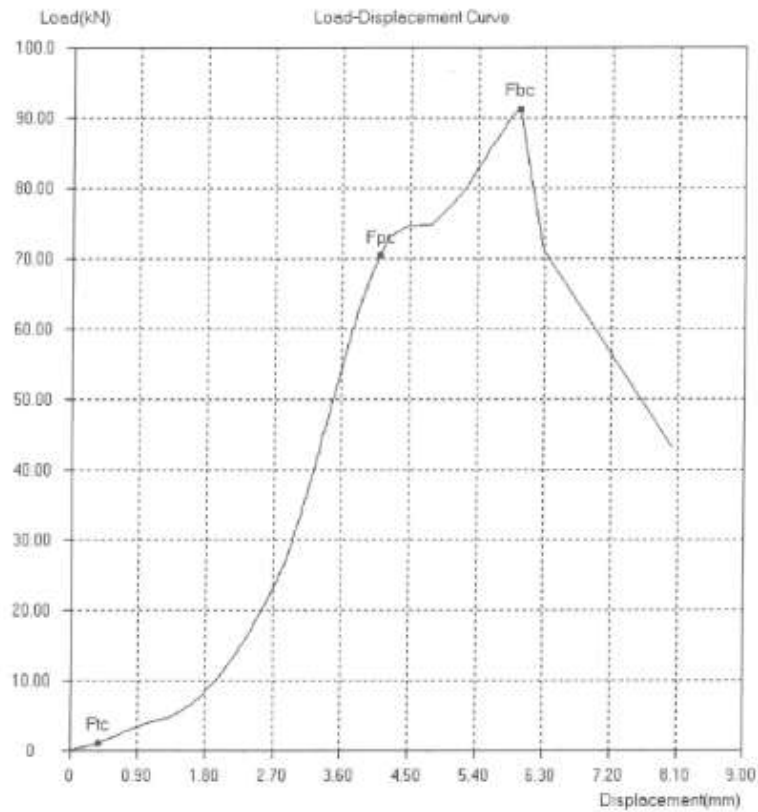
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	MP-CAL-15	TestDate	3/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	91.38
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	70.54
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.25



DR. WILLIAM TABOADA

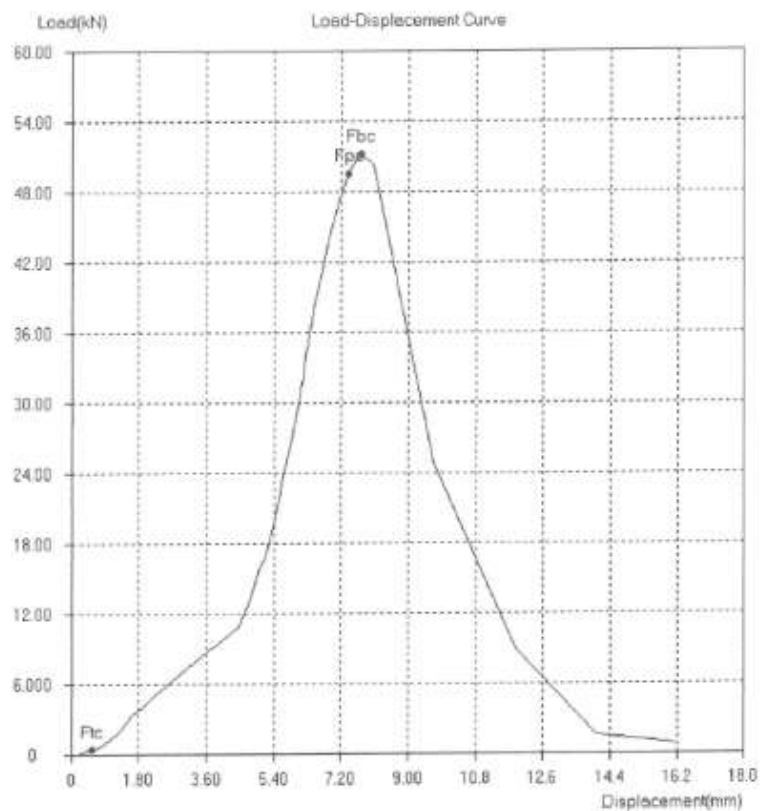
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-01	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	51.22
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	49.59
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.10



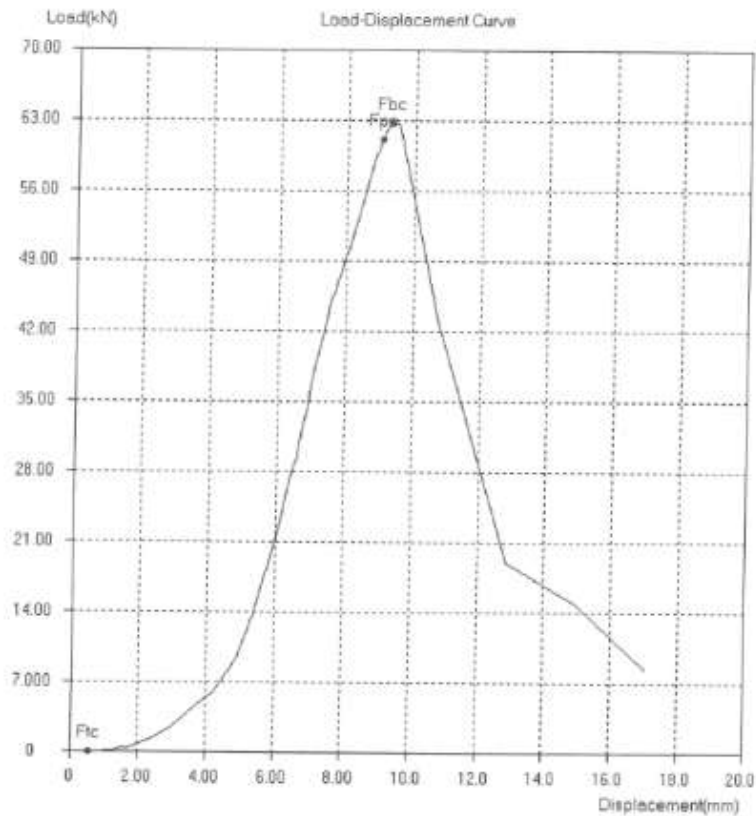
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-03	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	62.80
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	61.16
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.09



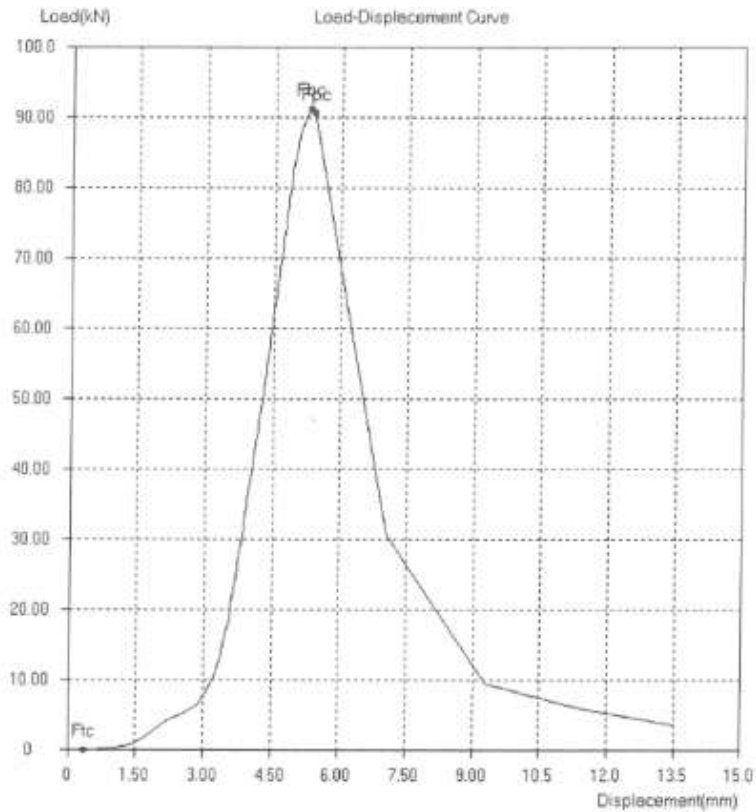
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-04	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	91.34
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	90.70
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.27



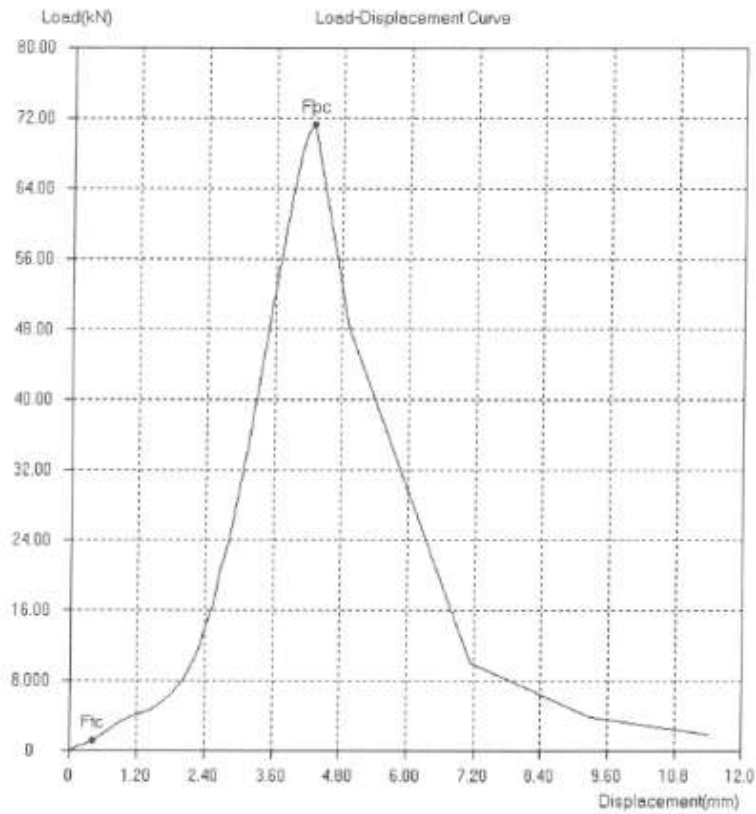
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%+CAL-06	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	71.30
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	71.30
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.21



DR. WILLIAM TABOADA

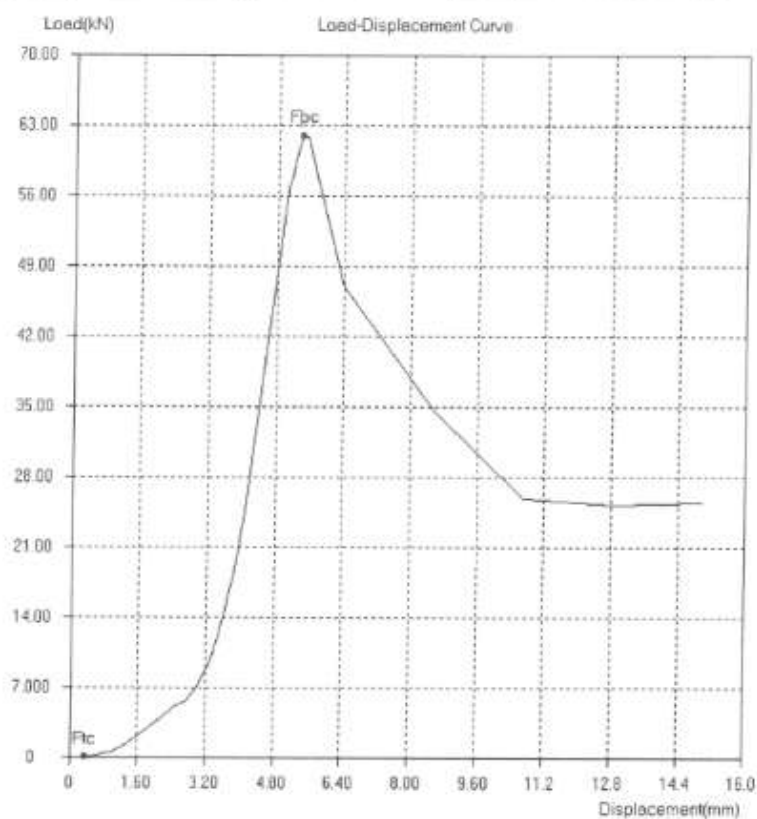
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%+CAL-07	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	62.04
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	62.04
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.19



DR. WILLIAM TABOADA

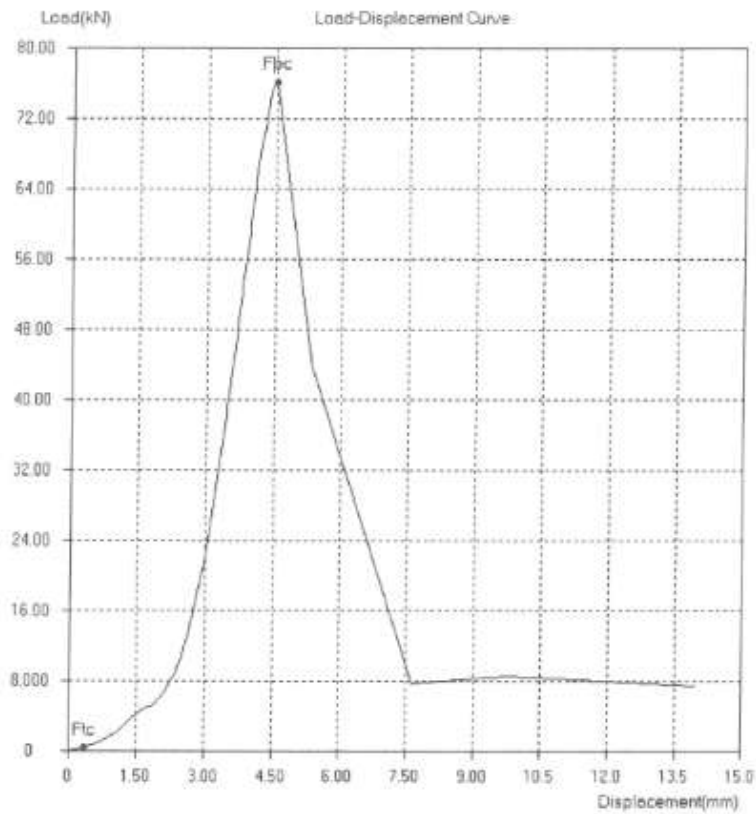
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%+CAL-08	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	76.26
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	76.26
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.24



DR. WILLIAM TABOADA

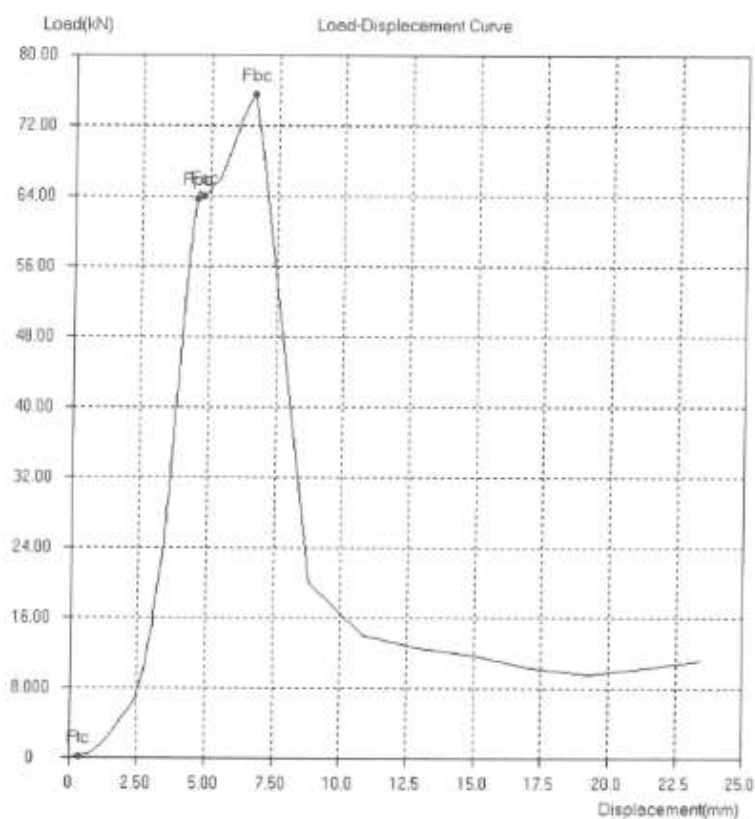
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-09	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	75.68
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	63.76
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.25



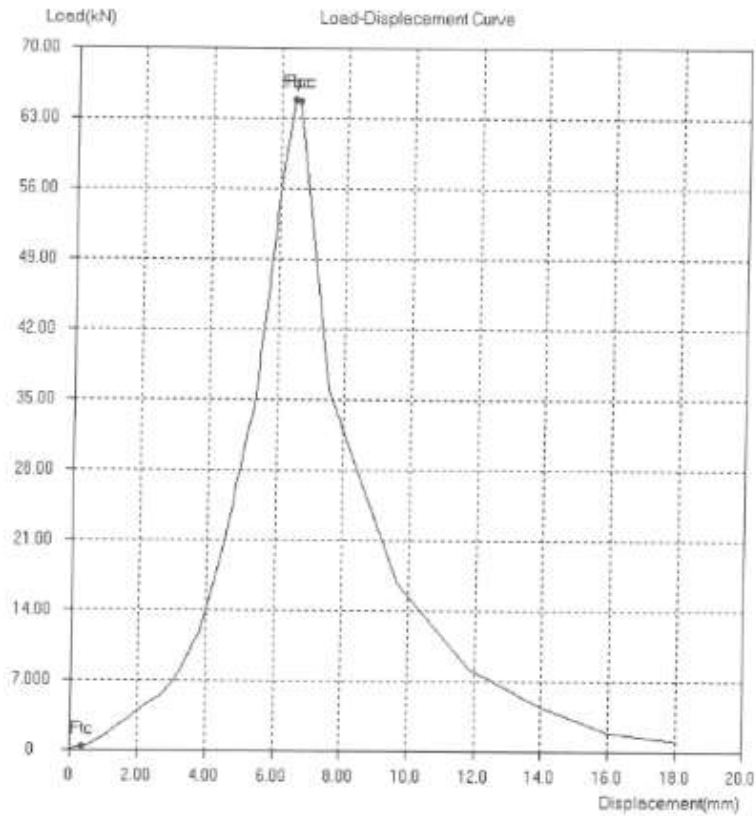
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%+CAL-10	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	F _{bc} (kN)	64.89
R _{bc} (MPa)	10	F _{pc} (kN)	64.78
R _{pc} (MPa)	10	E _c (GPa)	0.10



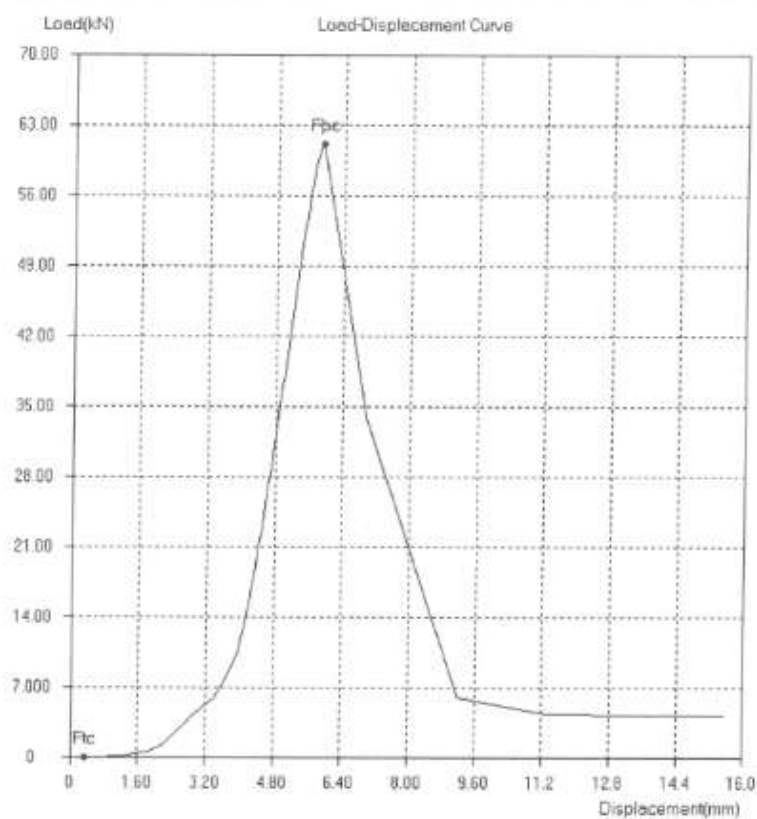
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-12	TestData	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	61.20
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	61.20
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.19



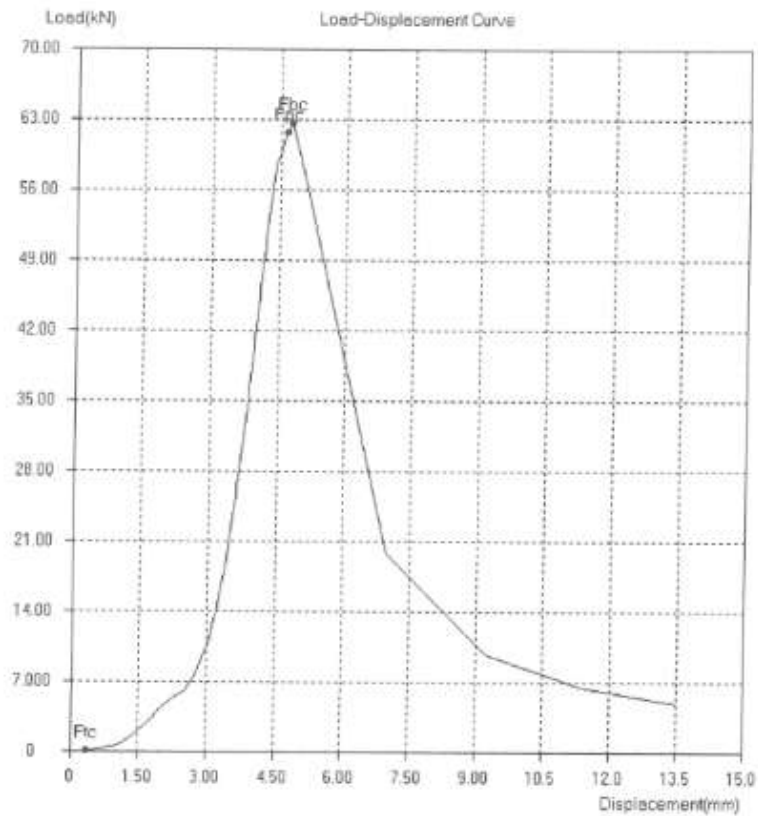
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%+CAL-13	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ³)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	62.65
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	61.75
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.24



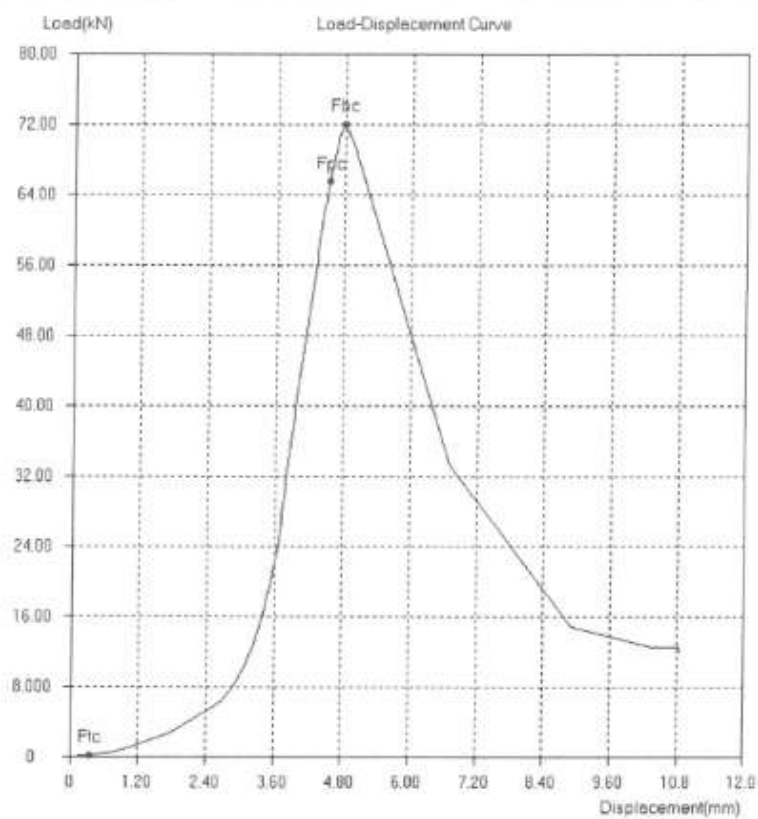
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-14	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	72.06
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	65.55
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.34



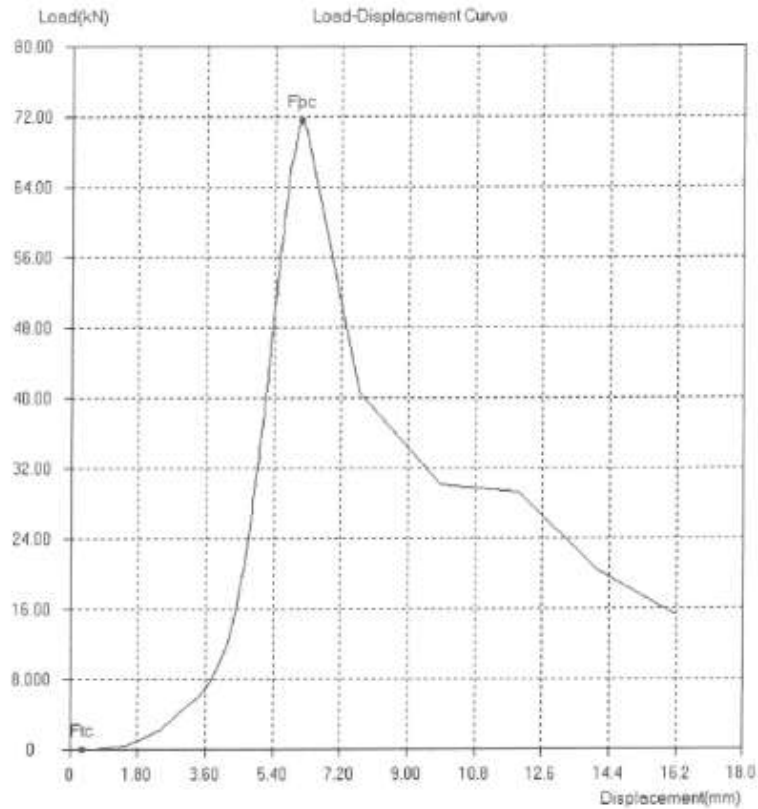
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	33%-CAL-15	TestDate	11/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Cirde
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	71.67
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	71.67
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.23



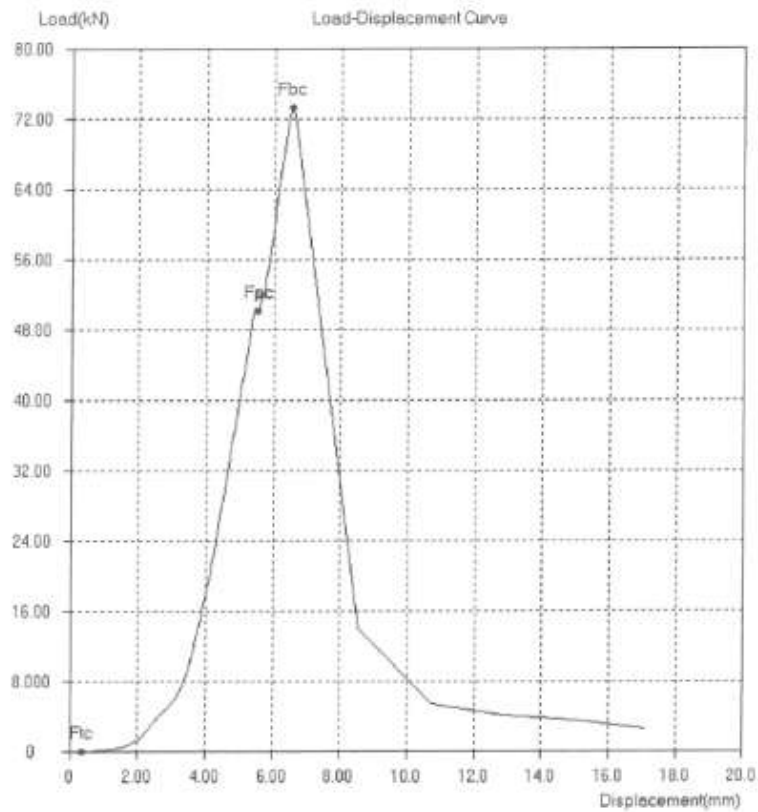
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-02	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	73.32
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	50.19
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.15



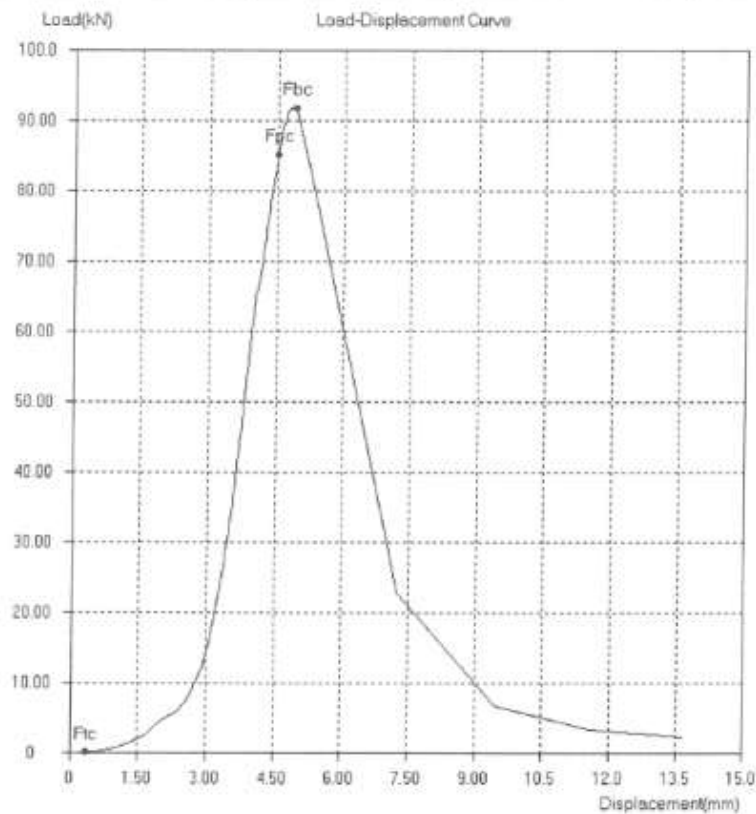
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-03	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	91.86
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	85.28
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.36



DR. WILLIAM TABOADA

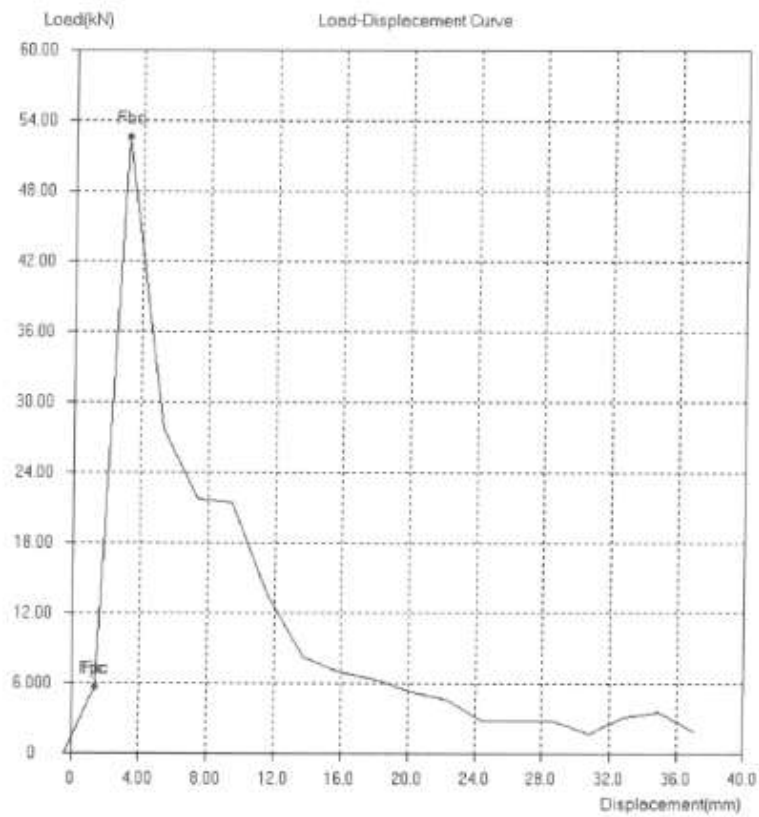
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-04	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	52.69
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	5.71
Rpc(MPa)	0	Ec(GPa)	/



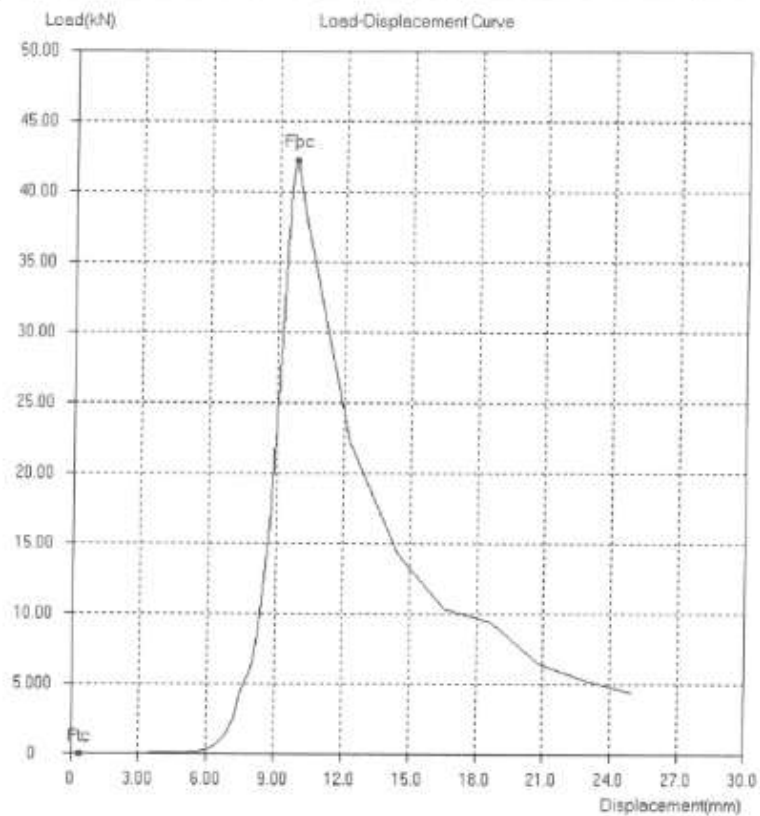
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-05	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	Sc(mm ²)	7654.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	42.26
Rbc(MPa)	5	Fpc(kN)	42.26
Rpc(MPa)	5	Ec(GPa)	0.15



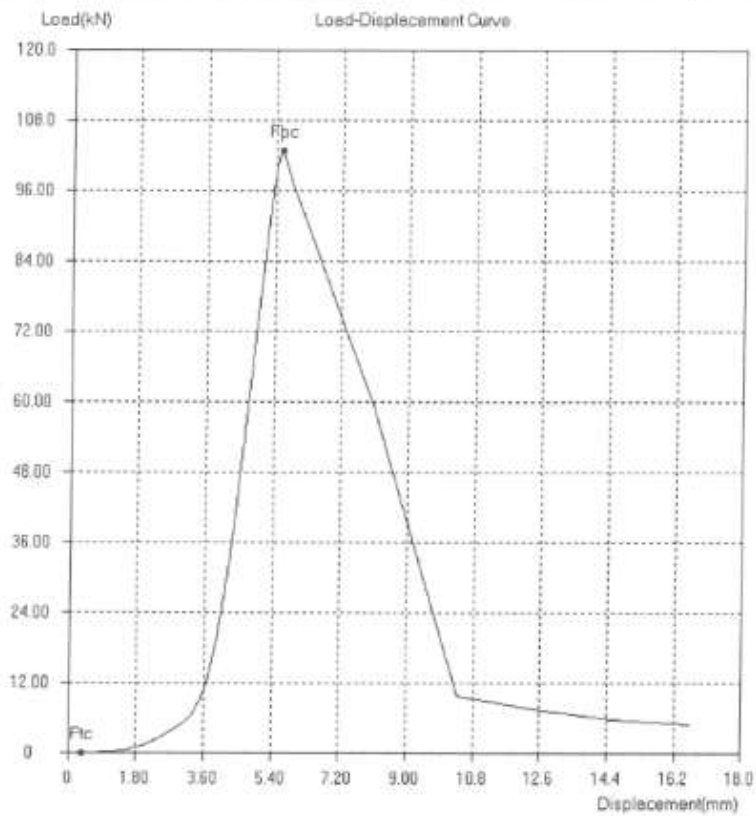
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-06	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	102.98
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	102.98
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.36



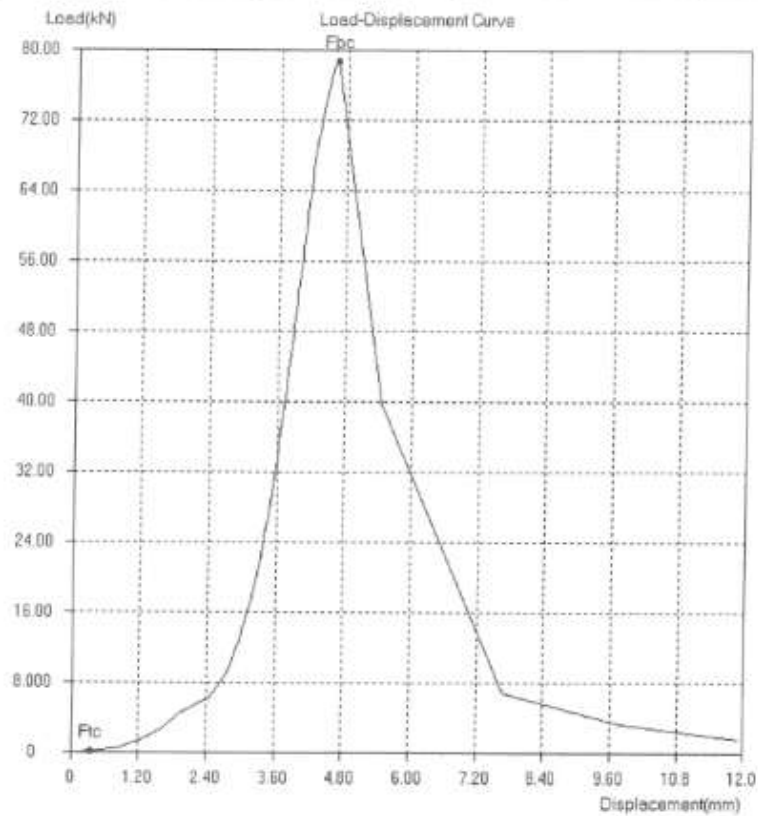
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-07	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	78.60
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	78.60
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.31



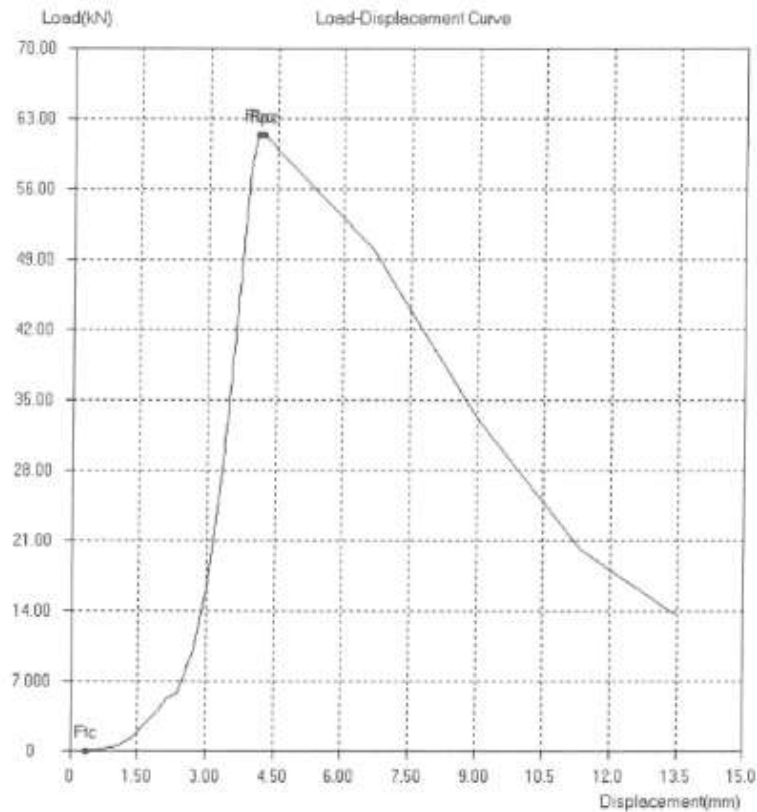
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-08	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	61.41
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	61.37
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.26



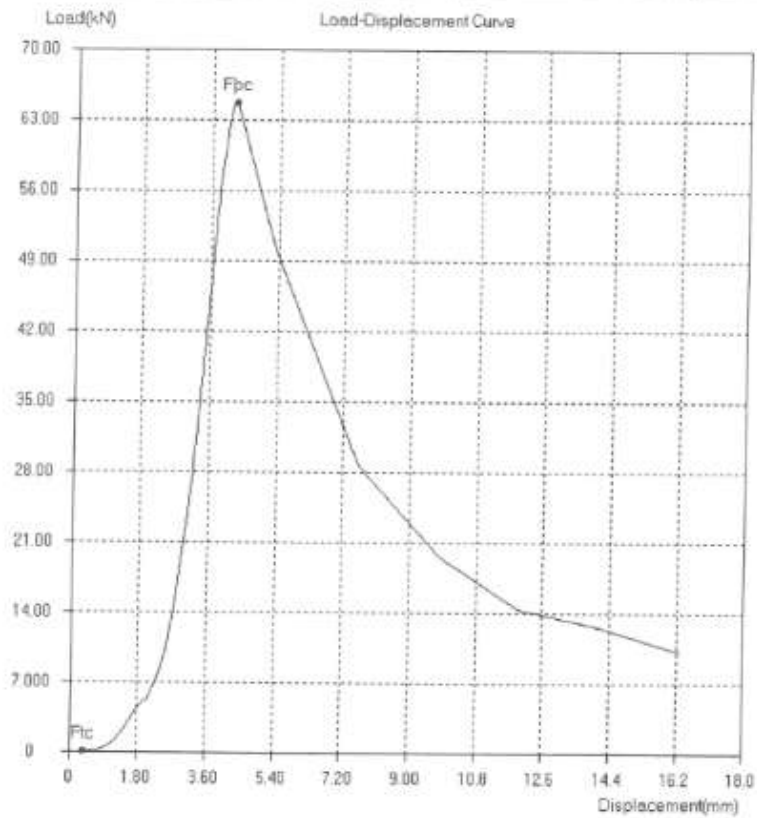
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%+CAL-10	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Cirde
Size(mm)	100	Sc(mm²)	7854.00
Lc(mm)	200	Fbc(kN)	64.73
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	64.73
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.25



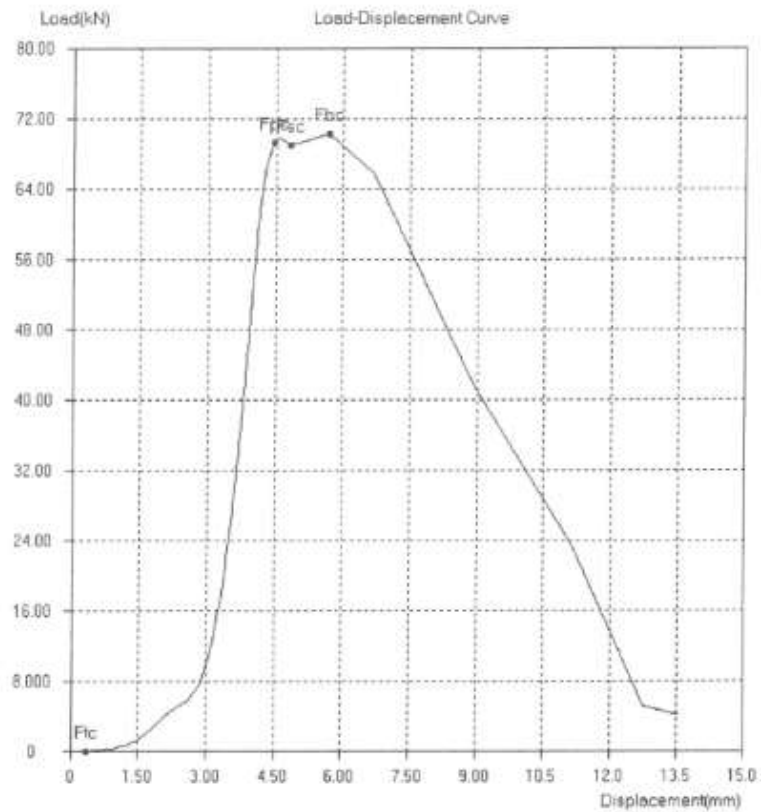
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	65%+CAL-11	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ³)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	70.32
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	69.40
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.32



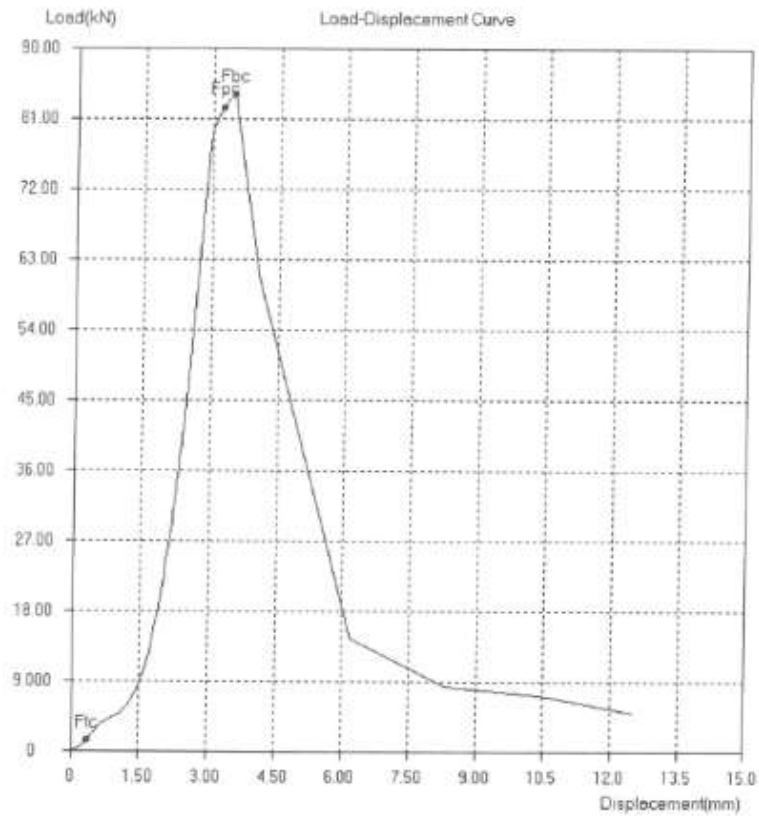
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-12	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lc(mm)	200	Fbc(kN)	84.19
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	82.54
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.35



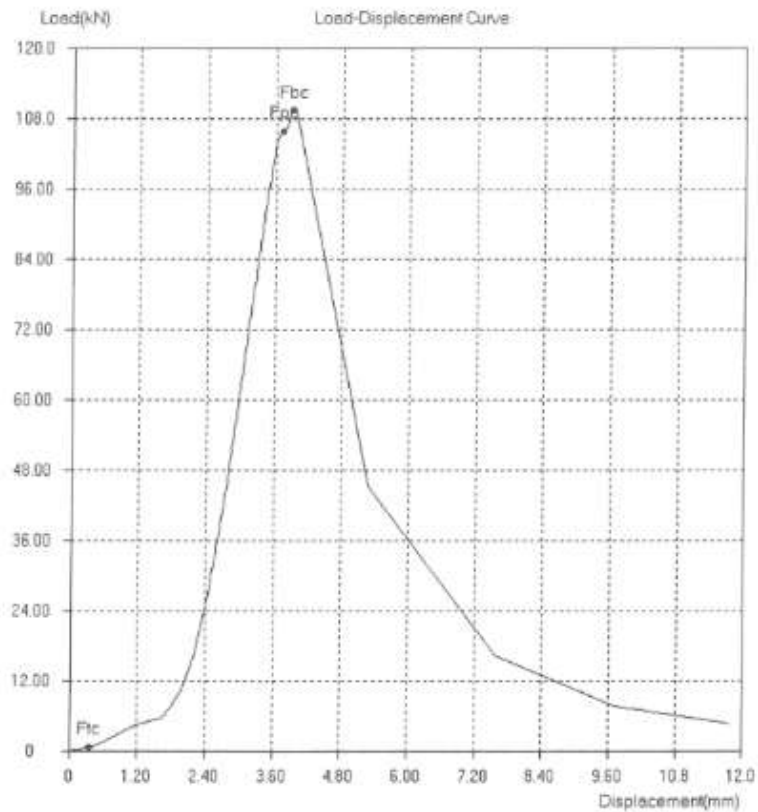
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%+CAL-13	TestDate	18/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	109.51
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	106.00
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.43



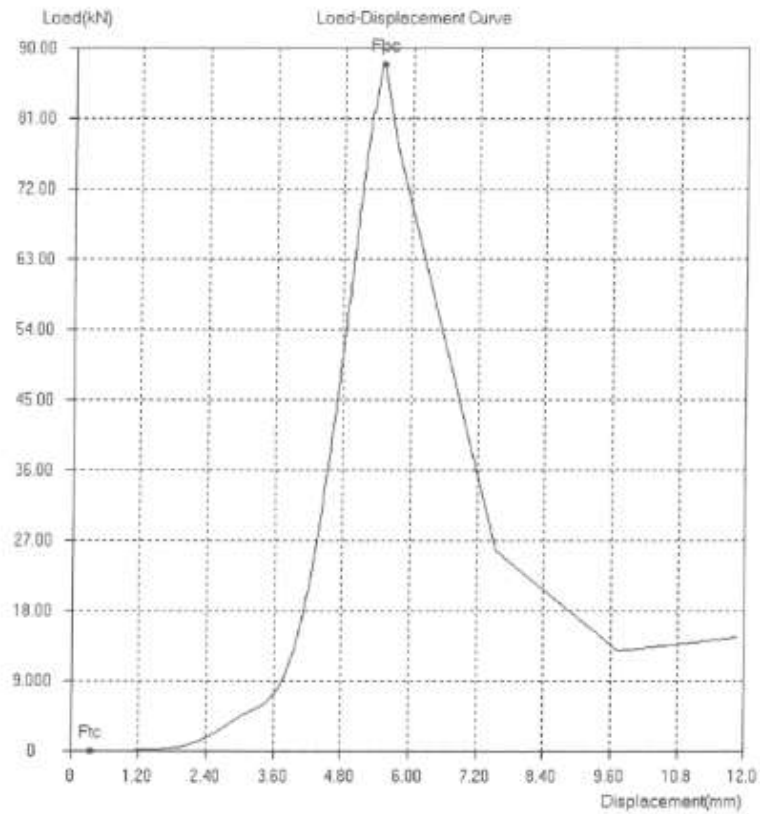
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-14	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	87.97
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	87.97
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.35



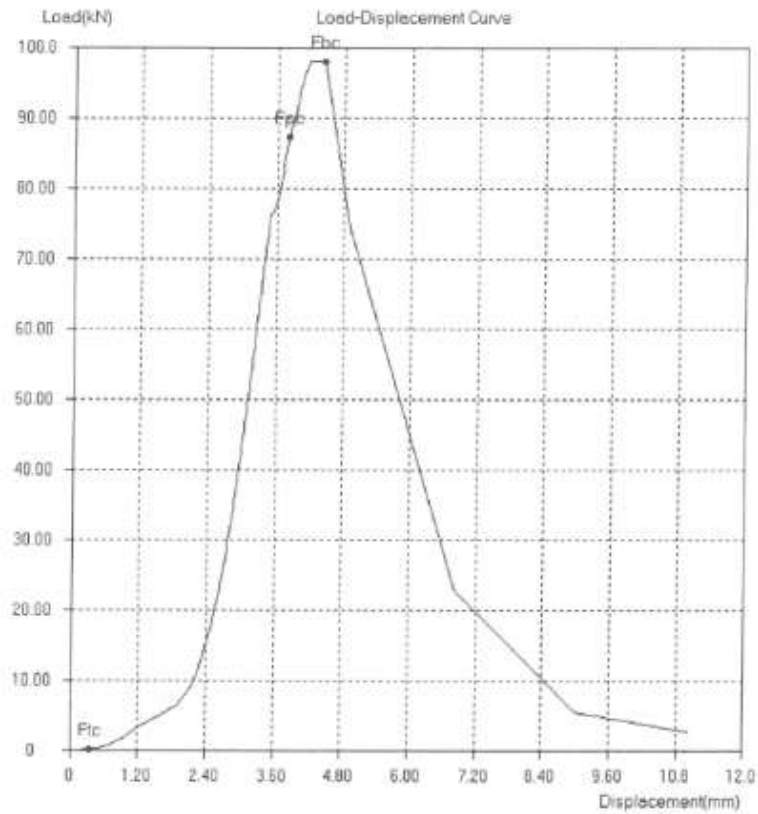
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	66%-CAL-15	TestDate	10/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	96.10
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	87.40
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.40



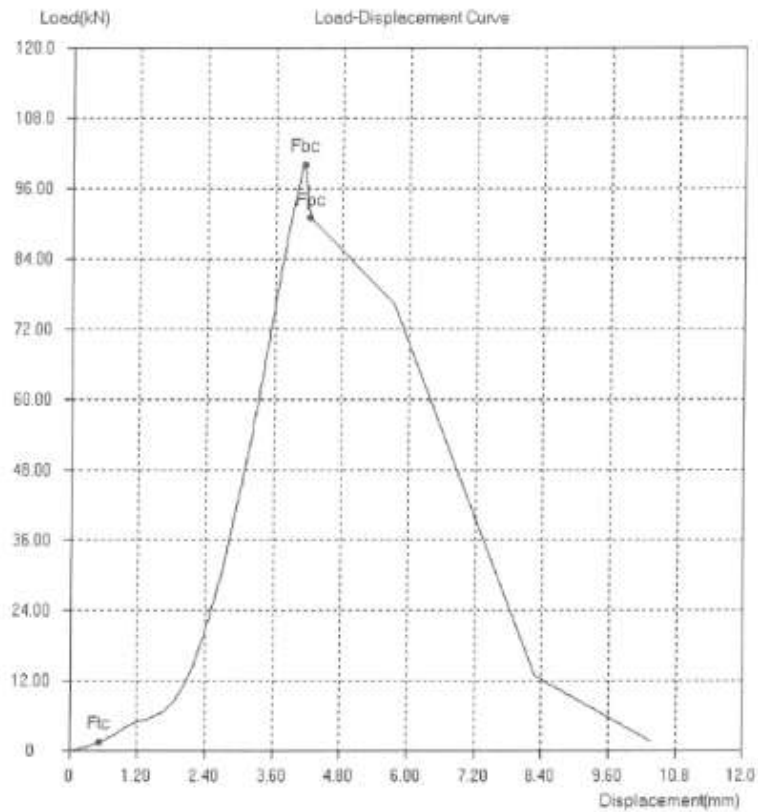
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100% • CAL-01	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Ciclo
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	100.15
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	91.09
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.29



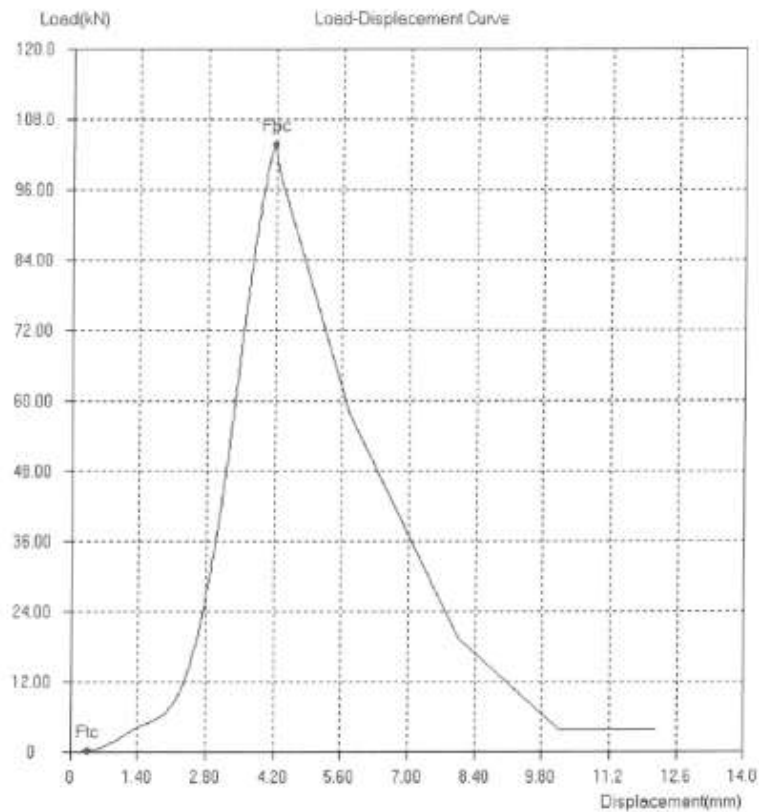
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-02	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	103.60
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	103.60
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.39



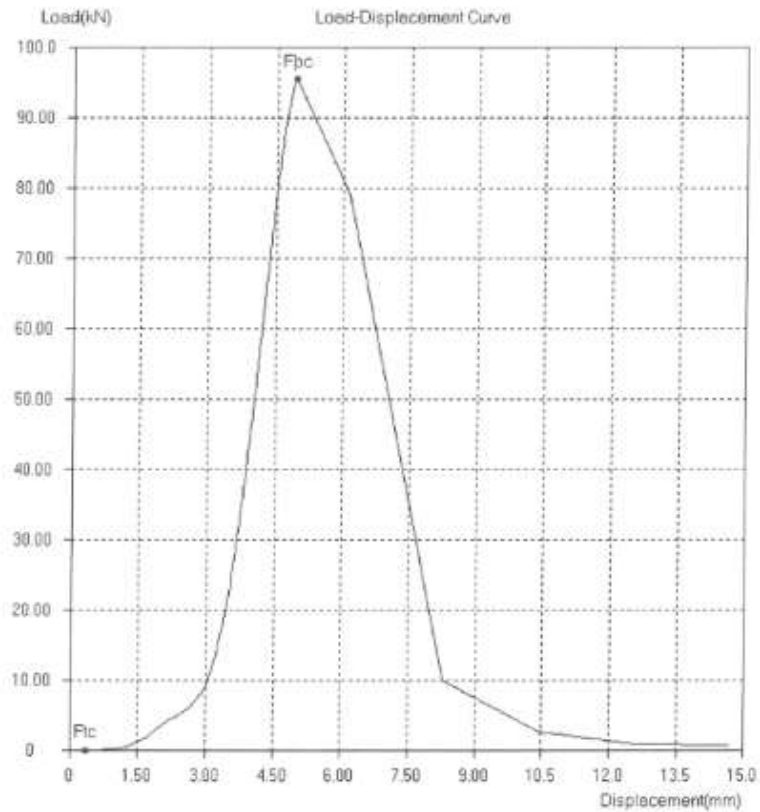
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-03	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	95.52
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	95.52
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.36



DR. WILLIAM TABOADA

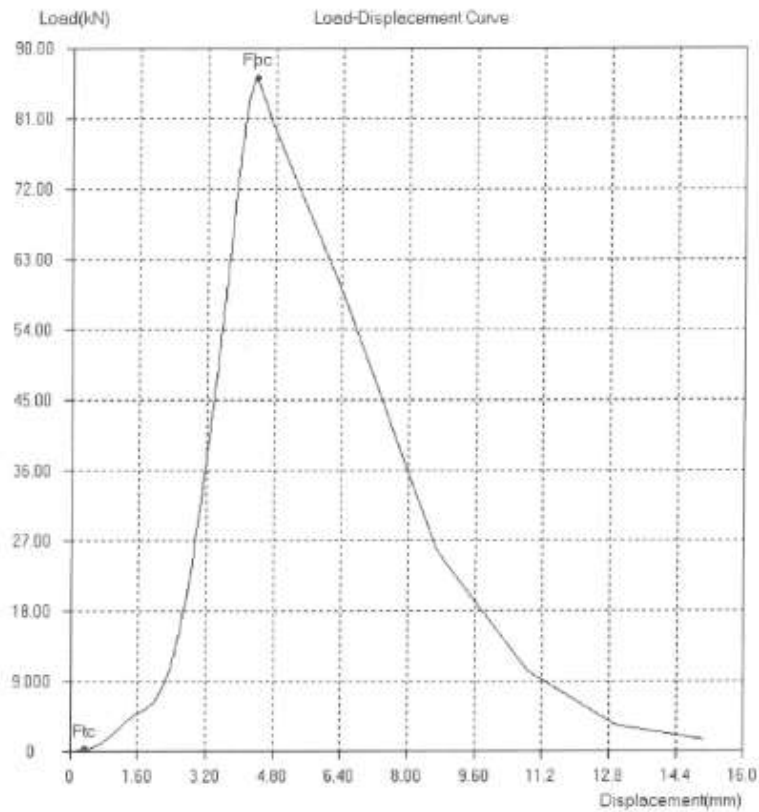
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-04	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	86.25
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	86.25
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.28



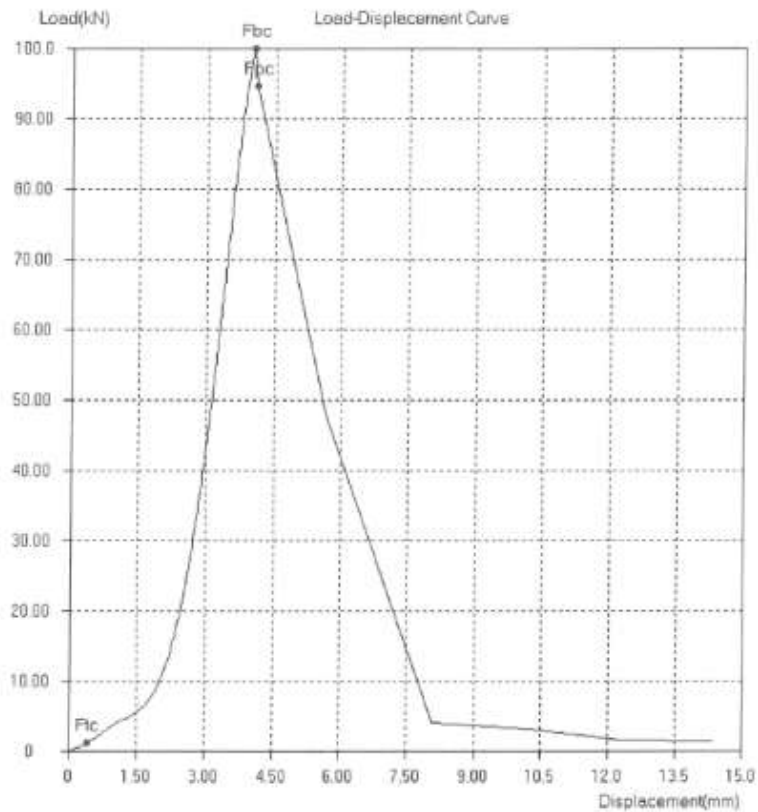
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-05	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	95.99
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	94.64
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.34



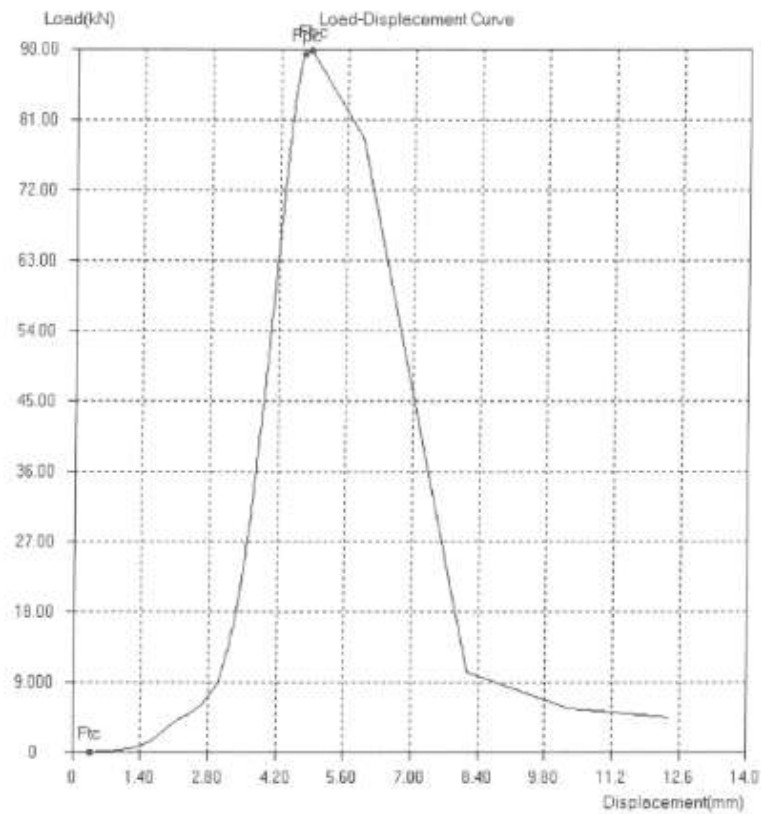
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-05	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	89.88
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	89.42
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.38



DR. WILLIAM TABOADA

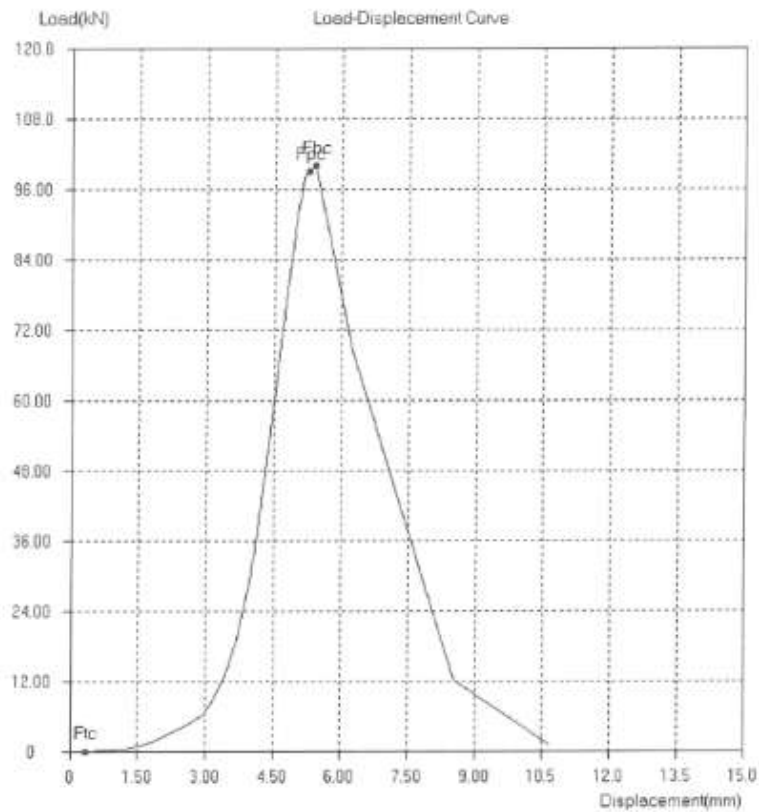
RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-07	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	100.06
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	98.99
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.38



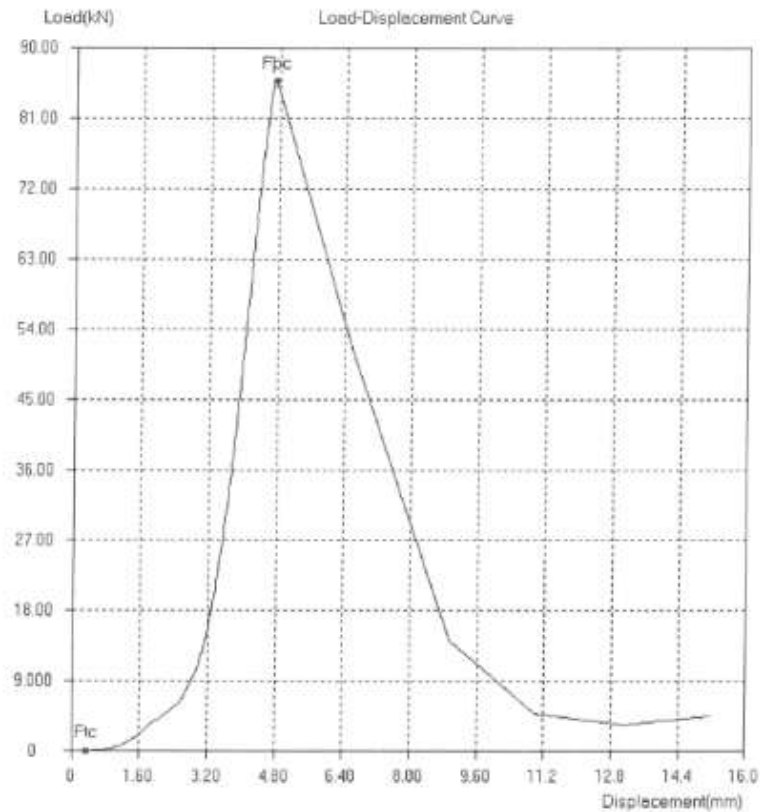
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-08	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Cilindrico
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	85.83
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	85.83
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.32



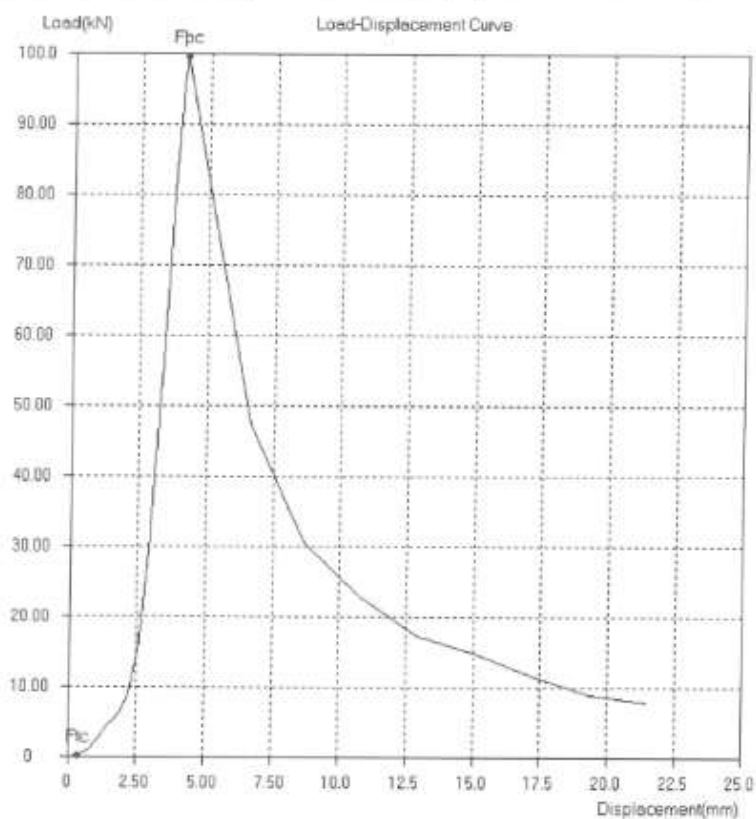
DR. WILLIAM TABOADA



RONALDO ROJAS CHAVEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-09	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	Sc(mm²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	99.68
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	99.68
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.37



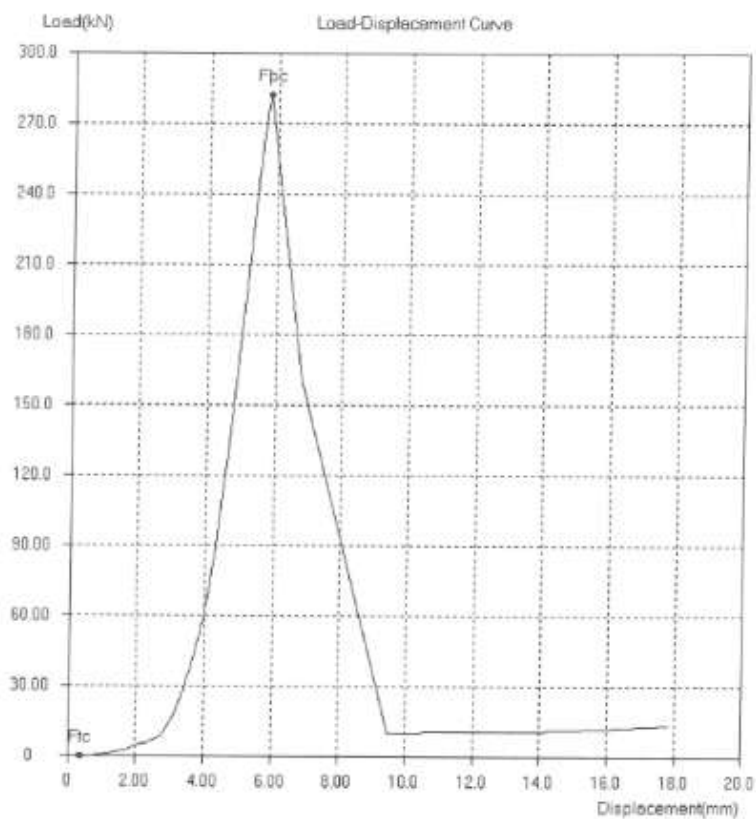
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-10	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	282.56
Rbc(MPa)	35	Fpc(kN)	282.56
Rpc(MPa)	35	Ec(GPa)	0.79



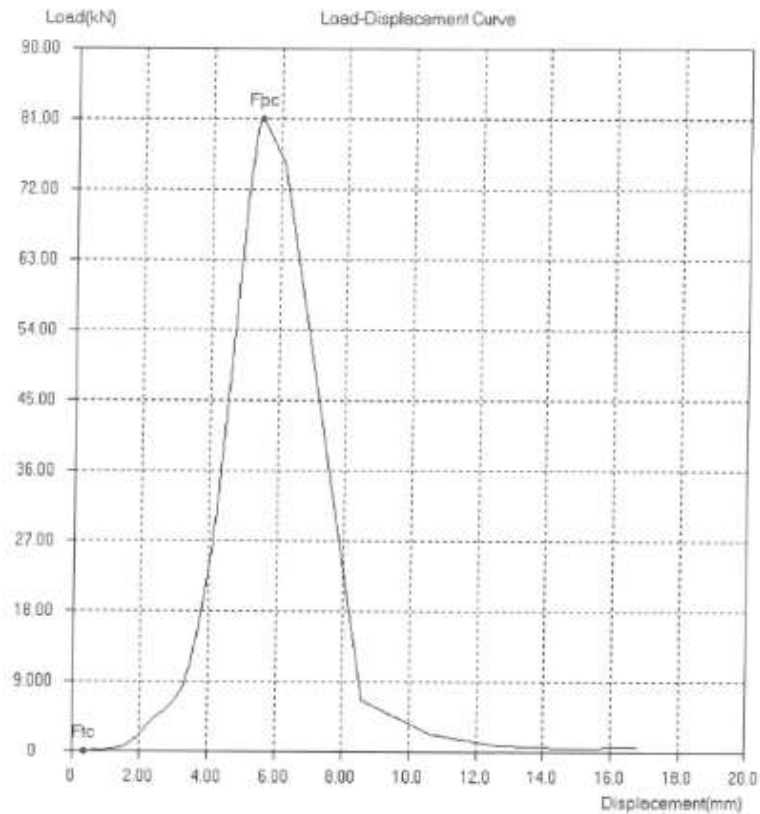
DR. WILLIAM TABOADA



RONALDO ROJAS CHAVEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-11	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	81.13
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	81.13
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.28



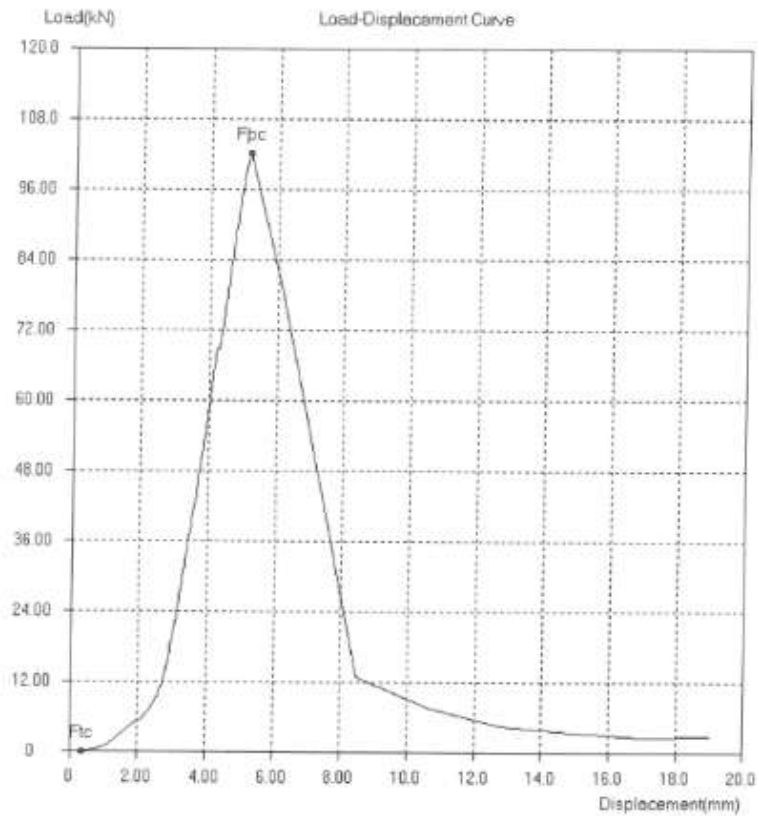
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-12	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	102.25
Rbc(MPa)	15	Fpc(kN)	102.25
Rpc(MPa)	15	Ec(GPa)	0.26



DR. WILLIAM TABOADA

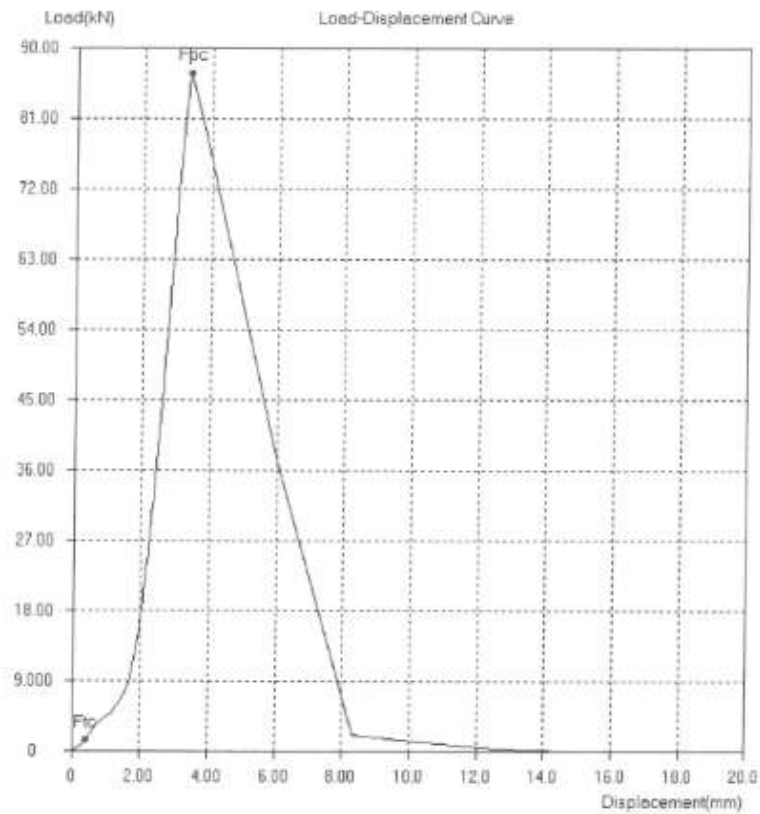


RONALDO ROJAS CHAVEZ

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%+CAL-13	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	86.62
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	86.62
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.34



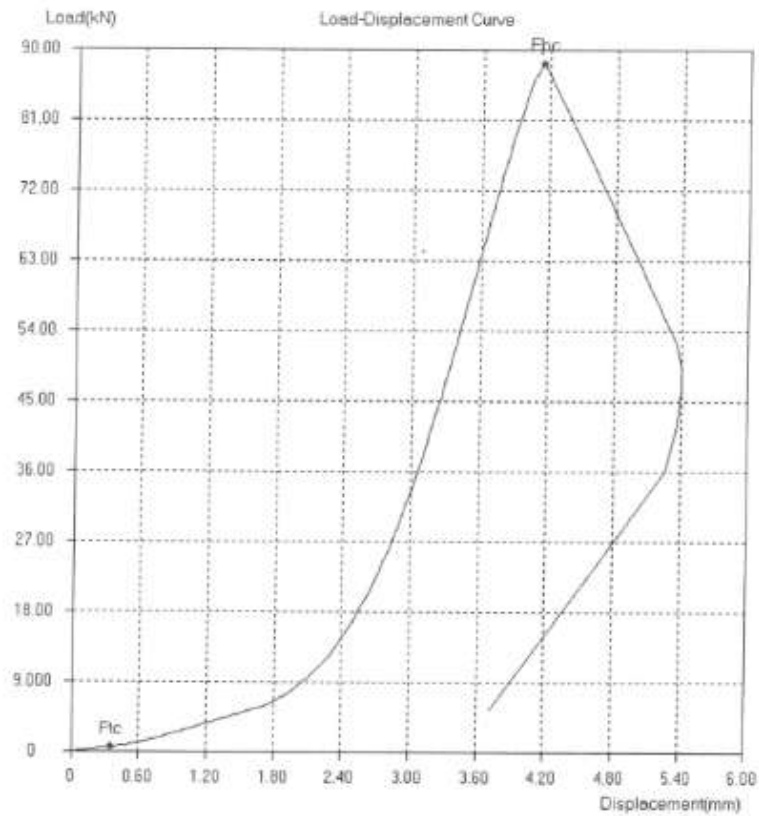
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%+CAL-14	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm ²)	7854.00
Lc(mm)	200	Fbc(kN)	88.29
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	88.29
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.30



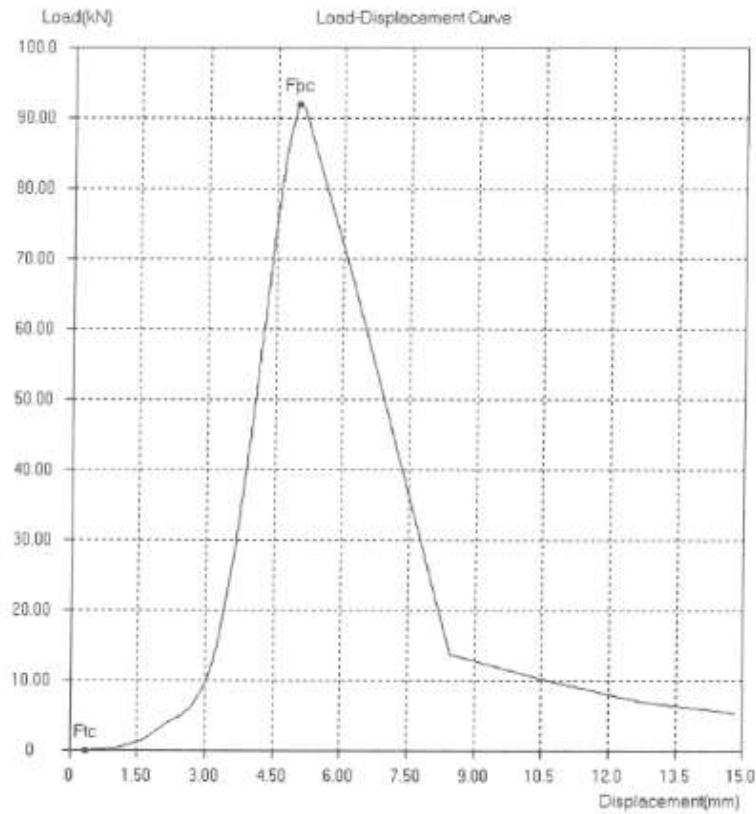
DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN
ENSAYO DE COMPRESION CILINDRICA

SampleID	100%-CAL-15	TestDate	16/12/2024
Operator	RONALDO	Type	Circle
Size(mm)	100	So(mm²)	7854.00
Lo(mm)	200	Fbc(kN)	92.08
Rbc(MPa)	10	Fpc(kN)	92.08
Rpc(MPa)	10	Ec(GPa)	0.32



DR. WILLIAM TABOADA

RONALDO ROJAS CHAVEZ



ANEXO 4

MAPA CANTERA FIGUEROA

Figura 32
Mapa de la Cantera Chancadora Figueroa



ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 33

Recolección de concreto reciclado de resistencias de 210 kg/cm² y 280 kg/cm²



Figura 34

Trituración de concreto reciclado en la chancadora de la cantera Figueroa.



Figura 35

Traslado de materiales desde la cantera Figueroa hasta el laboratorio de Geotecnia, Pavimentos y Ensayos de Materiales de la Universidad Hermilo Valdizan.



Figura 36

Ensayo de absorción y peso específico del agregado grueso natural.



Figura 37

Ensayo de absorción y peso específico del agregado fino.



Figura 38

Mezclado de materiales para el concreto patrón con el equipo de seguridad correspondiente.



Figura 39
Prueba de slump del concreto patrón



Figura 40
Trituración de la cal viva.



Figura 41
Curado de las muestras de concreto.



Figura 42
Ensayo de Resistencia a la Compresión realizado por el investigador



Figura 43

Muestras de cada grupo experimental analizadas en el laboratorio SEM.



Figura 44

Vista en el SEM

