

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota”**

Tesis para optar al título profesional de ingeniero civil

Línea de investigación:

Tecnología del concreto

Autor(es):

Edwin Omar Díaz Torres

Jólibert Jussef Rimarachín Delgado

Asesor:

Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León

Chota - Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
Creada por Ley N°29531, del 11 de mayo del 2010
Universidad Licenciada con Resolución N°160-2018-SUNEDU/CD



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Chota, 18 de septiembre de 2026

El que suscribe, Dr. Dante Hartman Cieza León, en calidad de Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado “Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota”, elaborado por los bachilleres Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, ha sido sometido a la verificación de originalidad mediante software antiplagio.

De acuerdo con los reportes revisados por la Unidad de Investigación, el documento presenta un índice de similitud general de 2 %. Asimismo, la verificación de escritura asistida por inteligencia artificial registra 20 %.

La presente constancia registra los resultados obtenidos en la verificación efectuada y se expide por la Unidad de Investigación para los fines académicos y administrativos que correspondan dentro del procedimiento de revisión del informe final de tesis.



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Dr. Dante Hartman Cieza León
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FCI-UNACH

Jólibert Jussef Rimarachín Delgado

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler ...

 Revisión de Similitud 1

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:624116942

Fecha de entrega

13 sept 2026, 22:26 GMT-5

Fecha de descarga

15 sept 2026, 15:59 GMT-5

Nombre del archivo

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitucióndocx

Tamaño del archivo

169.9 KB

101 páginas

24.144 palabras

131.268 caracteres

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 1% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	documentos.uru.edu	<1%
2	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%
3	Internet	www.slideshare.net	<1%
4	Internet	repositorio.unamad.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca on 2026-07-27	<1%
6	Trabajos del estudiante	D.A. de Ingeniería Civil on 2026-08-24	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
8	Internet	core.ac.uk	<1%
9	Internet	revistainvestigo.com	<1%
10	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-05-30	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru on 2026-05-05	<1%

12	Internet	
hdl.handle.net		<1%
13	Trabajos del estudiante	
uncedu on 2025-02-04		<1%
14	Trabajos del estudiante	
Docentes on 2026-07-10		<1%
15	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2016-07-26		<1%
16	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2026-01-27		<1%
17	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		<1%
18	Trabajos del estudiante	
Docentes on 2026-07-11		<1%
19	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-22		<1%
20	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional de Cajamarca on 2026-09-09		<1%
21	Trabajos del estudiante	
Universidad Tecnologica del Peru on 2026-07-12		<1%



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

Jólibert Jussef Rimarachín Delgado

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler ...

 Revisión de similitud 2

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:624115920

Fecha de entrega

13 sept 2026, 22:23 GMT-5

Fecha de descarga

15 sept 2026, 16:01 GMT-5

Nombre del archivo

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitucióndocx

Tamaño del archivo

169.1 KB

66 páginas

17.373 palabras

89.167 caracteres

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 16 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 1% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante	
Agrupación Marista Ecuatoriana on 2016-04-04		<1%
2	Trabajos del estudiante	
Ingeniería on 2026-08-08		<1%
3	Trabajos del estudiante	
Universidad de Málaga on 2026-06-09		<1%
4	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-27		<1%
5	Trabajos del estudiante	
uncedu on 2025-08-29		<1%
6	Trabajos del estudiante	
RMIT University on 2026-06-10		<1%
7	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-09		<1%
8	Trabajos del estudiante	
Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-13		<1%
9	Internet	
repositorio.upeu.edu.pe		<1%
10	Trabajos del estudiante	
unasam on 2025-08-05		<1%
11	Publicación	
Johnny Alor, Juan Alfaro, José Rodríguez, Carlos Eyzaguirre. "Use of Metal-mechan...		<1%

12	Trabajos del estudiante Universidad Cesar Vallejo on 2022-07-26	<1%
13	Trabajos del estudiante Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-15	<1%
14	Trabajos del estudiante Universidad Cesar Vallejo on 2026-07-30	<1%



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

Jólibert Jussef Rimarachín Delgado

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler ...

 Revisión de Similitud 1

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:624116942

Fecha de entrega

13 sept 2026, 22:26 GMT-5

Fecha de descarga

15 sept 2026, 16:11 GMT-5

Nombre del archivo

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitucióndocx

Tamaño del archivo

169.9 KB

101 páginas

24.144 palabras

131.268 caracteres

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CiP 181947

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

Jólibert Jussef Rimarachín Delgado

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler ...

 Revisión de similitud 2

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:624115920

Fecha de entrega

13 sept 2026, 22:23 GMT-5

Fecha de descarga

15 sept 2026, 16:09 GMT-5

Nombre del archivo

Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitucióndocx

Tamaño del archivo

169.1 KB

66 páginas

17.373 palabras

89.167 caracteres

20 % detectado como IA

El porcentaje indica la cantidad de texto calificado en la entrega que probablemente se generó usando IA.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.



33 Sólo generado con IA 20 %

Texto generado probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 09:00 a.m. del día miércoles 23 de setiembre, reunidos en los ambientes de la sala de Incuba-UNACH segundo piso del local administrativo, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: **Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado** denominada: "Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto F'C = 210 kg/cm² mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota"; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado

CON EL CALIFICATIVO (*)

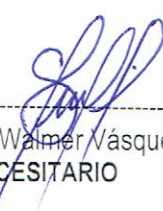
15 (Quince)

En consecuencia, se les declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al decano de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 23 de setiembre del 2026.


Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
PRESIDENTE


Mg. Nelve Núñez Bustamante
SECRETARIO


Dr. Elmer Walmer Vásquez Bustamante
ACCESITARIO


Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: **“Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto F'C = 210 kg/cm² mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota”** presentado por los bachilleres **Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado**, sustentada el día 23 de setiembre, según Resolución de Decanato N°073-2026-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 28 de setiembre de 2026.

Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
PRESIDENTE

Mg. Nelve Núñez Bustamante
SECRETARIO

Dr. Elmer Walmer Vásquez Bustamante
ACCESITARIO

Dr. Dante Hartman Cieza León
ASESOR

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'C = 210 \text{ KG/CM}^2$
MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO
POR FILLER CALIZO, CHOTA**

POR:

EDWIN OMAR DÍAZ TORRES

JÓLIBERT JUSSEF RIMARACHÍN DELGADO

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título de
INGENIERO CIVIL**

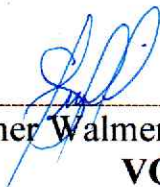
APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



**Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
PRESIDENTE**



**Mg. Nelve Núñez Bustamante
SECRETARIO**



**Dr. Elmer Walmer Vázquez Bustamante
VOCAL**

DEDICATORIA

En primer lugar, dedicamos esta investigación a Dios, quien es la fuente inagotable de nuestra sabiduría, fortaleza y guía permanente en cada paso de nuestro camino.

A nuestros padres, verdaderos cimientos de nuestra formación y faros incansables de perseverancia, por su amor incondicional, su entrega total y sacrificio inquebrantable, quienes, con su ejemplo cotidiano, nos inspiran a perseguir, luchar y conquistar nuestros sueños más anhelados.

A nuestros hermanos, cómplices de sueños y creadores de recuerdos imborrables, por su apoyo incondicional y aliento permanente y por enseñarnos, cada día, el valor del esfuerzo, la superación y la unión fraternal, sus consejos, palabras de aliento y gestos de complicidad han sido el impulso fundamental que nos ha llevado siempre hacia adelante.

A nuestros amigos, cuya amistad sincera y apoyo inquebrantable han sido refugio y alegría en el camino, por estar presentes en cada momento importante, compartiendo alegrías y desafíos, y por caminar a nuestro lado en cada etapa de la vida, construyendo juntos recuerdos imborrables y fortaleciéndonos con su cariño.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a Dios, por guiarnos y brindarnos la fortaleza, salud y perseverancia necesarias para culminar esta etapa académica y desarrollar la presente investigación.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por contribuir a nuestra formación profesional y por brindarnos los conocimientos técnicos y científicos que hicieron posible la ejecución de este trabajo.

De manera especial, agradecemos a nuestro asesor, Dr. Ing. Dante Hartman Cieza León, por su orientación, exigencia académica y acompañamiento durante el desarrollo de la tesis. Sus aportes fueron fundamentales para mejorar el enfoque metodológico, el análisis de resultados y la calidad técnica de la investigación.

A los responsables y personal del Laboratorio GSE Ingeniería y Construcción S.A.C., por las facilidades brindadas para la elaboración, curado y ensayo de las probetas de concreto. Asimismo, agradecemos al laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB Perú), por el apoyo en la caracterización mineralógica del filler calizo mediante difracción de rayos X.

A los propietarios y trabajadores de las canteras El Arenal, Conchán, y Chuyabamba, por permitirnos obtener los materiales empleados en la investigación y por su disposición durante el proceso de recolección de muestras.

Finalmente, agradecemos a nuestros padres, familiares y amistades, quienes nos acompañaron con su apoyo moral, comprensión y motivación permanente. Su respaldo fue esencial para superar las dificultades propias del proceso investigativo y alcanzar este logro profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Justificación	21
1.2.1. Justificación Teórica y Metodológica	21
1.2.2. Justificación Práctica.	22
1.2.3. Justificación social	23
1.2.4. Delimitación de la investigación.....	24
1.3. Formulación del problema	26
1.3.1. Problema general	26
1.3.2. Problemas específicos.....	26
1.4. Objetivos	27
1.4.1. Objetivo general.....	27
1.4.2. Objetivos específicos	27
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	28
2.1. Antecedentes	28
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	28
2.1.2. Antecedentes nacionales	31
2.1.3. Antecedentes regionales.....	33
2.2. Bases teóricas.....	35
2.2.1. El concreto en función en la construcción estructural.	35
2.2.2. Proceso de hidratación del cemento Portland	38
2.2.3. Creación de productos de hidratación (C-S-H, CH, ettringita).....	39

2.2.4. Papel de las partículas finas en la hidratación del cemento	40
2.2.5. El filler calizo como adición mineral.....	42
2.2.6. Influencia del filler calizo en el concreto.....	46
2.2.7. Sostenibilidad entre el filler calizo y el concreto.....	48
2.2.8. Usos de filler calizo	48
2.3. Definiciones conceptuales.....	49
2.3.1. Concreto.....	49
2.3.2. Filler calizo	61
2.3.3. Tamaño de partícula.....	61
2.3.4. Sustitución parcial de cemento	62
2.3.5. Difracción de rayos X (DRX).	62
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	63
3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación.....	63
3.1.1. Tipo de investigación.....	63
3.1.2. Diseño de investigación	65
3.1.3. Métodos de investigación	68
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis	68
3.2.1. Ubicación	68
3.2.2. Población.....	69
3.2.3. Muestra	69
3.2.4. Muestreo	72
3.2.5. Unidad de análisis y unidad de observación	73

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	74
3.3.1. Técnicas	74
3.3.2. Instrumentos.....	76
3.4. Hipótesis.....	78
3.4.1. Hipótesis general.....	78
3.4.2. Hipótesis específicas	78
3.5. Operacionalización de variables.....	79
3.5.1. Variable independiente 1: Sustitución parcial de cemento por filler calizo	79
3.5.2. Variable independiente 2: Fracción granulométrica del filler calizo	79
3.5.3. Variable dependiente: Resistencia a la compresión del concreto	79
3.6. Procedimientos de recolección de datos	81
3.6.1. Ubicación de las materias primas	82
3.6.2. Obtención del filler calizo.....	85
3.6.3. Ensayo de difracción de rayos X (DRX)	88
3.6.4. Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	90
3.6.5. Diseño de mezcla del concreto base (ACI 211.1-22)	105
3.7. Procedimiento de análisis de datos.....	120
3.8. Materiales y equipos	123
3.9. Aspectos éticos.....	124
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	126
4.1 Descripción de resultados.....	126
4.1.1. Caracterización de los Agregados.....	126
4.1.2. Filler calizo – Polvo de Piedra Chancada (Cantera Chuyabamba)	131

4.1.3. Comparación de propiedades de los materiales empleados	133
4.2 Estadística Descriptiva de la Resistencia a la Compresión	134
4.2.1. Resultados descriptivos para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140.....	134
4.2.2. Resultados descriptivos para el filler calizo pasante por tamiz N.º 200.....	136
4.3. Verificación de supuestos estadísticos.....	137
4.3.1. Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk.....	137
4.3.2. Prueba de homogeneidad de varianzas mediante Levene.....	139
4.4. Análisis de varianza de un factor	141
4.4.1. ANOVA para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140	141
4.4.2. ANOVA para el filler calizo pasante por tamiz N.º 200	147
4.4.3. Comparaciones múltiples mediante Tukey HSD.....	151
4.5. Análisis factorial de la resistencia a la compresión	156
4.5.1. Efecto del porcentaje de sustitución y la fracción granulométrica a los 28 días	156
4.5.2. Efecto del grupo de evaluación y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión	158
4.6. Análisis de correlación y modelos de regresión.....	160
4.6.1. Análisis de correlación para el filler pasante por tamiz N.º 140	160
4.6.2. Análisis de correlación para el filler pasante por tamiz N.º 200	167
4.7. Contrastación de hipótesis	176
4.8. Discusión	183
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	192
5.1. Conclusiones	192
5.2. Recomendaciones	195
REFERENCIAS.....	197

ANEXOS.....	205
--------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificaciones de composición del filler calizo</i>	45
Tabla 2 <i>Principales compuestos mineralógicos del clínker del cemento portland</i>	50
Tabla 3 <i>Tipo de Investigación según Criterios</i>	63
Tabla 4 <i>Distribución de probetas de la serie 140: concreto patrón y mezclas con filler pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200.....</i>	71
Tabla 5 <i>Número de Probetas para Pruebas a Compresión con tamaño de partículas que pasa el tamiz N.º 200.....</i>	72
Tabla 6 <i>Fuentes, Técnicas e Instrumentos para Recolectar Datos</i>	77
Tabla 7 <i>Matriz de operacionalización de variables en estudio</i>	80
Tabla 8 <i>Proporciones del diseño de mezcla patrón por peso, volumen, baldes y tanda</i>	109
Tabla 9 <i>Composición de las mezclas de concreto según el porcentaje de sustitución con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200</i>	109
Tabla 10 <i>Composición de las mezclas de concreto según porcentaje de sustitución de filler calizo que pasa el tamiz N.º 200.....</i>	110
Tabla 11 <i>Agua incorporada y relación agua efectiva/(cemento + filler) final calculada por tanda de cuatro probetas</i>	111
Tabla 12 <i>Resumen de propiedades físicas del agregado fino (Arena Natural).....</i>	126
Tabla 13 <i>Análisis granulométrico del agregado fino</i>	127
Tabla 14 <i>Resumen de propiedades físicas del agregado grueso</i>	128
Tabla 15 <i>Análisis granulométrico del agregado grueso.....</i>	129
Tabla 16 <i>Propiedades físico-mineralógicas del filler calizo</i>	131
Tabla 17 <i>Cuadro comparativo de propiedades físicas y mineralógicas de los materiales empleados para el diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$</i>	133

Tabla 18 Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión (kg/cm ²) por grupo, tamaño de partícula y edad de curado — TP < 106 μm (tamiz N.º 140).....	134
Tabla 19 Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión (kg/cm ²) por grupo, tamaño de partícula y edad de curado — TP < 75 μm (tamiz N.º 200)	136
Tabla 20 Resultados de la prueba Shapiro-Wilk por grupo experimental y edad de curado (n = 4 por subgrupo) — TP < 106 μm (tamiz N.º 140)	137
Tabla 21 Resultados de la prueba Shapiro-Wilk por grupo experimental y edad de curado (n = 4 por subgrupo) — TP < 75 μm (tamiz N.º 200)	138
Tabla 22 Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 7 días.....	140
Tabla 23 Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 14 días.....	140
Tabla 24 Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 28 días.....	141
Tabla 25 ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (TP < 106 μm, n = 4 por grupo)	142
Tabla 26 ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 14 días de curado (TP < 106 μm, n = 4 por grupo)	143
Tabla 27 ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (TP < 106 μm, n = 4 por grupo)	144
Tabla 28 ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (TP < 75 μm, n = 4 por grupo)	147
Tabla 29 ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 14 días de curado (TP < 75 μm, n = 4 por grupo)	148

Tabla 30 ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (TP < 75 μm , n = 4 por grupo)	149
Tabla 31 Comparaciones múltiples — prueba post-hoc Tukey HSD a 28 días - TP < 106 μm (Tamiz N.º 140).....	152
Tabla 32 Comparaciones múltiples Tukey HSD - Resistencia a la compresión a los 28 días - TP < 75 μm (Tamiz N.º 200)	152
Tabla 33 Comparaciones múltiples Tukey HSD - Análisis global de los 8 grupos experimentales a los 28 días	153
Tabla 34 Análisis comparativo de resistencia a la compresión (kg/cm ²) a los 7, 14 y 28 días entre tamaños de partícula - Identificación de la condición de mayor desempeño experimental.....	154
Tabla 35 ANOVA de dos factores con interacción - Resistencia a la compresión a los 28 días (Diseño factorial 4×2, n = 4 por celda, N = 32).....	157
Tabla 36 ANOVA factorial Grupo de evaluación × Edad de curado para la resistencia a la compresión.....	158
Tabla 37 Comparaciones por pares de la resistencia a la compresión según edad de curado mediante ajuste de Bonferroni	159
Tabla 38 Correlación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión a los 28 días para el filler pasante por tamiz N.º 140.....	161
Tabla 39 Resumen del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 140	162
Tabla 40 Resumen del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140	163
Tabla 41 ANOVA del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140	163
Tabla 42 Coeficientes del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140	164
Tabla 43 Comparación de modelos de regresión - Tamiz N.º 140.....	167
Tabla 44 Correlación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión.....	168

Tabla 45	<i>Resumen del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 200</i>	169
Tabla 46	<i>Coeficientes del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 200</i>	170
Tabla 47	<i>Resumen del modelo de regresión cuadrática — Tamiz N.º 200</i>	172
Tabla 48	<i>ANOVA del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 200</i>	172
Tabla 49	<i>Coeficientes del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 200</i>	173
Tabla 50	<i>Comparación de modelos de regresión - Tamiz N.º 200 entre modelo lineal y modelo cuadrático</i>	173
Tabla 51	<i>Comparación del desempeño de las dosificaciones evaluadas a los 28 días</i>	175

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Color del filler calizo utilizado en la sustitución parcial del cemento</i>	42
Figura 2	<i>Distribución del tamaño de partícula de los materiales cementicios</i>	43
Figura 3	<i>Gradación de la Arena y del Agregado Grueso</i>	52
Figura 4	<i>Propiedades del concreto en estado fresco</i>	57
Figura 5	<i>Propiedades del concreto en estado endurecido</i>	58
Figura 6	<i>Edades de ensayo y tolerancias permisibles</i>	60
Figura 7	<i>Esquema de los patrones de tipos de fracturas al soportar cargas axiales</i>	60
Figura 8	<i>Diseño de Investigación Experimental</i>	67
Figura 9	<i>Flujograma del Proceso de Obtención de Información</i>	81
Figura 10	<i>Mapa de Ubicación de la Cantera de Agregado Fino</i>	83
Figura 11	<i>Mapa de Ubicación de la Cantera de agregado grueso y filler calizo</i>	84
Figura 12	<i>Proceso de obtención del filler calizo</i>	88
Figura 13	<i>Entrega de muestra de filler calizo para el ensayo de difracción de rayos X</i>	90
Figura 14	<i>Proceso de muestreo y reducción de muestra mediante cuarteo</i>	91
Figura 15	<i>Proceso para obtener el contenido de humedad</i>	93

Figura 16	<i>Determinación del peso unitario suelto del agregado fino</i>	94
Figura 17	<i>Determinación del peso unitario seco compactado del agregado fino</i>	95
Figura 18	<i>Determinación del análisis granulométrico del agregado fino</i>	97
Figura 19	<i>Determinación del peso específico y absorción del agregado fino</i>	99
Figura 20	<i>Determinación de materiales más finos que pasan el tamiz N.º 200 (< 75 µm) por lavado del agregado.</i>	101
Figura 21	<i>Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso</i>	103
Figura 22	<i>Determinación de la resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles</i>	104
Figura 23	<i>Dosificación de los componentes de la mezcla de concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)</i> .	113
Figura 24	<i>Moldeo de probetas cilíndricas de concreto para ensayos de resistencia</i>	115
Figura 25	<i>Proceso de curado de probetas de concreto mediante inmersión</i>	116
Figura 26	<i>Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto</i>	119
Figura 27	<i>Flujograma del proceso de análisis de datos</i>	122
Figura 28	<i>Curva granulométrica del agregado fino</i>	128
Figura 29	<i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	130
Figura 30	<i>Difractograma del ensayo de Difracción de rayos X</i>	132
Figura 31	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado</i>	143
Figura 32	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado</i>	144
Figura 33	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado</i>	145
Figura 34	<i>Evolución de la resistencia a la compresión (kg/cm^2) a los 7, 14 y 28 días de curado por grupo experimental – TP < 106 µm (tamiz N.º 140)</i>	146
Figura 35	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado</i>	148
Figura 36	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado</i>	149
Figura 37	<i>Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado</i>	150

Figura 38 Evolución de la resistencia a la compresión (kg/cm^2) a los 7, 14 y 28 días de curado por grupo experimental - TP < 75 μm (Tamiz N.º 200).....	151
Figura 39 Resistencia media a 28 días según % de sustitución de cemento por filler calizo, para ambos tamaños de partícula.....	156
Figura 40 Diagrama de dispersión y curva de regresión cuadrática entre el porcentaje de filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días - tamiz N.º 140.....	165
Figura 41 Diagrama de dispersión y línea de tendencia lineal entre el porcentaje de filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días - tamiz N.º 200.	170

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia.....	205
Anexo B . Panel fotográfico	206
Anexo C. Resultados de ensayos de laboratorio	214

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la resistencia a la compresión del concreto diseñado para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante la sustitución parcial del cemento por filler calizo, considerando cuatro porcentajes de sustitución y dos tamaños de partícula bajo las condiciones experimentales de la provincia de Chota. El estudio fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y diseño experimental. Se evaluó un concreto patrón con 0 % de sustitución y mezclas con sustitución de cemento de 4 %, 8 % y 12 %, utilizando dos fracciones de filler calizo: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm , y material pasante por el tamiz N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 μm . Se elaboraron 96 especímenes cilíndricos de concreto, ensayados a resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días, tomando como referencia las Normas Técnicas Peruanas, normas ASTM y el método de diseño de mezclas ACI 211.1.

La caracterización mineralógica del filler calizo mediante difracción de rayos X determinó una composición constituida predominantemente por calcita (CaCO_3), con 98.654 %, y cuarzo (SiO_2), con 1.346 %. A los 28 días, para la serie asociada al filler pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200, las resistencias medias correspondientes a 0 %, 4 %, 8 % y 12 % de sustitución fueron 278.50, 274.25, 285.00 y 244.00 kg/cm^2 , respectivamente. El 8 % presentó la mayor resistencia media observada entre los niveles evaluados, con un valor 2.33 % superior al concreto patrón; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa según la prueba de Tukey HSD ($p = 0.660$). Para el material pasante por el tamiz N.º 200, las resistencias medias fueron 276.75, 261.50, 264.50 y 252.75 kg/cm^2 , respectivamente, observándose una tendencia general descendente dentro de los porcentajes evaluados.

El ANOVA de dos factores realizado a los 28 días evidenció diferencias estadísticamente significativas asociadas con el porcentaje de sustitución ($p < 0.001$), la

fracción granulométrica evaluada ($p = 0.026$) y la interacción entre ambos factores ($p = 0.006$). Adicionalmente, el análisis factorial Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado evidenció un efecto estadísticamente significativo de la edad sobre la resistencia a la compresión, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. Las medias marginales estimadas aumentaron de 210.281 kg/cm² a los 7 días a 235.656 kg/cm² a los 14 días y 267.156 kg/cm² a los 28 días, y las comparaciones por pares con ajuste de Bonferroni mostraron diferencias significativas entre todas las edades evaluadas ($p < 0.001$). Asimismo, la interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado fue significativa, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.384$. En conclusión, bajo las condiciones experimentales de la investigación, la resistencia a la compresión presentó un comportamiento diferenciado en función del porcentaje de sustitución y de la fracción granulométrica del filler calizo. El 8 % de sustitución del cemento con filler pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 correspondió a la mayor resistencia media observada entre los niveles efectivamente ensayados, sin que ello implique superioridad estadística respecto al concreto patrón.

Palabras clave: filler calizo, sustitución parcial de cemento, resistencia a la compresión, concreto, fracción granulométrica.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the compressive strength of concrete designed for $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ through the partial replacement of cement with limestone filler, considering four replacement percentages and two particle-size fractions under the experimental conditions of the province of Chota. The research followed a quantitative approach, was applied in nature, and used an experimental design. A control concrete with 0% replacement and mixtures with 4%, 8%, and 12% cement replacement were evaluated using two limestone filler fractions: material passing the No. 140 sieve and retained on the No. 200 sieve, corresponding to the nominal range of 75–106 μm , and material passing the No. 200 sieve, corresponding to the fraction smaller than 75 μm . A total of 96 cylindrical concrete specimens were prepared and tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days, following the Peruvian Technical Standards, ASTM standards, and the ACI 211.1 mix design method.

Mineralogical characterization of the limestone filler by X-ray diffraction showed that it was predominantly composed of calcite (CaCO_3), at 98.654%, and quartz (SiO_2), at 1.346%. At 28 days, for the series associated with filler passing the No. 140 sieve and retained on the No. 200 sieve, the mean compressive strengths corresponding to 0%, 4%, 8%, and 12% replacement were 278.50, 274.25, 285.00, and 244.00 kg/cm^2 , respectively. The 8% replacement level showed the highest mean compressive strength among the evaluated levels, with a value 2.33% higher than that of the control concrete; however, this difference was not statistically significant according to Tukey's HSD test ($p = 0.660$). For the material passing the No. 200 sieve, the mean compressive strengths were 276.75, 261.50, 264.50, and 252.75 kg/cm^2 , respectively, showing an overall decreasing trend across the evaluated replacement percentages.

The two-factor ANOVA conducted at 28 days showed statistically significant differences associated with the replacement percentage ($p < 0.001$), the evaluated particle-size

fraction ($p = 0.026$), and the interaction between both factors ($p = 0.006$). Additionally, the Evaluation Group $\times$ Curing Age factorial analysis showed a statistically significant effect of age on compressive strength, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. The estimated marginal means increased from 210.281 kg/cm² at 7 days to 235.656 kg/cm² at 14 days and 267.156 kg/cm² at 28 days, while pairwise comparisons with Bonferroni adjustment showed significant differences among all evaluated ages ($p < 0.001$). Likewise, the Evaluation Group $\times$ Curing Age interaction was significant, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.384$. In conclusion, under the experimental conditions of this study, compressive strength showed a differentiated behavior depending on the cement replacement percentage and the particle-size fraction of the limestone filler. The 8% cement replacement with filler passing the No. 140 sieve and retained on the No. 200 sieve achieved the highest mean compressive strength among the experimentally evaluated levels, without implying statistical superiority over the control concrete.

Keywords: limestone filler, partial cement replacement, compressive strength, concrete, granulometric fraction.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, el cemento es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial, destacado por su amplio uso en proyectos de infraestructura y edificaciones. A nivel mundial, la producción anual alcanza aproximadamente 4100 millones de toneladas métricas, lo que lo convierte en un material indispensable (Núñez et al., 2025). No obstante, por ser un material de amplio uso en las actividades constructivas, su fabricación está asociada a elevados niveles de emisiones contaminantes.

Estudios recientes señalan que el cemento y el concreto son responsables de más del 8 % de las emisiones globales de CO₂, ubicándose entre las principales fuentes de emisiones contaminantes del sector de la construcción (Vulcano et al., 2025).

Frente a esta problemática, diversos estudios internacionales han evaluado la incorporación de materiales minerales finos, como el filler calizo, con la finalidad de sustituir parcialmente el cemento y analizar su comportamiento en las mezclas de concreto. En Croacia, Tešić et al. (2021) demostraron la viabilidad de sustituir hasta un 45 % del cemento por polvo de roca caliza finamente molido, manteniendo e incluso mejorando la resistencia a la compresión bajo las condiciones evaluadas en su investigación. En Alemania, Herget et al. (2025) estudiaron incorporaciones de filler calizo entre 5 % y 15 % manteniendo constante la relación agua/cemento, y analizaron su influencia sobre las características de la matriz cementicia.

En América Latina existe disponibilidad de materiales calcáreos que han sido estudiados como adiciones o sustitutos parciales en sistemas cementicios. En Argentina, Díaz et al. (2024) evaluaron materiales calcáreos orientados a disminuir el factor clínker, considerando incorporaciones de 12 % y 20 % de filler calizo. Los autores reportaron que las

resistencias a la compresión de las mezclas evaluadas no presentaron diferencias significativas entre sí y superaron el valor de referencia de 40 MPa, evidenciando la posibilidad de incorporar materiales calcáreos en sistemas cementicios bajo las condiciones de su investigación.

En el contexto nacional, el Perú cuenta con grandes áreas de materiales calcáreos destinados principalmente a la producción de cemento, lo que genera grandes volúmenes de polvo fino de caliza como subproducto del proceso de molienda. Diversos estudios nacionales han demostrado que la incorporación del filler calizo como sustituto parcial del cemento en proporciones moderadas, permite obtener resistencias a la compresión iguales o superiores a las de mezclas convencionales. Entre ellos Hidalgo (2018), estudió este material cementante, donde usó adiciones de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % para una relación de agua - cemento de 0.49, basándose en su lugar de estudio por la presencia moderada de sulfatos, que recomienda como máximo usar una relación a/c de 0.50 para una resistencia a la compresión mínima de 28 MPa. Obtuvo resultados positivos de los diseños que evaluó y se cumplió con los parámetros límites de diseño, mencionó que el mejor comportamiento de los ensayos que realizó fue el concreto con adición de 10 % de filler calizo, recomendando eficazmente su uso en estudios posteriores.

Asimismo, la Normativa Técnica Peruana (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2024) reconoce el uso del filler calizo como material cementante suplementario, siempre que cumpla requisitos mínimos de composición química y limpieza. Sin embargo, según la NTP 334.090:2024 no establecen criterios específicos sobre porcentajes óptimos de reemplazo ni lineamientos claros para su aplicación en condiciones locales.

A nivel regional, Cajamarca constituye una de las principales zonas productoras de materiales calcáreos en el Perú, lo que evidencia su relevancia estratégica para la industria del cemento y la construcción. De acuerdo con los registros oficiales del (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2025), en septiembre de 2025 la extracción nacional de caliza y dolomita

alcanzó las 3 569 281 TM, representando un crecimiento del 12.8 % respecto al mismo mes del año anterior. Asimismo, la extracción acumulada al noveno mes del año ascendió a 33 532 444 TM, lo que significó una expansión del 127.1 % en comparación con el mismo periodo del año previo.

A nivel departamental, Cajamarca ocupó el tercer lugar en la extracción de caliza y dolomita, con una participación del 5.6 % del total nacional, destacando la actividad de empresas como Cementos Pacasmayo S.A.A. Este volumen de producción evidencia la disponibilidad sostenida de recursos calcáreos en la región y, a su vez, la generación de subproductos derivados de su procesamiento, entre ellos el filler calizo proveniente de la molienda de la roca.

A nivel local, en la provincia de Chota existen canteras dedicadas a la producción de agregados mediante el procesamiento de roca, actividad de la cual se generan materiales finos residuales, entre ellos el filler calizo. La disponibilidad de este material representa una oportunidad para estudiar técnicamente su incorporación como sustituto parcial del cemento en mezclas de concreto. Debido a que dicha sustitución implica una reducción directa de la cantidad de cemento incorporada en la dosificación, resulta pertinente evaluar experimentalmente su efecto sobre la resistencia a la compresión. No obstante, los posibles beneficios económicos y ambientales derivados de su aprovechamiento requieren evaluaciones específicas de costos, consumo energético, emisiones de CO₂ y análisis de ciclo de vida, aspectos que no forman parte del alcance de la presente investigación.

En los últimos años, la provincia de Chota ha experimentado una creciente ejecución de proyectos públicos y privados, lo que ha incrementado la utilización del concreto en elementos estructurales como columnas, placas, vigas y losas. En este contexto, resulta necesario disponer de información experimental obtenida con materiales de procedencia local que permita conocer el comportamiento de mezclas de concreto diseñadas para alcanzar una

resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, particularmente cuando se incorporan materiales alternativos como el filler calizo en sustitución parcial del cemento.

Pese a que las canteras de la zona producen filler calizo en gran cantidad, aún no se ha estandarizado su uso en el diseño de mezclas y tampoco hay una investigación técnica local que establezca cuál es el porcentaje de sustitución de mayor desempeño dentro de los niveles evaluados de incorporación para asegurar que el concreto mantenga o supere la resistencia diseñada. La falta de información impide que los productores de concreto puedan optimizar el consumo de cemento y limita la utilización eficaz de los recursos existentes en la provincia, la región y el país.

En este contexto, la ausencia de estudios técnicos locales que evalúen el comportamiento de diferentes porcentajes de sustitución de cemento por filler calizo constituye una brecha de conocimiento respecto a su aplicación en concretos elaborados con materiales de la provincia de Chota. Por ello, la finalidad del presente estudio es evaluar la influencia del filler calizo, como material de sustitución parcial del cemento, en la resistencia a la compresión del concreto con una dosificación de diseño de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Asimismo, se busca identificar la condición de mayor desempeño dentro de los niveles evaluados y generar información técnica que pueda servir de base para futuras evaluaciones sobre su viabilidad económica y ambiental.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Teórica y Metodológica

La presente investigación aporta al campo de la tecnología del concreto al profundizar, desde un enfoque teórico, en los efectos que tiene la incorporación del filler calizo sobre la matriz cementicia. De acuerdo con la teoría de hidratación del cemento y los modelos de empaquetamiento de partículas, las adiciones minerales finas pueden mejorar la microestructura del concreto al actuar como un material de relleno que reduce la porosidad,

optimiza la compactación y favorece la formación de productos de hidratación secundarios. Sin embargo, pese a que el filler calizo es un recurso abundante y de bajo costo en la provincia de Chota, no existen investigaciones locales que evalúen su uso como material cementante suplementario en el concreto.

Metodológicamente, la investigación se sustentó en la aplicación de procedimientos experimentales respaldados por normas técnicas nacionales e internacionales, con la finalidad de garantizar la trazabilidad y uniformidad de los ensayos realizados. Para la caracterización de los agregados se emplearon la NTP 400.012 y ASTM C136/C136M para el análisis granulométrico; NTP 400.022 y ASTM C128 para el peso específico y absorción del agregado fino; NTP 400.021 y ASTM C127 para el peso específico y absorción del agregado grueso; NTP 400.017 y ASTM C29/C29M para los pesos unitarios; NTP 339.185 y ASTM C566 para el contenido de humedad; NTP 400.018 y ASTM C117 para la determinación del material más fino que pasa el tamiz N.º 200; y NTP 400.020 y ASTM C131/C131M para la resistencia a la abrasión del agregado grueso. La composición mineralógica del filler calizo se determinó mediante Difracción de Rayos X (DRX), tomando como referencia la UNE-EN 13925-3:2006.

Asimismo, el diseño de la mezcla se desarrolló mediante el método ACI 211.1. La elaboración y el curado de los especímenes en laboratorio se efectuaron tomando como referencia la NTP 339.183 y ASTM C192/C192M, mientras que la resistencia a la compresión se determinó conforme a la NTP 339.034 y ASTM C39/C39M.

1.2.2. Justificación Práctica.

La presente investigación responde a la necesidad de disponer de información experimental sobre el comportamiento del concreto elaborado con sustitución parcial de cemento por filler calizo, considerando materiales disponibles en la provincia de Chota. Su aplicación práctica radica en evaluar diferentes porcentajes de sustitución y tamaños de

partícula para determinar las condiciones en las que este material puede incorporarse sin comprometer la resistencia a la compresión requerida.

Los resultados obtenidos proporcionan información técnica que puede servir como referencia para profesionales, laboratorios y empresas vinculadas al diseño y producción de concreto en el ámbito local. Asimismo, la sustitución parcial del cemento implica una reducción directa de su cantidad dentro de la dosificación; sin embargo, cualquier posible beneficio económico o ambiental asociado a esta reducción deberá ser evaluado mediante estudios específicos de costos y sostenibilidad antes de su aplicación a escala de obra.

1.2.3. Justificación social

La investigación posee relevancia social al generar información técnica sobre el aprovechamiento del filler calizo disponible localmente como sustituto parcial del cemento en la producción de concreto. El conocimiento de su comportamiento mecánico puede contribuir a que profesionales y actores del sector construcción dispongan de mayores criterios técnicos para seleccionar materiales y diseñar mezclas bajo las condiciones propias de la provincia de Chota.

Desde una perspectiva económica, la sustitución parcial del cemento representa una posibilidad de reducir la cantidad de este material requerida en la mezcla; no obstante, la presente investigación no incluyó un análisis económico que permita cuantificar el costo final del concreto ni los posibles ahorros derivados de su aplicación. En consecuencia, los resultados obtenidos constituyen una base técnica para futuras investigaciones orientadas a evaluar la viabilidad económica del empleo de filler calizo a escala de obra.

Desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento de un material fino residual procedente de la trituración de roca caliza presenta un potencial para favorecer el uso eficiente de recursos locales y disminuir parcialmente el consumo de cemento. Sin embargo, debido a que en esta investigación no se cuantificaron emisiones de CO₂, consumo energético ni

indicadores de impacto ambiental, los posibles beneficios ambientales deben considerarse como una perspectiva de aplicación que requiere ser evaluada mediante estudios específicos de sostenibilidad y análisis de ciclo de vida.

1.2.4. Delimitación de la investigación

La presente investigación se delimitó espacialmente en el distrito y provincia de Chota, región Cajamarca, Perú. Los materiales empleados provinieron de fuentes locales: el agregado fino correspondió a arena natural de la fuente de extracción “El Arenal”, distrito de Conchán, mientras que el agregado grueso y el filler calizo se obtuvieron de la cantera “Chuyabamba”, centro poblado del distrito de Chota. La elaboración de las mezclas, el moldeo de probetas, el curado y las pruebas de resistencia frente a cargas axiales se llevaron a cabo en el Laboratorio GSE Ingeniería y Construcción S.A.C., ciudad de Chota. La caracterización mineralógica del filler calizo se efectuó mediante difracción de rayos X en el laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB Perú), en la ciudad de Lima.

La delimitación temporal comprendió el periodo 2025-2026, durante el cual se desarrollaron las actividades de recolección de materiales, preparación del filler calizo, caracterización física y mineralógica, diseño de la dosificación, moldeo de probetas, mantenimiento de la humedad, ensayo de la capacidad resistente a la compresión, procesamiento estadístico e interpretación de resultados.

La delimitación temática se centró en evaluar la resistencia frente a cargas axiales del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante el reemplazo parcial del cemento Portland Tipo I por filler calizo en proporciones de 0 %, 4 %, 8 % y 12 % en peso. Se consideraron dos fracciones granulométricas del filler calizo: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm , y material pasante por el tamiz

N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 µm. Las edades de curado evaluadas fueron de 7, 14 y 28 días.

Metodológicamente, el estudio se limitó a un diseño experimental factorial con 96 probetas cilíndricas de concreto, distribuidas según el porcentaje de sustitución, el tamaño de partícula y la edad de curado. Se consideraron cuatro especímenes por cada condición experimental y edad de ensayo, obtenidos de una misma tanda de concreto, lo que permitió obtener valores promedio, evaluar la variabilidad observada y realizar los análisis estadísticos establecidos.

La investigación se limitó a la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto bajo condiciones de laboratorio. No se analizaron otras propiedades mecánicas, tales como la capacidad resistente a la flexión, tracción indirecta o la propiedad elástica del material, ni propiedades relacionadas con la durabilidad, como absorción, permeabilidad, resistencia frente a sulfatos, carbonatación o penetración de cloruros. Tampoco se evaluó el comportamiento de elementos estructurales a escala real. Por ello, los resultados deben interpretarse dentro de las condiciones de los materiales empleados, la dosificación inicial, el ajuste de agua realizado para controlar la consistencia, las condiciones de curado y el procedimiento experimental desarrollado en el estudio.

Asimismo, durante la elaboración de las mezclas se incorporó agua complementaria de manera gradual con la finalidad de alcanzar el asentamiento establecido entre 3" y 4". Debido a ello, la cantidad final de agua incorporada no fue constante entre los tratamientos, registrándose una mayor demanda conforme aumentó el porcentaje de sustitución, particularmente en las mezclas elaboradas con filler calizo pasante por tamiz N.º 200. Esta condición constituye una limitación experimental, puesto que las diferencias observadas en la resistencia a la compresión no pueden atribuirse exclusivamente al porcentaje de sustitución y

al tamaño de partícula, sino que deben interpretarse considerando también la variación del agua requerida para mantener la trabajabilidad de las mezclas.

En cuanto a la delimitación normativa, el diseño de dosificación se desarrolló conforme al método ACI 211.1-22, mientras que la preparación, el curado y el ensayo de los especímenes se realizaron conforme a las normas NTP y ASTM aplicables al concreto y a sus materiales componentes. La composición mineralógica del filler calizo se determinó mediante difracción de rayos X, tomando como referencia la norma UNE-EN 13925-3:2006, lo que permitió identificar la predominancia de carbonato de calcio en el material empleado.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la sustitución parcial de cemento por filler calizo sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, considerando diferentes porcentajes de sustitución y tamaños de partícula?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la composición mineralógica del filler calizo utilizado en el estudio?
- b. ¿Cuánto influye la sustitución del cemento por filler calizo en proporciones de 4 %, 8 % y 12 %, considerando el tamaño de partícula, en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días?
- c. ¿Cómo varía la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas?
- d. ¿Qué porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo permite obtener la mayor resistencia a compresión en un concreto diseñado para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la sustitución parcial de cemento por filler calizo sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, considerando diferentes porcentajes de sustitución y dos tamaños de partícula.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la composición mineralógica del filler calizo mediante el ensayo de difracción de rayos X.
- b. Analizar la influencia del porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo de 4 %, 8 %, 12 % y tamaño de partícula en la resistencia a la compresión del concreto $F'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días.
- c. Encontrar las diferencias en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.
- d. Determinar el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo que presenta la mayor resistencia a la compresión del concreto diseñado para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Wang et al. (2024), en su estudio de grado, tuvieron como objetivo determinar el mecanismo del efecto producido por la sustitución parcial del cemento con filler calizo en el desempeño mecánico del concreto. Siendo de tipo experimental cuya cantidad muestral fue de 5 grupos. Utilizaron filler calizo en cantidades de 0, 5, 10, 15 y 20 % en las resistencias compresivas del concreto. La razón entre el agua y el cemento (a/c) fue de 0.45 para el contenido de 0 % y se convirtió en proporción agua/polvo según el vínculo entre la cantidad de agua usada, la masa combinada de cemento y filler calizo variando de forma descendente para los demás contenidos. Los valores registrados a los 7 y 28 días mostraron que todas las adiciones superaron al concreto base, siendo el 10 % de filler calizo el que incrementó en 24.1 y 18.3 % respectivamente. Si el porcentaje de polvo aumenta, la resistencia disminuye, pero no cae por debajo del patrón. Inferieron que el filler calizo en el concreto beneficia al comportamiento del concreto frente a esfuerzos axiales, siempre que se use dosificaciones correctas, representando el 10 % de filler calizo, punto óptimo para alcanzar mayores niveles de resistencia.

Li (2024), en su artículo, estudió el proceso de cambio en la resistencia compresiva, resistencia al deterioro por sulfatos y porosidad del concreto involucrando al cemento como sustituto parcial por filler calizo y vidrio residual pulverizado. Siendo un estudio de procedimiento experimental, donde trabajó con 11 grupos, 24 especímenes por grupo que van en porcentajes de adición, desde el concreto patrón, concreto con solo filler calizo y concreto con filler calizo y vidrio. En efecto, usó porcentajes de 10 % (estado adecuado) y 20 % (estado excesivo) de filler calizo, también un parámetro de diseño agua-cemento firme de 0.35. Los

resultados correspondientes a la evaluación de la resistencia compresiva después de 90 días de curado, incrementó 5.57 % y disminuyó 4.30 %. El autor determinó que una dosificación considerable de material calizo favorece la capacidad resistente del concreto frente a esfuerzos de compresión.

Zeng & Li (2024), en su artículo, evaluaron la respuesta del material cementicio incorporando polvo de piedra residual como adición mineral en contextos de congelamiento extremo. El trabajo, de tipo experimental, incluyó nueve grupos de prueba con diversos niveles de sustitución (5 %, 10 %, 15 % y 20 %) empleando una relación previamente establecida de agua y cemento de 0.48, sometidos a ciclos de congelamiento–deshielo en aire, agua pura y soluciones con sulfatos. Los resultados mostraron que el filler calizo mejora la resistencia compresiva en ciclos de congelamiento en aire y agua pura, especialmente en dosificaciones bajas y moderadas, mientras que en ambientes con sulfatos su desempeño disminuye con porcentajes elevados de sustitución. Evidenciaron que el filler calizo puede mejorar el comportamiento mecánico del concreto en condiciones extremas, aunque su efectividad se reduce en medios con sulfatos y altos niveles de reemplazo.

Her et al. (2024), en su artículo, evaluaron la cantidad incorporado de polvo calizo como material cementante suplementario frente a la capacidad del concreto frente a cargas axiales de morteros de alta resistencia inicial. La metodología fue experimental, con 19 grupos de diseño. Clasificaron 3 categorías según su densidad, usadas en porcentajes de 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 % con un índice de agua y cemento constante de 0.50. Permitieron establecer que la resistencia compresiva a los 28 días de curado, presentó una variación descendente de 4.52 % respecto al mortero control. En síntesis, el aumento progresivo de filler calizo disminuye la resistencia del mortero, sin embargo, el efecto es poco significativo y no compromete el uso del filler calizo como alternativa parcial de sustitución del cemento.

Harmandeep & Lovneesh (2023), según su artículo, analizaron el uso del polvo de piedra caliza y mármol residuales como recursos para el desarrollo de la construcción, mejorando el hormigón. Su estudio fue de tipo experimental, aplicado a 15 grupos muestrales. El filler calizo se usó en porcentajes de 0 %, 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, 15 %, 18 % y 21 %, con una relación agua y cemento estable de 0.45. Los autores observaron que, al aumentar el contenido de filler calizo, se incrementa la capacidad frente a cargas axiales. El mayor resultado se alcanzó a los 28 días con el uso del 18 % de filler calizo dando un valor de 41.53 MPa, superando en 5.19 % al concreto base. Concluyeron que el residuo de polvo de piedra caliza es una alternativa viable, que brinda beneficios de sostenibilidad, economía y desempeño mecánico del concreto.

Zhang et al. (2023), en su artículo traducido como “Mejora del desempeño del concreto de ultra alto rendimiento que contiene escoria de litio mediante la incorporación de piedra caliza pulverizadas”, reemplazaron parte de un diseño de concreto de ultra alto rendimiento incorporado escoria de litio con polvo de piedra residual para mejorar su resistencia. La investigación se estructuró bajo condiciones experimentales y la muestra fue de 36 especímenes. Los resultados mostraron la sustitución de 5 %, 10 % y 20 % de filler calizo en relación de 5:1, 2:1 y 1:2 respectivamente con la escoria de litio y el 30 % de polvo de piedra por cemento. Al reemplazar el 5 % y el 10 % de filler, la resistencia a esfuerzos compresivos a los 28 días aumentó en 0.47 % y 1.01 % respectivamente, comparado con la muestra de referencia de 127.15 MPa. Concluyeron que una pequeña proporción optimiza mejor la resistencia compresiva, siendo el 10% la dosificación más adecuada.

Kepniak et al. (2021), en su artículo, analizaron el efecto de alteración en la resistencia a cargas compresivas con polvo de piedra caliza residual. El diseño metodológico fue experimental y consideraron 10 grupos de mezcla, con 6 especímenes por grupo. Los niveles de sustitución de filler calizo por cemento en masa van desde 2.93 % hasta el 20 %, con un

rango índice de agua/cemento de 0.35 a 0.5. Como resultado obtuvieron que los esfuerzos compresivos de todas las mezclas superaron al concreto convencional en todos los tiempos de curado. La resistencia máxima se logró con una adición de 17.07 % de filler calizo y una relación agua/cemento de 0.38. En resumen, demostraron el gran potencial del polvo de piedra caliza residual.

Damineli et al. (2021), en su investigación, estudiaron el efecto de diferentes materiales mineralógicos, con sus propiedades físicas y químicas sobre la capacidad frente a cargas axiales y la microestructura. El estudio fue planteado bajo condiciones experimentales y se trabajó con 16 muestras, compuestas por 6 tipos de filler. Consideraron una relación de agua/cemento constante de 0.50 y sustituyeron el 50 % de cemento por relleno. Los valores registrados del ensayo de resistencia compresiva variaron entre 53 y 57 MPa para 7 días y entre 66 y 68 MPa para 28 días, superando al concreto patrón con valores menores a 40 MPa y 50 MPa respectivamente. Concluyeron que el filler calizo ayudó a mejorar la capacidad compresiva frente al concreto elaborado de cemento puro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Miller & Sigüenza (2023), en su tesis, en el cual buscaron integrar un material alternativo que sustituya parcialmente al cemento. La investigación fue de naturaleza experimental, utilizando 240 probetas como muestra representativa, en las cuales, en proporciones de 0 %, 5 % 10 %, y 15 % realizaron una sustitución de cemento por filler calizo, utilizando 2 tipos diferentes de relación agua/cemento(a/c). Entre sus resultados obtuvieron que al sustituir el 5 % de cemento por filler calizo el concreto presenta mejores características mecánicas. Los autores llegaron a concluir e indicaron que la dosificación más apropiada es el 5 % de sustitución bajo una proporción agua-cemento(a/c) de 0.50, ya que brinda el rendimiento más favorable en términos de resistencia.

Araujo (2023), en su estudio de grado, tuvo como finalidad analizar la influencia del filler calizo en las características resistentes del mortero para colocación de ladrillos. El trabajo investigativo fue de tipo aplicado y empleó un esquema experimental, además la muestra fue de 75 cilindros para ensayos de resistencia compresiva del concreto. Entre sus resultados obtuvo que la adición de filler calizo permitió optimizar el comportamiento del mortero durante el estado fresco, incrementa su fluidez y retiene agua, respecto a la resistividad compresiva cumplen con el requerimiento mínimo de resistencia. Llegó a concluir que al reemplazar el 15 % filler calizo por cemento es el valor porcentual adecuado para ser utilizado.

Mamani (2024), en su investigación, cuyo propósito de investigación fue determinar hasta qué grado se puede mejorar la capacidad resistente frente a cargas axiales del concreto mediante la piedra caliza triturada. La investigación fue de tipo experimental y la muestra se hizo con 30 especímenes. Los resultados demostraron que las muestras elaboradas con piedra caliza triturada presentaron un aumento significativo de la capacidad frente a cargas compresivas en comparación con el concreto base, alcanzando aumentos como 8.49 % a los 14 días, 7.59 % a los 21 días y 5.29 % a los 28 días. Concluyó que la resistencia compresiva del concreto no logró superar el 15% de la resistencia de diseño. No obstante, se evidenció un incremento del 5.29 % en la resistencia a la compresión, lo que demuestra que el empleo de polvo de piedra mejora las respuestas mecánicas del concreto.

Gómez & Quispe (2024), en su trabajo de grado, se orientaron a determinar de qué forma el empleo de polvo de piedra caliza, cenizas volantes y arcilla caolinita calcinada afecta al desempeño del concreto aplicado a estructuras. El estudio presentó un enfoque de carácter aplicado, un diseño cuasi experimental con orientación cuantitativa y la muestra estuvo compuesta por un total de 189 especímenes que fueron sometidos a través de ensayos de compresión axial. En relación a sus resultados obtenidos se señaló que, entre las tres mezclas evaluadas con sustitución, la mezcla que incluía un 5 % de material calizo pulverizado mostró

que la resistencia obtenida se mantuvo cerca a la mezcla patrón. Concluyeron que, al sustituir estos materiales, dentro de ellos el polvo de piedra caliza se pudo evidenciar una variación descendente en la resistencia flexural del concreto con un 10 % respecto al concreto patrón durante los 28 días.

Lavarello & Tello (2024), En su estudio, cuya finalidad principal fue crear una mezcla de mortero alternativa que posibilite la utilización y ampliación en sistemas de impresión 3D en edificaciones. El estudio presentó un enfoque experimental, utilizando 16 mezclas de mortero para determinar sus propiedades, de las cuales 10 incluyeron microsilíce en su composición y las restantes filler calizo en diferentes porcentajes de reemplazo de cemento (5 %, 7.5 %, 10 %, 12.5 % y 15 %). Los resultados obtenidos fueron que la sustitución parcial en diferentes porcentajes de cemento por estos insumos, aumentaron la fluidez, optimizaron el tiempo de fraguado e incluso se obtuvieron resultados favorables con relación a la resistividad compresiva del concreto. Finalmente concluyeron que con 5 % de microsilíce y 7.5 % de filler calizo muestran efectos de mejora y desempeño las propiedades de las mezclas de mortero para impresión 3D.

2.1.3. Antecedentes regionales

Burga (2023), en su documento de investigación, buscó determinar las mejoras del terreno natural preparado usando el filler calizo en sus propiedades físico mecánicas. Su estudio de tipo experimental donde realizó 54 muestras obtenidas de 3 calicatas, adicionando 0 %, 22.5 %, 25 %, 27 %, 30 % y 32.5 % de filler calizo. Los resultados mostraron que la MDS aumentó en hasta 18.49 % con el 30 % de adición, su CBR al 95 % aumentó desde 56.14 % a 73.68 % respecto al suelo convencional. Evidenció que, al aumentar la dosificación de filler calizo, los valores de LL, LP e IP tienden a reducirse progresivamente, lo que indica una disminución en la plasticidad del suelo. Concluyó que el porcentaje óptimo es 30 % de filler calizo para lograr la mayor densidad en estado seco y su máxima capacidad de CBR.

Ruiz (2023), en su investigación académica, analizó el aprovechamiento de los residuos de piedra caliza a fin de mejorar las características del suelo de una subrasante con fallas por deformación, siendo su estudio experimental, realizó 62 ensayos donde trabajó con 5 grupos, adicionando el 0 %, 2 %, 4 %, 6 % y 10 % de filler calizo con un tamaño menor a 149 micras. Resultados como el CBR al 95 y 100 % lograron un impacto positivo al mejoramiento del suelo, siendo 11.50 % y 12.50 % los máximos valores a comparación con la capa granular convencional. Concluyendo que el porcentaje más pertinente de incorporación en el estudio es el 10 %, aumentando la mayor densificación del suelo (MDS) y la resistencia de soporte del terreno (CBR), también reduce la plasticidad y optimiza el contenido de humedad.

Idrogo (2025), en su trabajo de grado, orientado a analizar el efecto del filler calizo en los morteros de junta para muros portantes usando ladrillo King Kong de 18 huecos, sustituyendo a la arena por polvo residual para cumplir con normativas peruanas. Siendo su estudio de tipo experimental, usó 144 muestras cúbicas, dividido 72 para cada tipo. Usó morteros con dosificaciones cemento-arena y cemento-filler calizo, con relaciones de 1:3, 1:4, 1:5 y 1:6 para ambos casos, también elaboró 24 pilas y 24 muretes, 12 por cada tipo. En la resistencia a la compresión al finalizar los períodos de curado de 7, 14 y 28 días lograron resultados positivos, superando a los morteros convencionales, sin embargo, se observó que a medida que incrementa el volumen de filler calizo, la capacidad de carga tiende a disminuir, pero incrementa su trabajabilidad y fluidez en estado fresco, facilitando su trabajo en muros de albañilería. Concluyó que, el filler calizo cumple con los lineamientos normativos y presenta mejores características mecánicas y la relación óptima de cemento-filler es 1:3 obteniendo el máximo valor de módulo de elasticidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El concreto en función en la construcción estructural.

2.2.1.1. Características mecánicas fundamentales del concreto

El concreto es reconocido como un material de construcción estructural más utilizado en el mundo moderno, a causa de su versatilidad, durabilidad y capacidad para adquirir múltiples formas y resistir grandes cargas. Desde un enfoque científico, las propiedades mecánicas fundamentales del concreto representan el grupo de parámetros que establece su desempeño ante cargas externas, su capacidad resistente y su desempeño estructural a lo largo del tiempo. Estas propiedades se derivan directamente de la constitución del material, de la calidad de sus componentes, de la reacción hidratante del cemento y de la microestructura final que se desarrolla durante el fraguado y el curado.

Neville y Brooks (2010), caracterizan al concreto como un material compuesto constituido por una fase continua, correspondiente a la pasta cementante y una fase discontinua integrada por los agregados, cuya interacción determina la mayor parte de su comportamiento mecánico. Estos autores sostienen que la resistencia compresiva representa el principal atributo estructural del concreto, porque permite evidenciar la capacidad del material para esfuerzos compresivos sin sufrir daños estructurales.

La aptitud del concreto frente a cargas de tensión sin experimentar ruptura, por su parte, expresa la capacidad del material para oponerse a esfuerzos de tracción que buscan separarlo o generar su alargamiento. Si bien esta propiedad presenta cercanos al 10 % de la resistencia obtenida frente a cargas de compresión, esta propiedad es determinante en el inicio de la falla. De acuerdo con Wang y Li (2022), el concreto presenta una respuesta frágil ante la tracción debido a la propagación de microfisuras que se generan en la matriz cementicia bajo esfuerzos tensionales. Para contrarrestar esta debilidad, la teoría moderna enfatiza la necesidad de

reforzar el concreto con acero o fibras, las cuales actúan como puentes que absorben parte del esfuerzo tensional y retrasan la fractura.

La resistencia al corte constituye otro atributo relacionado con esfuerzos, especialmente en elementos estructurales como vigas, losas o muros. Según Popovics (2017), la resistencia al esfuerzo cortante del concreto está determinada por la cohesión interna del material y la unión existente entre sus fases sólidas. A diferencia de la compresión y la tracción, el corte involucra esfuerzos combinados que inducen la formación de planos de deslizamiento dentro del material. La presencia de agregados angulares y una pasta cementicia densa contribuyen a aumentar esta capacidad, mientras que una alta porosidad reduce significativamente.

La capacidad elástica es otra propiedad mecánica fundamental, corresponde a la relación esfuerzo sometido al material y a deformación unitaria producida en la zona elástica del material. De acuerdo con Mindess y Young (2019), dicho indicador representa el nivel de rigidez del material y su capacidad para recuperar su forma una vez retirada la carga. Un concreto con un módulo de elasticidad elevado tiende a deformarse menos, lo que lo hace ideal para estructuras que requieren alta rigidez, como columnas o puentes. El valor del módulo depende del tipo y volumen de los agregados, del índice de agua respecto al cemento y del control durante la etapa de curado, siendo mayor en concretos densos y con agregados pétreos duros.

Además, el concreto presenta propiedades mecánicas dependientes del tiempo, como la fluencia y la contracción. La fluencia se refiere a la deformación progresiva que sufre el concreto bajo un esfuerzo permanente, incluso cuando esta es menor que su límite elástico. De acuerdo con Bazant y Hubler (2019), este fenómeno está asociado con la redistribución interna de agua y con la naturaleza viscoelástica del material. Por otro lado, la contracción corresponde a la reducción de volumen causada por la pérdida de humedad o por la hidratación continua del

cemento. Ambos procesos influyen en el comportamiento a largo plazo de las estructuras, pudiendo generar fisuras y afectar la durabilidad si no se controlan adecuadamente.

2.2.1.2. Resistencia a la compresión como parámetro de calidad

Es la característica mecánica más representativa y fundamental del concreto, y constituye el principal parámetro de calidad empleado para evaluar su comportamiento estructural y su idoneidad para el uso en obras de ingeniería. Esta propiedad refleja la capacidad del concreto endurecido para soportar solicitaciones de aplastamiento sin experimentar fallas o daños irreversibles, siendo por tanto el criterio más utilizado para establecer la calidad, durabilidad y desempeño del material.

Según Neville y Brooks (2010), la resistencia compresiva del concreto está influenciada en gran medida por la relación agua-cemento establecida durante la dosificación, del avance del proceso de hidratación cementicia y de la densidad de la matriz cementicia. Un menor índice de agua en relación con el cemento genera una estructura más densa, con menor porosidad y mayor cohesión interna, lo que se traduce en una mayor resistencia.

Los aportes de Mehta y Monteiro (2014) profundizan en el aspecto microestructural, indicando que la resistencia del concreto está determinada como consecuencia de las condiciones en la región interfacial, es decir, la región que se forma entre la matriz cementicia y los componentes granulares. Una zona de transición interfacial compacta y homogénea favorece la distribución de cargas y reduce la aparición de microfisuras, incrementando así la capacidad compresiva del material. De este modo, la resistencia no se encuentra condicionada solo con la característica química del cemento, sino también por la interacción física entre los componentes sólidos y la porosidad del sistema.

Por su parte, Wang y Yue (2023) destacan que la resistencia a esfuerzos compresivos es una propiedad evolutiva, que se modifica gradualmente debido al desarrollo progresivo de la hidratación del cemento. En las primeras edades, la resistencia aumenta rápidamente como

resultado de la formación de productos formados por las reacciones de hidratación, especialmente el gel de silicato cálcico hidratado (C-S-H), responsable de la cohesión del material. Sin embargo, a largo plazo, factores como la contracción, la fluencia y el ataque químico pueden alterar esta propiedad, por lo que debe entenderse como un parámetro dinámico y no estático. Esto ha llevado al desarrollo de teorías de resistencia en función del tiempo, útiles para evaluar el desempeño de estructuras durante su vida de servicio.

2.2.2. Proceso de hidratación del cemento Portland

La hidratación cementicia corresponde a la reacción química que se origina por la combinación entre el cemento y el agua, además, es caracterizada como un fenómeno químico principal encargado de favorecer la evolución de las propiedades y el desempeño durable del concreto. Constituye un proceso compuesto que comprende múltiples transformaciones químicas y cambios generados en las condiciones externas, que posteriormente producen el fraguado, consolidan la mezcla aportando rigidez y resistencia (John y Lothenbach, 2023).

2.2.2.1. Reacciones químicas principales que ocurren en el proceso de hidratación

Por lo general, la hidratación cementicia está condicionada principalmente por los componentes químicos iniciales, el tamaño y dimensiones de partículas, el contenido de agua empleado, la relación agua-cemento, temperatura de curado y presencia de aditivos (Lavagna y Nisticó, 2023). Para resumir el entendimiento del proceso, se analizará de manera independiente las reacciones de hidratación que generan los minerales.

Las reacciones más importantes pueden resumirse de la siguiente manera:

a) Reacción de hidratación del silicato tricálcico (C3S) o “Alita”

La hidratación de la alita es la principal responsable del desarrollo inicial de resistencia y del alto calor de hidratación del cemento. En una primera fase se libera gran cantidad de calor, seguida por un periodo de inactividad, luego una nueva aceleración con la formación de C-S-H y CH, y finalmente una fase de desaceleración más estable. Este comportamiento,

caracterizado por variaciones en la velocidad de reacción, se explica por mecanismos cinéticos y de difusión iónica que controlan la evolución de la hidratación (Lavagna y Nisticó, 2023).

b) Reacción de hidratación del silicato dicálcico (C2S) o “Belita”

La hidratación de la belita es lenta y ocurre en tres etapas: un periodo inicial de baja reacción, un ligero aumento de la actividad y una fase final de desaceleración. Durante este proceso, la belita se transforma en C-S-H y CH, aportando principalmente a la resistencia del concreto a largo plazo (Lavagna y Nisticó, 2023).

c) Reacción de hidratación del aluminato tricálcico (C3A) o “Celita”

Por ser el componente más reactivo del cemento, la celita ejerce una influencia significativa en las propiedades mecánicas y reológicas desde el momento inicial de la hidratación (Lavagna y Nisticó, 2023).

d) Reacción de hidratación del ferro aluminato tetracálcico (C4AF) o “Felita”:

La aluminoferrita cálcica (C₄AF) es la única fase del clínker con composición variable, expresada como. Su hidratación depende de la presencia de yeso: sin él, reacciona con el agua formando hidratos metaestables C(A,F)H, que luego evolucionan a la fase estable C₃(A,F)H₆. Durante este proceso, la relación Al³⁺/Fe³⁺ disminuye, lo que favorece la aparición de un gel amorfo rico en hierro. Aunque su contribución a la resistencia es limitada, el C₄AF influye en la microestructura y estabilidad química del cemento hidratado (Lavagna y Nisticó, 2023).

2.2.3. Creación de productos de hidratación (C-S-H, CH, ettringita)

Durante la hidratación del cemento Portland se forman diversos productos, entre los que destacan el silicato de calcio hidratado (C-S-H), el hidróxido de calcio (CH) y la ettringita. El C-S-H constituye la principal fase responsable del desarrollo de la resistencia y de la cohesión de la matriz cementicia. Por su parte, el hidróxido de calcio se genera principalmente durante la hidratación de los silicatos cálcicos y contribuye al mantenimiento de la elevada

alcalinidad del medio, aunque su aporte directo a la resistencia es menor que el correspondiente al C-S-H.

La ettringita se forma principalmente durante las primeras etapas de hidratación mediante la reacción de las fases aluminato del cemento, especialmente el aluminato tricálcico (C_3A), con los sulfatos disponibles en el sistema. Su formación inicial constituye un proceso normal de la hidratación del cemento y participa en la regulación de la reacción de los aluminatos y del proceso de fraguado. Por tanto, la presencia de ettringita no debe considerarse de manera general como perjudicial; los problemas de expansión y deterioro se encuentran asociados a condiciones específicas en las que puede producirse formación tardía o secundaria de fases expansivas (John y Lothenbach, 2023).

2.2.4. Papel de las partículas finas en la hidratación del cemento

La hidratación cementicia representa una serie de reacciones químicas donde las fases del clinker se combinan con el agua para producir compuestos hidratados que otorgan cohesión, resistencia y durabilidad al concreto. En este proceso, las partículas finas ya sean intrínsecas al cemento o incorporadas como adiciones minerales desempeñan un papel determinante al modificar la velocidad de reacción, la configuración microestructural y sus propiedades resistentes del material.

De acuerdo con Bentz y Ferraris (2017), el incremento del área superficial específica del material ocasionado por la incorporación de partículas de menor tamaño acelera la cinética de hidratación debido a la presencia de más sitios activos donde se desarrolla la formación del gel C-S-H. Este fenómeno, conocido como efecto de nucleación, promueve una mayor liberación de calor y una ganancia temprana de resistencia en las primeras edades del concreto. En consecuencia, la incorporación de partículas ultrafinas puede mejorar la eficiencia de la hidratación y el desempeño mecánico inicial de las mezclas cementicias.

Por otra parte, Scrivener, Snellings y Lothenbach (2015) sostienen que las partículas finas también ejercen una función física mediante el denominado efecto de relleno (filler effect). Este mecanismo ocurre debido a que las partículas finas ocupan los espacios libres dentro de la mezcla, incrementando la compactación de la matriz y reduciendo la porosidad capilar conectada. Una menor porosidad se traduce en un concreto más compacto, con mayor resistencia a la compresión y una durabilidad superior frente a agentes externos como sulfatos, cloruros o dióxido de carbono.

2.2.4.1. Teoría de empaquetamiento de partículas

Esta teoría explica la forma en que las partículas de distintos tamaños se acomodan y distribuyen espacialmente para minimizar espacios intersticiales y vacíos presentes en un sistema granular. De Larrard (1999) estableció que la densidad de empaquetamiento de una mezcla de partículas depende de la distribución granulométrica del sistema: cuando partículas de tamaño pequeño se incorporan a una mezcla de partículas grandes, las primeras ocupan los intersticios entre las segundas, aumentando la compacidad del conjunto y reduciendo la fracción de vacíos. Este principio tiene aplicaciones directas en el diseño de mezclas cementicias, donde la incorporación de partículas finas como el filler calizo puede mejorar el empaquetamiento del sistema cemento-filler y reducir la porosidad de la pasta endurecida.

En el contexto de las mezclas de concreto, el empaquetamiento de partículas determina la proporción de agua necesaria para saturar los espacios libres entre las partículas y lubricar el sistema, lo que a su vez establece el índice de agua/cemento efectivo del concreto elaborado. Bentz y Ferraris (2017) demostraron que la adición de partículas finas a una mezcla cementante reduce la fracción de vacíos entre los granos de cemento, permitiendo obtener la misma trabajabilidad con menor contenido de agua o, alternativamente, mejorar la resistencia final sin modificar la relación agua/cemento.

2.2.5. El filler calizo como adición mineral

2.2.5.1. Características del filler calizo

El polvo de piedra caliza es la derivación o residuo de la industria de piedra caliza. Resulta sencillamente de la fase de trituración durante la producción de áridos. Naturalmente estos residuos generados del procesamiento de piedra caliza, se presentan como desechos en forma de granos finos o gruesos y pueden usarse fácilmente como materiales sustitutos del cemento (Li, 2024).

El filler calizo se denomina un material mineral de origen natural, escogidos adecuadamente por su gradación, que se relacionan con el cemento Portland para mejorar sus propiedades físico-mecánicas (Miller y Sigüenza 2023).

Gomez y Herrera (2024) señalan al filler calizo como un residuo de la producción de roca caliza destacándose como un material empleado como sustituto parcial del cemento y recurso mineral natural, utilizado en forma de adición fina en la elaboración de hormigones, resultando efectivo en la industria de la construcción.

El uso del filler calizo ha despertado un creciente interés como alternativa viable para su aplicación como material cementante suplementario, debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y propiedades favorables. Factores como el tamaño de partícula, el porcentaje de adición, la velocidad de disolución, el polimorfismo y sus características mineralógicas influyen directamente en el desarrollo de efectos de sus propiedades mecánicas, relleno, trabajabilidad y durabilidad en los materiales elaborados a base de cemento (Haque et al., 2025).

2.2.5.2. Propiedades físicas del filler calizo

Color. El filler calizo se presenta generalmente con un color blanco grisáceo, característico de los materiales calcáreos finamente molidos.

Figura 1

Color del filler calizo utilizado en la sustitución parcial del cemento.



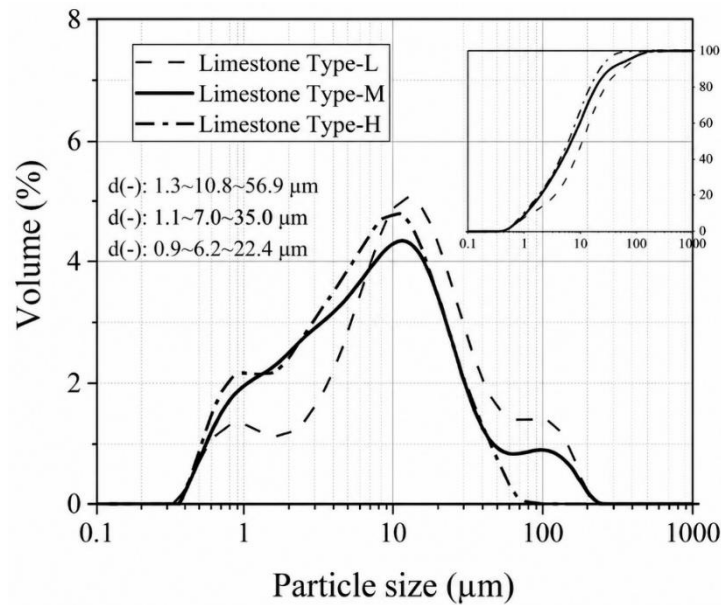
Densidad. Idrogo (2025) reporta que el filler calizo presenta una densidad real de 2.77 kg/dm^3 , equivalente a 2.77 g/cm^3 . Este parámetro expresa la relación entre la masa del material y su volumen real y constituye una propiedad física importante para su caracterización y dosificación en mezclas cementicias.

Dureza. La roca caliza de la que se obtiene el filler calizo, presenta una dureza moderada, lo que ayuda a que el concreto obtenga una mayor resistencia. Además, esta propiedad permite que actúe como un material de relleno, ocupando los espacios vacíos dentro de la mezcla, logrando una mejor compactación en el concreto (Idrogo, 2025).

Tamaño de partícula. Her et al. (2024) indican que se trata de un subproducto de partículas finas, originarias de la piedra caliza, cuyo tamaño de partículas se concentran aproximadamente entre $1 \text{ }\mu\text{m}$ y $100 \text{ }\mu\text{m}$. Se considera que 1000 micrómetros equivalen a 1 milímetro.

Figura 2

Distribución del tamaño de partícula de los materiales cementicios.



Nota: La figura muestra el tamaño de partícula de tres tipos de filler calizo L (bajo), M (medio) y H (alto) que se diferencian por su superficie específica. Tomado de (Her et al., 2024).

Peso específico y contenido de humedad. Ruiz (2023) en su estudio, afirma que el residuo del polvo de la piedra caliza contiene un peso específico de 2.634 gr/cm³ y un contenido de humedad de 3.16 %, por causa de ser residuo y estar sin algún uso.

2.2.5.3. Propiedades químicas de filler calizo

Composición. Para definir la composición del filler calizo no contamos con una normativa existente peruana o instrucciones que fijen un ensayo, procedimientos o métodos determinados, Sin embargo, existe investigaciones actuales que emplean herramientas para caracterizar los materiales, entre ellos se encuentra la difracción de rayos X y la espectrometría de fluorescencia de rayos X, usados para identificar su composición química y mineralógica de gran variedad de materiales, incluido el polvo de piedra caliza.

Bilo et al. (2024) describen a la espectrometría de fluorescencia de rayos X como un método instrumental no destructivo que identifica los elementos químicos compuestos en un material. Se basa generalmente en la irradiación a un material desde una fuente que emite partículas de alta energía, observándose una fotoluminiscencia en la región de los rayos X que

son generados por los átomos que ascienden magnitudes altas de energía. Esta ionización se produce por la transición de electrones en la capa interna del átomo.

Por su parte, Tovar (2022) señala a la difracción de rayos X como un procedimiento que no altera la integridad del material, que sirve para brindarnos información cualitativa y cuantitativa de su composición mineralógica, entre ellas su estructura cristalina, minerales presentes y grado de impureza. Usa ondas electromagnéticas que caen sobre los átomos del cristal, dispersándose por los electrones internos y generando fenómenos de interferencia constructiva y destructiva. Estas ondas se dispersan y se superponen produciendo variaciones altas de difracción, rescatando y calculando los compuestos característicos del material.

Según los autores Mohit et al. (2023) y Her et al. (2024) recalcan que para hallar la composición química del filler calizo, se evalúan mediante un análisis de espectrometría de fluorescencia de rayos X, identificando la cantidad de elementos presentes y el porcentaje de contenido de cada uno de ellos. Por otro lado, se hace el análisis de difracción de rayos X para determinar la cantidad de carbonato de calcio (CaCO_3).

Tabla 1

Especificaciones de composición del filler calizo

Composición química y mineralógica	Contenido en el filler calizo (%)
Dióxido de silicio (SiO_2)	0.14
Óxido de alumini (Al_2O_3)	0.05
Óxido de hierro III (Fe_2O_3)	0.008
Óxido de calcio (CaO)	55.41
Óxido de magnesio (MgO)	0.75
Óxido de potasio (K_2O)	0.03
Óxido de sodio (Na_2O)	0.01
Trióxido de azufre (SO_3)	0.0003
Pérdida por quemado	43.6
Carbonato de calcio (CaCO_3)	98

Nota. (Mohit et al., 2023)

Reactividad. La capacidad de reactividad de los materiales calcáreos, entre ellos el filler calizo, al mezclarse con el cemento depende netamente de la naturaleza de la roca calcárea de la cual proviene y de su estado de cristalización. Por ejemplo, una calcita (CaCO_3), mineral que contiene el más alto porcentaje de la composición de caliza, la constitución de una red cristalina desordenada en la calcita genera una mayor y mejor resistencia que una calcita de una red ordenada. Por lo cual el proceso de molienda puede desordenar la estructura interna y ser una estrategia efectiva para aumentar la reactividad del material y aumentar la superficie específica por la disminución de partícula (Miller y Sigüenza, 2023).

2.2.6. Influencia del filler calizo en el concreto

El filler calizo es un material mineral fino constituido predominantemente por carbonato de calcio (CaCO_3), cuya incorporación en sistemas cementicios puede producir efectos físicos y, en menor medida, interacciones químicas. Su comportamiento depende de factores como la finura, el porcentaje de incorporación, la composición del cemento, la cantidad de agua y las características de los demás materiales que conforman la mezcla. Por ello, no resulta adecuado considerarlo como un material completamente inerte ni, en sentido contrario, como una adición altamente reactiva (Chan y Zhang, 2023).

Su acción es predominantemente física y puede manifestarse mediante el efecto de relleno, asociado con la ocupación de espacios entre partículas, y el efecto de nucleación, debido a que las superficies del filler pueden proporcionar sitios para la precipitación de productos de hidratación. Paralelamente, el carbonato de calcio puede presentar una interacción química limitada con las fases aluminato del cemento, favoreciendo la formación de carboaluminatos. La magnitud relativa de estos mecanismos depende de la cantidad y finura del filler calizo y de la composición del sistema cementicio (dos Santos et al., 2024).

2.2.6.1. Efecto de relleno

Vinculado al tamaño de partícula. Cuando las partículas del filler calizo son más finas que los granos de cemento, rellenan los espacios vacíos entre estos, mejorando la distribución granulométrica y, en consecuencia, aumentando su empaquetamiento. Este mecanismo puede favorecer una mayor compacidad de la matriz cementicia y, dependiendo de las condiciones de la mezcla, contribuir al comportamiento mecánico del material.

2.2.6.2. Efecto de nucleación

El filler calizo, que es un relleno calcáreo, actúa como punto de inicio para que se formen los productos de la hidratación del cemento, ayudando así a que las reacciones ocurran más rápido. Cuando las partículas del filler son más pequeñas, su superficie aumenta y pueden atraer mejor las sustancias del cemento y del agua, favoreciendo las reacciones químicas. Por eso, el filler calizo resulta más efectivo que otros materiales minerales como el cuarzo o la escoria, ya que facilita con mayor intensidad la formación de los compuestos del cemento y acelera el proceso de endurecimiento del concreto.

2.2.6.3. Efecto químico

El uso de filler calizo en cemento Portland se origina en la formación de carboaluminatos en la mezcla. En general, la inclusión de un 4 % es suficiente para producir este efecto. El efecto químico está influenciado por el tamaño de las partículas de filler calizo, la cantidad de alúmina en el cemento y otros aditivos como el metacaolín. El relleno calcáreo puede reaccionar con el aluminato tricálcico o la aluminoferrita tetracálcica del cemento o con los aluminatos de otras adiciones minerales, formando así carboaluminatos. Sin embargo, como la cantidad de estos compuestos en el cemento es limitada, el efecto químico del filler calizo no suele ser muy fuerte o dominante.

El filler calizo es el material más popular en mezclas de concretos sostenibles, autocompactante y de alta resistencia que se ha utilizado ampliamente debido a su fácil

disponibilidad y bajo costo. Por eso, crearon normas basadas en el uso de filler calizo recomendada para las aplicaciones en concretos, como la norma europea (EN 197-1), la norma estadounidense (ASTM C595), la norma canadiense (CSA A3001-10) y la norma china (JC/T 600-2010) (Yousif y Khalid 2021).

2.2.7. Sostenibilidad entre el filler calizo y el concreto

El filler calizo representa un papel clave en la sostenibilidad, al posibilitar una menor demanda de cemento Portland en la composición del concreto, carga ambiental que genera la industria cementera. Por lo tanto, la incorporación de filler calizo contribuirá a la reducción de la liberación de CO₂ derivada de la producción de hormigón (dos Santos et al., 2024).

Para abordar los problemas ambientales y combatir el cambio climático, el CaCO₃ necesario puede obtenerse de ciertos materiales minerales presentes como el filler calizo. Es evidente que el uso de filler calizo como sustituto en el cemento puede proporcionar rendimientos deseados y minimizar el impacto ambiental. Dado que las industrias cementeras generan huella de carbono y liberan grandes cantidades de residuos sólidos. Usar los materiales minerales pueden reducir el contenido de clínker, disminuir las emisiones de CO₂ y a su vez, aprovechar estos residuos sólidos. Por lo tanto, el concreto, puede adoptar como una alternativa al polvo de piedra caliza que puede sustituir parcialmente al cemento (Chan y Zhang 2023).

2.2.8. Usos de filler calizo

De acuerdo a Miller y Sigüenza (2023), el polvo de piedra caliza presenta viabilidad en diversos sectores de la industria y la ingeniería:

- Para proyectos civiles y de construcción sirve como material cementante suplementario en concretos y morteros, como aditivo para mejorar capacidades portantes del suelo, elaboración de ladrillo, entre otros.

- En el campo industrial lo usan para la elaboración de sellantes, pinturas y barnices, también aporta en la fabricación de plásticos como tuberías, accesorios de polietileno y caucho.
- En el medio ambiente se usa para mitigar las emisiones de la huella de carbono, generando sostenibilidad y aprovechamiento de residuos, aplica también en el tratamiento de efluentes, depuración de aguas y procesos de filtración.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Concreto

El concreto resulta de la integración del cemento, el agua y los agregados, a los que se suman el aire atrapado y, según los requerimientos de la mezcla, distintos tipos de aditivos. Al integrarse y endurecerse, este material adquiere las propiedades de una roca artificial, lo que lo hace adecuado para su uso en diversas estructuras del sector de la construcción. En la composición del concreto, los agregados representan la mayor proporción del volumen, con porcentajes que oscilan entre el 60 % y el 75 %. El cemento representa entre el 7 % y el 15 %, mientras que el aire atrapado equivale a entre el 1 % y el 3 % del volumen total (Condori, 2024).

El concreto es un material compuesto de naturaleza heterogénea, conformado por la mezcla de un aglomerante hidráulico (cemento Portland), agregados de diferentes granulometrías (finos y gruesos), agua y, de manera opcional, aditivos químicos o adiciones minerales. La reacción del cemento con el agua produce un proceso de hidratación que genera una pasta capaz de unir las partículas de agregado al endurecerse, formando así un sólido de alta resistencia mecánica denominado concreto endurecido (Neville y Brooks, 2010).

2.3.1.1. Cemento portland

El cemento es un material de aspecto pulverulento y de comportamiento hidráulico que se produce mediante la calcinación de calizas, arcillas y minerales de hierro a temperaturas

cercanas a 1 450 °C. Posteriormente, este material se pulveriza junto con yeso y otros aditivos químicos, que determinan las características y el tipo de cemento en función de su uso previsto (Cemex, 2023)

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.001:2022, el cemento portland se define como un cemento hidráulico elaborado a partir de la molienda del clínker de portland, cuyo principal constituyente son los silicatos de calcio. Generalmente, durante su fabricación se incorporan una o más formas de sulfato de calcio para modificar sus propiedades.

De acuerdo con Claverie et al. (2022), la composición esencial del cemento portland se basa en cuatro fases mineralógicas principales: alita (silicato tricálcico), belita (silicato dicálcico), celita (aluminato tricálcico) y felita (aluminoferrita tetracálcica), cada una de las cuales aporta propiedades específicas al producto final.

Tabla 2

Principales compuestos mineralógicos del clínker del cemento portland

Componente	Denominación	Proporción aproximada	Función principal
C ₃ S	Alita	50 % – 70 %	Responsable del desarrollo de la resistencia inicial y de la mayor liberación de calor durante la
C ₂ S	Belita	15 % – 30 %	Contribuye principalmente al desarrollo de la resistencia mecánica a largo plazo.
C ₃ A	Celita	5 % – 10 %	Favorece la resistencia temprana y presenta elevada liberación de calor durante la hidratación.
C ₄ AF	Felita	5 % – 15 %	Influye en el fraguado del cemento y mejora la resistencia frente al ataque de sulfatos.

Nota. Adaptado de Claverie et al. (2022).

2.3.1.2. Agregado fino

Según la NTP 400.011:2020, este material proviene de la desintegración de roca volcánica, la cual puede producirse de manera natural o mediante procesos artificiales; además, debe cumplir con la NTP 400.037:2025, en la que el módulo de finura permite determinar si el agregado corresponde a una arena fina o una arena gruesa. Además, debe atravesar el tamiz de 9,5 mm (3/8") y quedar retenido en el de 75 μm (N.º 200).

2.3.1.3. Agregado grueso

La piedra triturada, la grava, el concreto triturado y el concreto reciclado son algunos ejemplos de agregados gruesos, siempre que cumplan con las especificaciones de la NTP 400.037:2025 y se elaboren de acuerdo con la norma ASTM C33.

Además de contribuir a la densidad del concreto, el agregado grueso ayuda a controlar las variaciones de volumen que se producen durante el fraguado (Ruiz, 2021).

2.3.1.4. Agua para concreto

El agua utilizada para la elaboración del concreto presenta un papel muy importante ya que tiene la función de hidratar el cemento, facilitando las reacciones químicas esenciales para la formación de la resistencia y la durabilidad del concreto. De igual manera, impacta en la trabajabilidad de la mezcla al momento de su aplicación. El agua utilizada debe cumplir con los criterios de composición y rendimiento establecidos para asegurar que no perjudique las características del concreto fresco y endurecido, pudiendo ser de fuentes potables, no potables o de procesos de elaboración de concreto, siempre que respete las especificaciones y pruebas estipuladas en la Norma Técnica Peruana NTP 339.183:2021 (INACAL, 2021).

2.3.1.5. Propiedades de los agregados

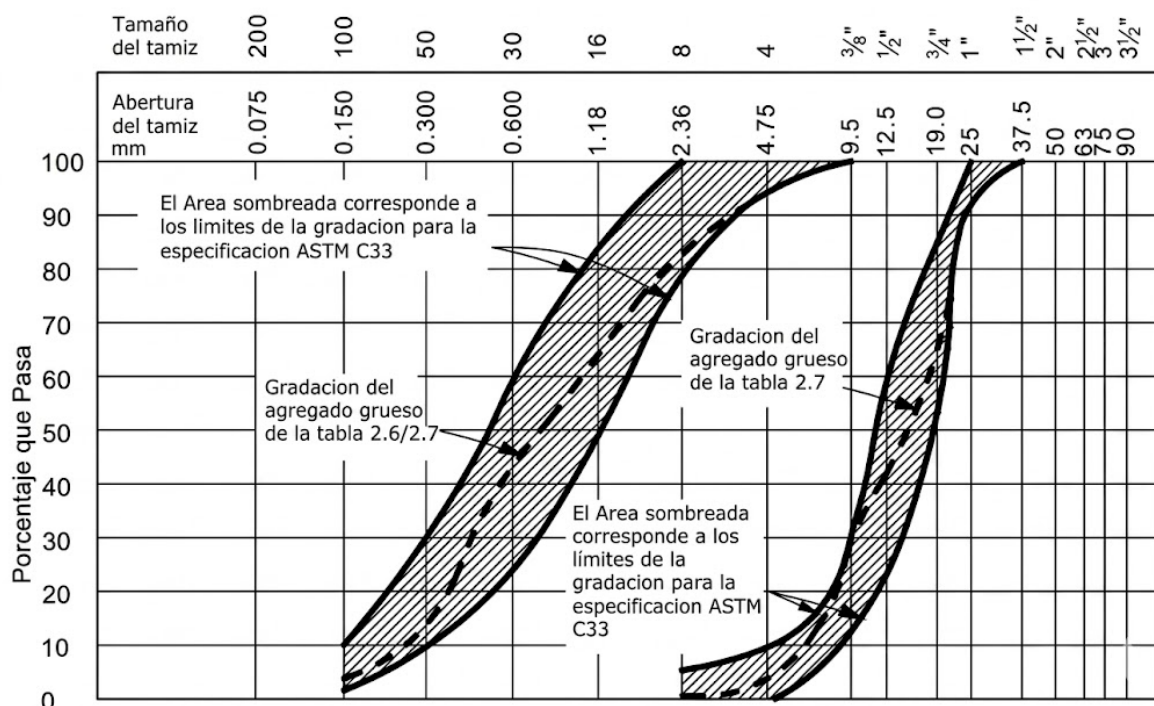
Las propiedades que presentan los agregados permiten conocer su calidad y comprender cómo influyen en el comportamiento del concreto, se puede determinar sus propiedades

mediante los ensayos normalizados en laboratorio, establecidos por las normas, tales como el NTP y ASTM.

Análisis granulométrico. El análisis granulométrico es el procedimiento utilizado para identificar cómo se distribuyen las diferentes dimensiones granulares presentes en los agregados. Se determina mediante el proceso denominado granulometría, técnica que permite separar la muestra de agregado en porciones de tamaño homogéneo (Centurión, 2022). Para determinar si la distribución es la correcta, se utilizan los husos granulométricos, que son empleados como rangos establecidos en las normas y dentro de los que se debe encontrar la gradación de los agregados que permitan su uso correcto.

Figura 3

Gradación de la Arena y del Agregado Grueso



Además, mediante este proceso se identifican parámetros clave, como el tamaño máximo (TM) y el tamaño máximo nominal (TMN), fundamentales que describen cómo se distribuyen las partículas dentro de los áridos.

Tamaño máximo (TM): El Instituto Nacional de Calidad (INACAL, 2021) indica que, el tamaño máximo corresponde a la malla de menor apertura por el que logra pasar la muestra completa del agregado.

Tamaño máximo nominal (TMN): Este parámetro se refiere al tamiz de menor tamaño de la serie estándar que, al analizar la muestra, genera el primer porcentaje acumulado retenido entre el 5 % y el 15 %. Así, el TMN funciona como indicador representativo de la granulometría del agregado (INACAL, 2021).

Módulo de finura. Según Bustamante (2024) establece al módulo de finura como un indicador que permiten evaluar la granulometría de los agregados y estimar si predominan las partículas finas o gruesas. Se obtiene mediante la división entre la acumulación de los porcentajes retenidos correspondientes en las mallas estandarizadas sobre 100. La NTP 400.037:2025 indica que un agregado fino debe tener un rango admisible del módulo de finura (MD) comprendido entre un valor mínimo de 2.3 y un valor máximo de 3.1.

$$MF = \frac{\sum(\% \text{ retenido acumulado})}{100} \quad (1)$$

Donde: MF = módulo de finura; Σ (% retenido acumulado) = Acumulado porcentual del material retenido; y 100 = factor de normalización.

Contenido de humedad. Es la proporción de agua que contienen los agregados respecto a su masa seca. Esta cantidad puede modificarse dependiendo tanto del modo de almacenamiento de los agregados como de las condiciones ambientales (Idrogo, 2025).

$$p = \frac{(W - D)}{D} * 100 \quad (2)$$

Donde: p = porcentaje total de humedad evaporable presente en la muestra (%); W = masa inicial de la muestra en estado húmedo (g); y D = masa de la muestra en estado seco (g).

Peso específico y absorción. Se entiende por peso específico a la relación masa–volumen que ocupan los agregados, excluyendo los espacios vacíos. A su vez, la absorción indica cuánta agua pueden almacenar los poros del agregado. En primer lugar, si los agregados presentan un peso específico elevado y una absorción baja, es más probable que el concreto resultante sea más denso y resistente. Además, para obtener estos valores, se aplican los lineamientos descritos en la NTP 400.021:2020 para agregados gruesos, así como en la NTP 400.022:2024 para agregados finos (Bustamante, 2025).

Para agregado fino

$$P_{em} = \frac{W_o}{V - V_a} \times 100 \quad (3)$$

$$P_{eSSS} = \frac{500}{V - V_a} \times 100 \quad (4)$$

$$P_{ea} = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100 \quad (5)$$

$$Ab (\%) = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100 \quad (6)$$

Donde: P_{em} = gravedad específica en masa; P_{eSSS} = gravedad específica en estado saturada superficialmente seca (SSS); P_{ea} = peso específico en condición aparente; Ab = absorción (%); W_o = masa de la muestra después del secado en horno (g); V = volumen del recipiente (cm³); y V_a = peso (g) o volumen (cm³) del agua añadida al recipiente y 500 = masa del material en estado SSS (g).

Para agregado grueso

$$P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100 \quad (7)$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100 \quad (8)$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B - C)} \times 100 \quad (9)$$

$$Ab (\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad (10)$$

Donde: Pem = densidad relativa en masa; Pea = densidad relativa aparente; $PeSSS$ = densidad relativa en estado saturada superficialmente seca (SSS); Ab = absorción (%); A = masa del material secada en horno, determinada en el aire (g); B = masa del material saturada superficialmente seca, determinada en el aire (g); y C = masa del material saturado, determinada en el agua (g).

Peso unitario suelto. Es obtenido mediante la relación entre la masa del agregado (arena o piedra) y el volumen que ocupa al encontrarse en estado suelto y sin compactar. Este valor es muy importante ya que permite estimar las cantidades necesarias de agregados para la elaboración del concreto en la obra y permite prever las variaciones del volumen que puede generarse durante el almacenamiento, transporte, manipulación o compactación del material. Su determinación se realiza de acuerdo al método de ensayo establecido en la NTP 400.017:2020 (INACAL, 2020).

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen del recipiente}} \quad (11)$$

Peso unitario compactado. Se refiere al peso del agregado por unidad de volumen cuando los granos han sido sometidos a un proceso de compactación estándar aumentando el grado de acomodo de las partículas, según lo establece la NTP 400.017:2020 (INACAL, 2020).

$$PUC = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen del recipiente}} \quad (12)$$

Material más fino que pasa el tamiz normalizado 75 µm (N.º 200). El material que pasa por la malla normalizada de tamaño de partícula 75 µm (N.º 200) se considera material fino. Cuando este material se separa mediante lavado, se mide la proporción de partículas finas presentes en los agregados que atraviesan el tamiz de 75 µm (N.º 200) tras el lavado. Este parámetro ayuda a identificar impurezas y materiales finos que pueden afectar las propiedades

y el comportamiento del concreto. La determinación se realiza conforme a la NTP 400.018:2020 (INACAL, 2020).

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} * 100 \quad (13)$$

Donde: A = porcentaje de material más fino que pasa el tamiz de 75 µm (N.º 200) por lavado (%); P₁ = masa del material seca antes del lavado (g); y P₂ = masa del material seca después del lavado y secado en horno (g).

Resistencia de los agregados gruesos frente a abrasión e impacto. Para evaluar la durabilidad de los agregados gruesos ante el desgaste, se aplica el ensayo de desgaste utilizando el equipo de Los Ángeles. Este procedimiento, se introduce una cantidad determinada de agregado dentro de un tambor metálico junto a doce bolas de acero, las cuales giran bajo un número específico de vueltas controladas. A medida que ocurre la rotación, se generan impactos entre las partículas y las esferas, lo que ocasiona la pérdida gradual de material. Al concluir la prueba, se determina el porcentaje de desgaste respecto al peso inicial de la muestra, con el fin de verificar si el agregado posee la calidad necesaria para ser empleado en la fabricación de concreto (Barajas et al., 2024; INACAL, 2020).

2.3.1.6. Propiedades del concreto en estado fresco

En un primer momento, el concreto exhibe una textura plástica y fácilmente moldeable, lo que posibilita su adaptación tanto a diversas formas como a componentes estructurales variados. Más adelante, dicho material adquiere solidez y pasa a ser un elemento capaz de resistir cargas de forma eficiente a lo largo del tiempo. Es importante señalar que, en estado fresco, el concreto puede analizarse a través de características tales como la consistencia, el aire contenido, la masa unitaria, la temperatura y el proceso de fraguado, entre otras (López et al., 2022).

Figura 4

Propiedades del concreto en estado fresco



Nota. (Salazar, 2023).

Trabajabilidad. La trabajabilidad se caracteriza en el concreto cuando este está en estado fresco y tiene la capacidad para ser manipulada y colocada con facilidad sin que se genere segregación. Esta propiedad influye en gran medida el esfuerzo necesario durante el transporte, vaciado, compactación y acabado del concreto. Es por ello que es muy importante mantener una adecuada trabajabilidad que permite ejecutar trabajos de construcción con mayor facilidad y eficiencia, conservando la uniformidad de la mezcla y reduciendo el riesgo de segregación. (SENCICO, 2024).

Asentamiento. Se define como la consistencia o fluidez del concreto recién mezclado, influye directamente en su trabajabilidad y facilidad de vaciado por la capacidad que este material presenta para desplazarse y acomodarse bajo su propio peso (Bustamante, 2024). Se determina mediante el ensayo del cono de Abrams, de acuerdo a lo establecido en la norma NTP 339.035 (INACAL, 2022). Esta prueba permite determinar lo seca o fluida en la que se encuentra la mezcla en su estado plástico, midiendo la diferencia de altura entre la altura final que alcanza el concreto ensayado al retirar el molde de forma vertical y el molde colocado en forma invertida.

Segregación. Es un fenómeno que ocurre cuando los diferentes materiales que componen el concreto en estado fresco tienden a separarse. En este proceso las partículas de mayor tamaño

y peso tienden a descender al fondo de la mezcla, mientras que las más livianas ascienden a la superficie. Esto reduce la homogeneidad de la mezcla produciendo una pérdida de resistencia y durabilidad del concreto. (Salinas et al., 2023).

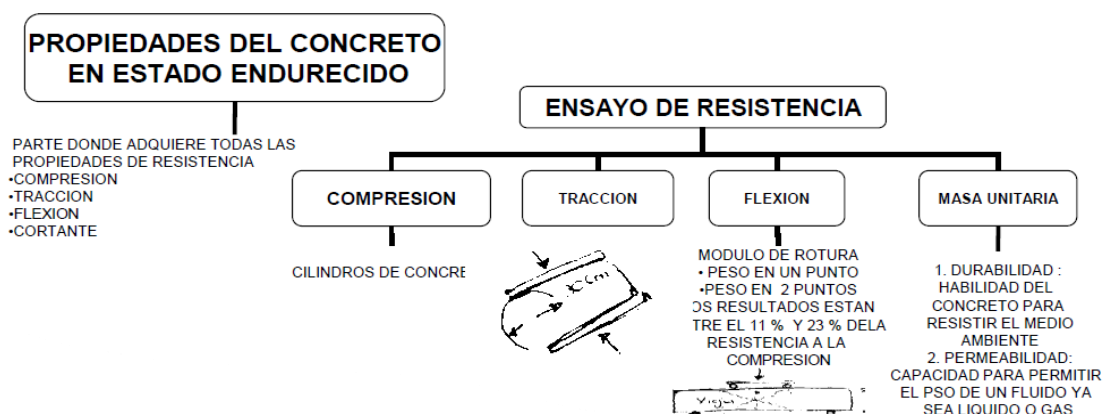
Exudación. Es el ascenso del agua de la mezcla del concreto que recién se ha vertido hacia la superficie generado por el proceso de sedimentación de los componentes sólidos de la mezcla. Es un tipo de segregación que se genera en el concreto en estado fresco, que en pequeñas cantidades es normal, puede ayudar a reducir fisuras por contracción y la relación agua cemento con una influencia significativa en las resistencias. Sin embargo, al ascender desde el interior esta genera conductos capilares que pueden disminuir la impermeabilidad al concreto (Fuentes, 2025).

2.3.1.7. Propiedades del concreto en estado endurecido

El concreto no sólo se basa en su comportamiento mientras se encuentra en estado fresco, sino también una vez completado el proceso de endurecimiento. En esta etapa, la característica sobresaliente es su capacidad para resistir fuerzas de axiales, que es un parámetro clave para el diseño estructural de edificaciones (López et al., 2022).

Figura 5

Propiedades del concreto en estado endurecido



Nota. (Salazar, 2023).

Resistencia a la compresión. Choure et al. (2022) conceptualizan al comportamiento frente a cargas axiales del concreto como la capacidad que tiene un cuerpo sólido para hacer frente a los esfuerzos impuestos sobre el elemento sin sufrir fisuras ni alteraciones en su forma, además señalan que cuando un elemento está sometido a una carga de compresiva, provoca la reducción de su dimensión, en cambio, al actuar bajo una carga de tensión tiende a alargarse.

La resistencia compresiva representa la presión máxima de compresión que un material puede resistir antes de colapsar. En el caso del concreto, esta característica es especialmente importante, ya que es un material compuesto que se destaca a compresión, pero es bastante frágil en tracción. La resistencia a la compresión del concreto es un factor clave en su capacidad de carga y, por ende, es un elemento fundamental en el diseño y la edificación de diferentes tipos de infraestructura, como edificios, puentes, presas y pavimentos (Marchewka et al., 2025).

Según lo establecido en la NTP 339.034:2021 la resistencia a compresión se determina mediante la aplicación de una carga axial sobre especímenes cilíndricos hasta producir su ruptura. Se calcula mediante la siguiente expresión.

$$f'c = \frac{P_{\text{máx}}}{A} \quad (14)$$

Donde: $f'c$ = resistencia a la compresión (kg/cm^2); P = carga máxima de rotura (kg); A = área de la sección transversal de la probeta (cm^2).

Asimismo, la norma indica el plazo establecido en que se deben ensayar a rotura los especímenes que corresponden a la misma edad de evaluación. Además, existen seis tipos de fracturas que pueden identificarse en los especímenes durante el ensayo de resistencia a compresión.

Figura 6

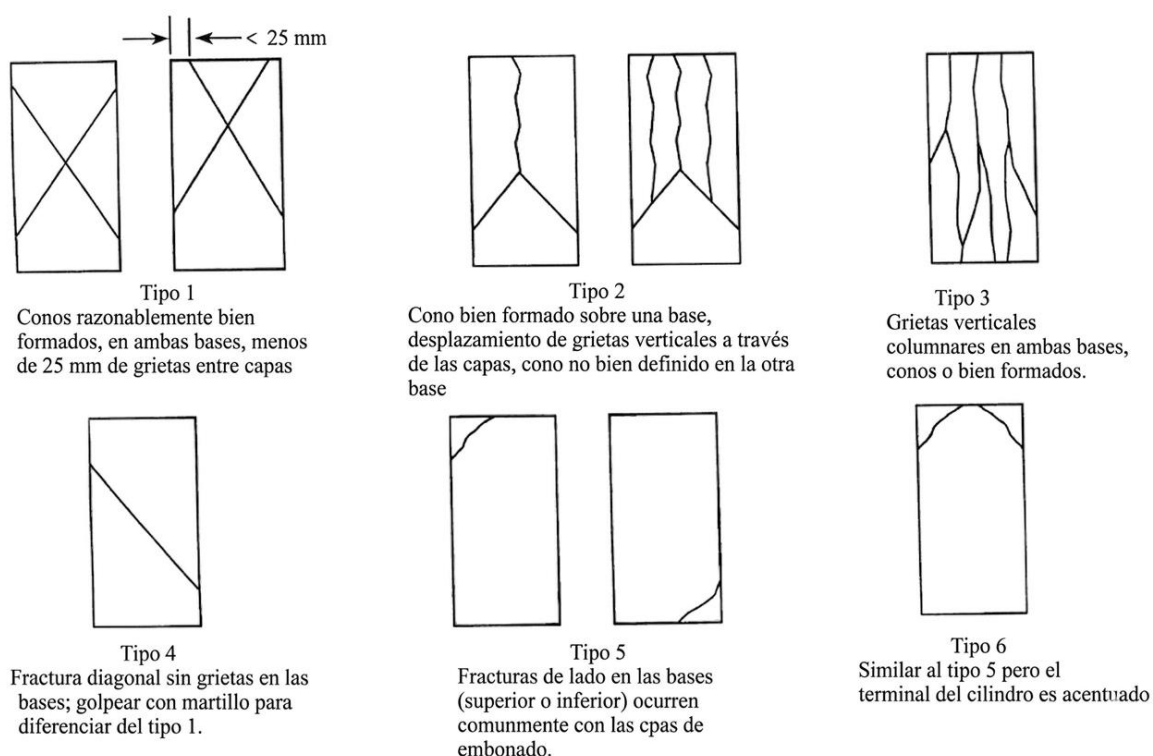
Edades de ensayo y tolerancias permisibles.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h
3 d	± 2 h
7 d	± 6 h
28 d	± 20 h
90 d	± 48 h

Nota. Los especímenes de concreto deben ensayarse dentro de los límites de tiempo permitidos para cada edad de evaluación establecida por la norma. Adoptado de la Norma NTP 339.034 (2021).

Figura 7

Esquema de los patrones de tipos de fracturas al soportar cargas axiales



Nota: Norma NTP 339.034 (2021)

Capacidad resistente a la tracción. Es una prueba de tensión es la cantidad máxima de estrés por estiramiento que puede soportar un material antes de romperse. Durante este tipo de ensayo el material experimenta primero deformación elástica; al superar su límite de rendimiento este sigue deformándose plásticamente hasta llegar a su estrés máximo. La resistencia a la tracción corresponde al esfuerzo máximo que un material alcanza dentro de la curva esfuerzo–deformación de ingeniería e indica la máxima aptitud del elemento resistiendo esfuerzos que tienden a separarlo o estirarlo (Hasan, 2023).

Resistencia a la flexión. Esta propiedad también llamada como módulo de ruptura, se define como el mayor esfuerzo que puede soportar un material cuando esté sometido a una carga a lo largo de su eje longitudinal, es considerado un parámetro importante en estructuras como pavimentos, debido a que se encuentran sometidas constantemente a cargas vehiculares que generan flexión, afectando directamente su desempeño y durabilidad. (Bustamante, 2024).

2.3.2. Filler calizo

Gómez y Herrera (2024) señalan al filler calizo como un residuo de la producción de roca caliza destacándose como un material empleado como sustituto parcial del cemento y recurso mineral natural, utilizado en forma de adición fina en la elaboración de hormigones, resultando efectivo en la industria de la construcción.

2.3.3. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula corresponde a la dimensión característica de los granos que conforman un material. En esta investigación, el filler calizo se clasificó mediante tamizado, sin determinar un diámetro medio ni una distribución granulométrica detallada de sus partículas. Se utilizaron dos fracciones: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm , y material pasante por el tamiz N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 μm . Los valores de 106 μm y 75 μm

representan las aberturas nominales de los tamices empleados y no diámetros únicos de las partículas.

2.3.4. Sustitución parcial de cemento

Se refiere al uso alternativo de un material complementario como sustituto parcial del contenido de cemento en la mezcla, como el filler calizo, manteniendo el resto de los componentes de acuerdo con la dosificación establecida. Sánchez de Rojas et al. (2009) emplearon filler calizo en la elaboración de concreto reduciendo el contenido de cemento e incorporando material calcáreo fino dentro de la mezcla, a fin de evaluar el comportamiento que genera sobre sus propiedades que desarrolla el concreto durante el estado fresco y una vez completado el proceso de endurecimiento.

2.3.5. Difracción de rayos X (DRX).

Corresponde a un método analítico no destructivo, empleado para identificar de qué está compuesto un material, la estructura cristalina que lo compone y cómo están distribuidos esos cristales. No depende del estado en que se encuentra la muestra: ya sea en polvo, sólido o líquido. Esto se puede determinar debido a que la gran cantidad de materiales presentan en su composición partículas cristalinas.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo aplicada, debido a que empleó conocimientos relacionados con la tecnología del concreto para evaluar el comportamiento de la resistencia a la compresión mediante la sustitución parcial del cemento por filler calizo. Asimismo, se desarrolló bajo un diseño experimental factorial, considerando como factores el porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo y la fracción granulométrica evaluada. La resistencia a la compresión fue determinada a las edades de 7, 14 y 28 días mediante especímenes independientes previamente destinados a cada edad, debido al carácter destructivo del ensayo. Por tanto, las mediciones realizadas en las diferentes edades no correspondieron a observaciones repetidas sobre una misma unidad experimental.

Tabla 3

Tipo de Investigación según Criterios

Criterio de clasificación	Tipo y nivel de investigación
Naturaleza del enfoque	Cuantitativo
Propósito del estudio	Aplicado
Alcance de los objetivos	Explicativo
Diseño y control muestral	Experimental factorial
Fuente de obtención de la información	Primaria
Evaluación según edad de curado	7, 14 y 28 días con especímenes independientes
Contexto de desarrollo	Laboratorio

Nota. Tabla de resumen de criterios, tipos y niveles de investigación.

En cuanto a la metodología es de enfoque cuantitativo porque en esta forma de investigación, dan uso a herramientas numéricas y estadísticas que miden y analizan los datos.

Estableciendo una relación causal entre las variables y generalizando los hallazgos a una población más grande. Los datos se recogen realizando encuestas y experimentos controlados (Hadi et al., 2023).

El estudio posee un propósito aplicativo, de acuerdo con lo establecido por Castro et al. (2023), señalan que la investigación aplicada se caracteriza por desarrollar estudios originales cuyo propósito es generar nuevos conocimientos enfocados en la solución de problemáticas presentes en un contexto específico. También se fija en el uso práctico del saber científico, para enfrentar desafíos concretos o mejorar contextos previamente identificados. Siendo su objetivo el uso de los resultados investigativos para desarrollar soluciones prácticas que respondan a necesidades específicas en múltiples contextos (Vizcaíno et al., 2023).

De acuerdo con el alcance de los objetivos, la investigación fue de nivel explicativo, debido a que buscó evaluar la influencia del porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo y del tamaño de partícula sobre la resistencia a la compresión del concreto mediante la manipulación experimental de ambos factores. De manera complementaria, se aplicaron análisis de correlación y regresión a los 28 días para describir la asociación y tendencia entre el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión dentro de cada tamaño de partícula.

El diseño de la investigación es experimental factorial, siendo este uno de los más sólidos para determinar relaciones de causa y efecto, gracias al control que aplica sobre las variables y al uso de la aleatorización en la selección de los grupos. Su propósito es analizar cómo la manipulación de una o más variables independientes influye en una variable dependiente, permitiendo además evaluar de manera simultánea los efectos individuales de los factores y sus posibles interacciones, así como comparar los resultados entre distintos tratamientos bajo condiciones controladas. (Vizcaíno et al., 2023).

La evaluación de la resistencia se efectuó en tres edades de curado: 7, 14 y 28 días. Debido a que el ensayo de resistencia a la compresión implica la rotura del espécimen, para

cada edad se utilizaron probetas diferentes previamente asignadas a la condición experimental correspondiente. En consecuencia, las edades constituyeron momentos independientes de evaluación y no mediciones repetidas sobre los mismos especímenes.

Finalmente, el contexto del estudio se enmarca en un experimento de laboratorio, puesto que, de acuerdo con Vizcaíno et al. (2023), este tipo de escenario comprende “procedimientos específicos utilizados en investigaciones experimentales para controlar y manipular variables dentro de un ambiente controlado” (p. 9745). Este enfoque permite garantizar la validez de los resultados al minimizar la influencia de factores externos y mantener condiciones uniformes durante las pruebas realizadas.

3.1.2. Diseño de investigación

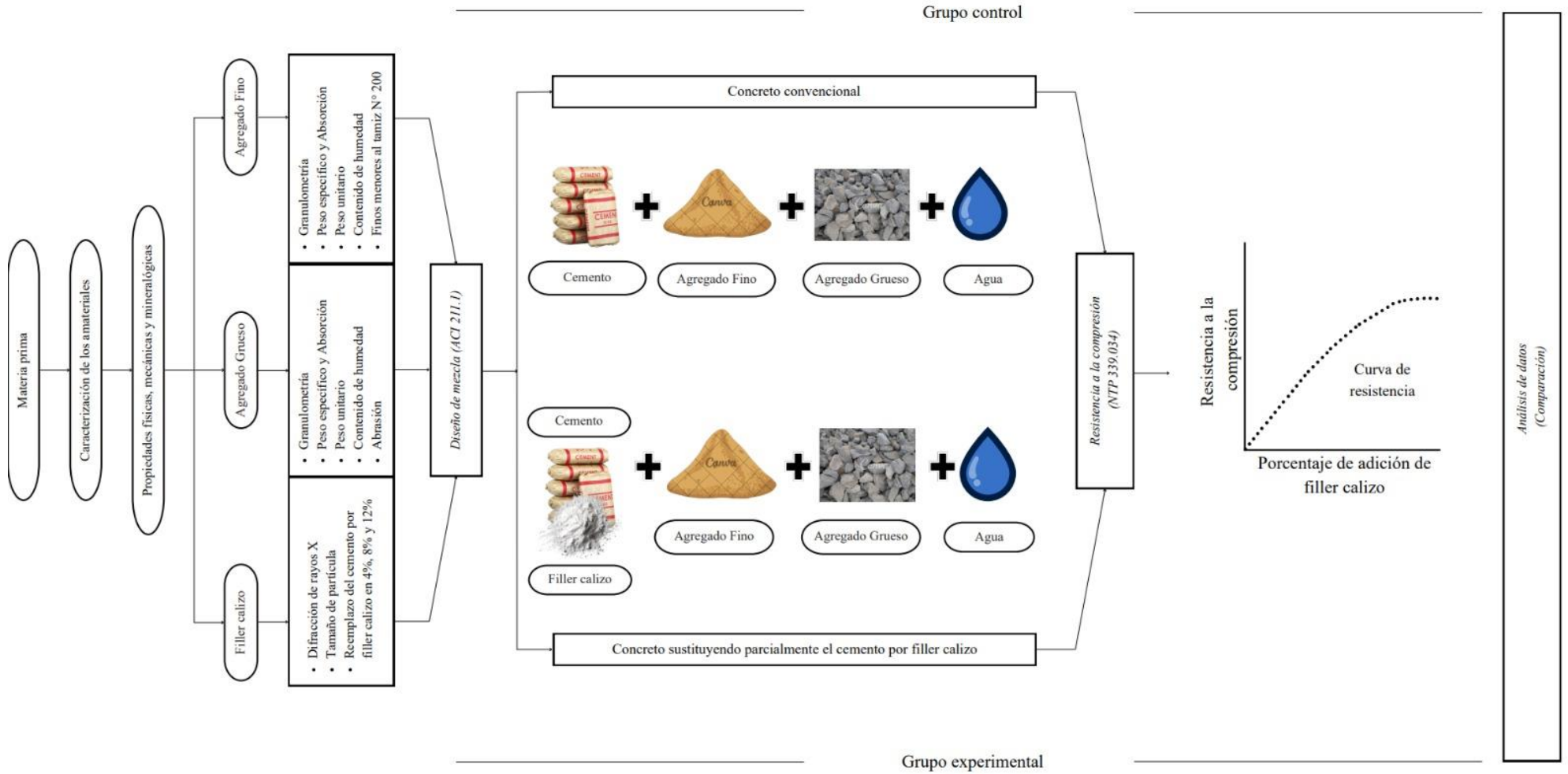
Los porcentajes de sustitución seleccionados se fundamentan en rangos ampliamente evaluados en investigaciones previas sobre el uso de filler calizo como material cementante suplementario (Herget et al., 2024; Miller y Sigüenza, 2023; Hidalgo, 2018). Estas investigaciones señalan que sustituciones bajas a moderadas, usualmente comprendidas entre 5 % y 15 %, producen variaciones significativas en el comportamiento mecánico del concreto sin afectar de manera negativa su trabajabilidad ni durabilidad. En ese sentido, los niveles adoptados en este estudio (4 %, 8 % y 12 %) se sitúan dentro de dicho intervalo, permitiendo analizar de forma representativa el efecto progresivo del filler calizo sobre la resistencia a la compresión.

Para la elaboración de las mezclas se utilizaron dos fracciones granulométricas de filler calizo: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm , y material pasante por el tamiz N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 μm . El tamaño de partícula constituyó uno de los factores experimentales, junto con el porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo. La incorporación de ambas fracciones permitió evaluar la influencia de la finura del material sobre la resistencia a la

compresión y analizar su efecto combinado con los diferentes niveles de sustitución. Para evaluar conjuntamente el porcentaje de sustitución y la fracción granulométrica del filler calizo, se consideró un diseño factorial 4×2 , conformado por cuatro niveles de sustitución de cemento por filler calizo (0 %, 4 %, 8 % y 12 %) y dos fracciones granulométricas, correspondientes al material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (75–106 μm), y al material pasante por el tamiz N.º 200 ($< 75 \mu\text{m}$). Esta estructura permitió evaluar de manera conjunta el efecto del porcentaje de sustitución, la fracción granulométrica y la interacción entre ambos factores sobre la resistencia a la compresión del concreto.

Figura 8

Diseño de Investigación Experimental



3.1.3. Métodos de investigación

En la investigación se empleó el método hipotético-deductivo. A partir de los antecedentes y fundamentos teóricos relacionados con el uso del filler calizo en materiales cementicios, se formularon hipótesis acerca de la influencia del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula sobre la resistencia a la compresión del concreto. Posteriormente, dichas hipótesis fueron sometidas a contrastación mediante la ejecución del diseño experimental, la obtención de resultados de laboratorio y la aplicación de los procedimientos estadísticos establecidos.

Este método permitió confrontar las proposiciones formuladas inicialmente con la evidencia experimental obtenida, a fin de establecer si existía sustento suficiente para las relaciones planteadas entre las variables de estudio.

3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.2.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en el distrito y provincia de Chota, departamento de Cajamarca, Perú. Los materiales empleados provinieron de fuentes locales: el agregado fino se obtuvo de la cantera El Arenal, ubicada en el distrito de Conchán, mientras que el agregado grueso y el filler calizo procedieron de la cantera Chuyabamba, ubicada en el distrito de Chota.

Los ensayos de caracterización física y mecánica de los agregados, el diseño de mezcla, la preparación y moldeo de los especímenes, el curado y los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en GSE Laboratorio Ingeniería & Construcción S.A.C., ubicado en la ciudad de Chota, previa autorización de la Universidad Nacional Autónoma de Chota para el uso de un laboratorio externo.

Por su parte, la caracterización mineralógica del filler calizo mediante difracción de rayos X (DRX) se realizó en el laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB Perú), ubicado en la ciudad de Lima.

3.2.2. Población

Según Hadi et al. (2023) definen a la población como “conjunto de individuos o elementos sobre los cuales se desea obtener información o conocimiento. En un estudio científico, la población es el grupo de individuos o elementos que tienen características específicas y sobre los cuales se quieren hacer inferencias o generalizaciones” (p. 70).

La población de estudio estuvo constituida por las mezclas de concreto diseñadas para una resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, elaboradas bajo las condiciones experimentales establecidas en la investigación y considerando diferentes porcentajes de sustitución parcial del cemento por filler calizo, tamaños de partícula y edades de curado.

Las mezclas se elaboraron con cemento Portland Tipo I Pacasmayo, agregado fino procedente de El Arenal, distrito de Conchán, agregado grueso y filler calizo procedentes de la cantera Chuyabamba, y agua potable. Los niveles de sustitución evaluados fueron 0 %, 4 %, 8 % y 12 % respecto al peso del cemento; se consideraron dos fracciones granulométricas del filler calizo: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (75–106 μm), y material pasante por el tamiz N.º 200 (< 75 μm), y las edades de ensayo fueron 7, 14 y 28 días.

3.2.3. Muestra

Vizcaíno et al. (2023), señalan que una muestra es un “subconjunto seleccionado de individuos, eventos o entidades extraídos de una población total o universo, con el propósito de llevar a cabo un estudio y hacer inferencias sobre dicha población” (p. 9750).

La muestra experimental estuvo constituida por 96 especímenes cilíndricos de concreto, distribuidos según las condiciones establecidas en la investigación. Para cada combinación de porcentaje de sustitución, fracción granulométrica y edad de ensayo se preparó una tanda de concreto, de la cual se moldearon cuatro especímenes cilíndricos destinados al ensayo de resistencia a la compresión. En cada jornada se elaboraron 16 probetas, correspondientes a cuatro tandas independientes según el porcentaje de sustitución: 0 %, 4 %, 8 % y 12 %, con

cuatro probetas obtenidas de cada tanda. Este procedimiento se realizó separadamente para las series asociadas a las dos fracciones granulométricas: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (75–106 μm), y material pasante por el tamiz N.º 200 (< 75 μm), considerando las edades programadas de 7, 14 y 28 días. Debido al carácter destructivo del ensayo, las probetas correspondientes a cada edad fueron especímenes diferentes.

Para la identificación de las mezclas se utilizaron los grupos G1, G2, G3 y G4 de acuerdo con el porcentaje de sustitución. G1 correspondió al concreto patrón con 0 % de filler calizo; G2, G3 y G4 correspondieron a 4 %, 8 % y 12 % de sustitución, respectivamente. Se consideraron dos series experimentales asociadas a las fracciones granulométricas estudiadas: material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (75–106 μm), y material pasante por el tamiz N.º 200 (< 75 μm). En el caso del 0 % de sustitución, las denominaciones G1-140 y G1-200 correspondieron a los concretos patrón elaborados dentro de cada serie experimental y fueron considerados en la estructura factorial 4×2 utilizada para el análisis estadístico.

Con la finalidad de mantener condiciones de consistencia comparables durante la elaboración de las mezclas, se controló un asentamiento comprendido entre 3" y 4" (75–100 mm) mediante el ensayo del cono de Abrams, tomando como referencia la NTP 339.035 y ASTM C143/C143M. La dosificación inicial consideró el contenido de agua establecido en el diseño de mezcla; posteriormente, cuando fue necesario, se incorporó agua complementaria de manera gradual hasta alcanzar el rango de asentamiento previsto, registrándose la cantidad utilizada en cada tratamiento.

El curado de los especímenes se realizó mediante inmersión total en agua potable, una vez efectuado el desmolde, manteniéndose las probetas sumergidas hasta las edades programadas de ensayo de 7, 14 y 28 días. Para la elaboración y curado de los especímenes en laboratorio se tomó como referencia la NTP 339.183 y ASTM C192/C192M. No se empleó hidróxido de calcio en el agua de curado.

Para asegurar la validez de los resultados, únicamente se consideraron para el ensayo aquellas probetas que cumplieran con las especificaciones de las normas ya mencionadas.

Los criterios de aceptación para las probetas fueron:

- Cumplieron con la forma y dimensiones establecidas por la normativa, manteniéndose dentro de las tolerancias permitidas.
- No mostraron imperfecciones superficiales o internas, tales como vacíos, microfisuras, desprendimientos o daños ocasionados durante el manipuleo.
- Fueron curadas de manera uniforme bajo las condiciones descritas en el procedimiento experimental.

Se establecieron como criterios de rechazo para las probetas los siguientes:

- Presentar deformaciones, irregularidades o fallas durante el proceso de moldeo o desmolde.
- Presentar fracturas, microfisuras o roturas accidentales antes del ensayo.
- No cumplir con el tiempo o las condiciones de curado establecidas.

En caso de que una probeta presentara alguno de estos criterios, se estableció su exclusión y reemplazo con la finalidad de mantener el número de especímenes previsto para cada grupo experimental.

Tabla 4

Distribución de probetas de la serie 140: concreto patrón y mezclas con filler pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200.

Grupo	% de Filler calizo	Edad de ensayo	Especímenes por edad	Granulometría	Total por grupo
G1	0%	7 días	4	N°140	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G2	4%	7 días	4	N°140	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G3	8%	7 días	4	N°140	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G4	12%	7 días	4	N°140	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
Total general					48 probetas

Tabla 5

Número de Probetas para Pruebas a Compresión con tamaño de partículas que pasa el tamiz

N.º 200

Grupo	% de Filler calizo	Edad de ensayo	Especímenes por edad	Granulometría	Total por grupo
G1	0%	7 días	4	N°200	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G2	4%	7 días	4	N°200	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G3	8%	7 días	4	N°200	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
G4	12%	7 días	4	N°200	12 probetas
		14 días	4		
		28 días	4		
Total general					48 probetas

3.2.4. Muestreo

Debido a la naturaleza experimental de la investigación, las probetas fueron elaboradas de manera controlada según las condiciones previamente definidas. Para cada combinación de porcentaje de sustitución, fracción granulométrica y edad de ensayo se preparó una tanda de concreto, de la cual se obtuvieron cuatro especímenes cilíndricos. En consecuencia, las cuatro

probetas de cada condición correspondieron a especímenes de ensayo provenientes de una misma tanda y no a cuatro tandas de mezclado independientes.

3.2.5. Unidad de análisis y unidad de observación

La unidad experimental estuvo constituida por cada tanda de concreto preparada de manera independiente, debido a que sobre esta se aplicaron las condiciones definidas en la investigación, correspondientes al porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo y, en las mezclas con sustitución, a la fracción granulométrica empleada. Cada tanda permitió elaborar cuatro especímenes cilíndricos de concreto.

La unidad de observación estuvo constituida por cada espécimen cilíndrico obtenido de una tanda, debido a que sobre cada probeta se realizó individualmente el ensayo de resistencia a la compresión y se registró su correspondiente valor de resistencia. En consecuencia, las cuatro probetas obtenidas de una misma tanda constituyeron unidades de observación o submuestras de dicha unidad experimental y no cuatro réplicas independientes del proceso de mezclado.

Los grupos experimentales estuvieron definidos por la combinación del porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo (0 %, 4 %, 8 % y 12 %) y la serie correspondiente a la fracción granulométrica evaluada, material pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (75–106 μm), o material pasante por el tamiz N.º 200 ($< 75 \mu\text{m}$). De esta manera, se conformaron ocho grupos de evaluación: G1-140, G2-140, G3-140, G4-140, G1-200, G2-200, G3-200 y G4-200, estructura empleada en el análisis factorial 4×2 . Los grupos G1-140 y G1-200 correspondieron a los concretos patrón con 0 % de sustitución elaborados dentro de cada serie experimental.

Para cada combinación experimental y edad de ensayo se preparó una tanda específica, y de cada tanda se moldearon cuatro probetas destinadas a la determinación de la resistencia a la compresión.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas

La técnica de recolección de datos es un método o proceso utilizado para el recojo de información, siendo crucial dentro de una investigación o estudio concreto. Para su recolección se utilizan entrevistas, cuestionarios, observaciones, test experimentales y revisión de documentos existentes. Cada técnica tiene fortalezas y limitaciones particulares, por lo que el investigador debe seleccionar la más apropiada en función de los objetivos y el alcance de su investigación (Hadi et al.,2023).

De acuerdo al autor, nuestra investigación se desglosa de la siguiente manera:

3.3.1.1. Observación

La observación directa y sistemática se empleó durante las diferentes etapas del procedimiento experimental para registrar las condiciones de preparación de los materiales, dosificación, mezclado, control de asentamiento, moldeo, curado y ensayo de los especímenes de concreto. Asimismo, permitió documentar incidencias y características relevantes observadas durante la ejecución de los ensayos.

3.3.1.2. Revisión bibliográfica

Se aplicó este método, ya que se usó normas estandarizadas, estudios de grado, artículos de investigación científica, libros y bases documentales relacionados al campo de estudio. Esto sirvió como guía, logrando defender la investigación con conocimiento científico.

3.3.1.3. Experimentación

La experimentación constituyó la técnica principal para la obtención de los datos cuantitativos de la investigación. Mediante los ensayos de laboratorio se determinaron la composición mineralógica del filler calizo, las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, las características de las mezclas de concreto y la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados.

Ensayo del filler calizo. Se realizó la caracterización mineralógica del material con la finalidad de identificar y cuantificar las fases cristalinas presentes:

- ❖ Composición mineralógica, (UNE-EN 13925-3:2006)

Ensayos de agregados. Se realizaron para determinar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino y del agregado grueso empleados en la elaboración del concreto:

- ❖ Granulometría agregados fino y grueso, (NTP 400.012 - ASTM C136/C136M.)
- ❖ Pesos específicos y absorción para finos, (NTP 400.022 - ASTM C128)
- ❖ Pesos específicos y absorción para agregado grueso, (NTP 400.021 - ASTM C127)
- ❖ Pesos unitarios suelto y compactado, (NTP 400.017 - ASTM C29/C29M.)
- ❖ Contenido de humedad, (NTP 339.185 - ASTM C566)
- ❖ Finos menores al tamiz N° 200, (NTP 400.018 - ASTM C117)
- ❖ Abrasión, (NTP 400.020 - ASTM C131/C131M)

Ensayo del concreto. Se aplicaron durante el diseño, elaboración y evaluación de las mezclas y especímenes de concreto:

- ❖ Diseño de mezcla, (ACI 211.1)
- ❖ Determinación del asentamiento del concreto fresco, (NTP 339.035 - ASTM C143/C143M.)
- ❖ Curado de especímenes (NTP 339.183 - C192/C192M)
- ❖ Resistencia a la compresión, (NTP 339.034 - ASTM C39/C39M)

3.3.1.4. Análisis

Se realizó el análisis de los resultados obtenidos con la finalidad de comparar el comportamiento de las diferentes mezclas de concreto según el porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo, el tamaño de partícula y la edad de curado. Este proceso permitió identificar diferencias y tendencias en la resistencia a la compresión, contrastar los resultados

con los objetivos e hipótesis planteados y efectuar su posterior interpretación. Los procedimientos estadísticos empleados se describen específicamente en el apartado 3.7.

3.3.2. Instrumentos

3.3.2.1. Libreta de campo

Se empleó para registrar de manera ordenada las actividades realizadas, observaciones durante los ensayos y resultados generados en las distintas fases del procedimiento de elaboración y prueba del concreto con sustitución parcial de cemento por filler calizo.

3.3.2.2. Fichas de registro de información bibliográfica

Usados para recopilar y organizar las fuentes consultadas durante la investigación. En ellas se registraron los nombres de los autores, títulos, año de publicación y demás datos relevantes de artículos, libros y normas técnicas relacionadas con el reemplazo parcial del cemento por filler calizo en la elaboración de concreto. Este instrumento permitió sistematizar la información teórica que sirvió de sustento al desarrollo experimental y al análisis del comportamiento estructural del concreto bajo carga.

3.3.2.3. Registro de ensayos de laboratorio

Es un documento técnico empleado para presentar de manera ordenada los resultados obtenidos a partir de los test experimentales. En este estudio, se utilizó para reportar los resultados del concreto elaborado con la sustitución parcial del cemento por filler calizo. Asimismo, se consignó los valores obtenidos en los ensayos realizados a los agregados, junto con el diseño de dosificación correspondiente al concreto de resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, analizando su comportamiento en términos de resistencia a la compresión.

3.3.2.4. Matriz comparativa.

Este instrumento se empleó para analizar y contrastar los resultados obtenidos de las diferentes mezclas evaluadas. En este estudio, se utilizó para comparar el desempeño del concreto con sustitución parcial de cemento por filler calizo, permitió identificar la influencia

de dicho reemplazo en la capacidad resistente del concreto. Asimismo, la matriz facilitó la identificación del porcentaje de sustitución que presentó el mayor desempeño en resistencia a la compresión entre los niveles evaluados.

Tabla 6

Fuentes, Técnicas e Instrumentos para Recolectar Datos

Fuente, Técnicas e instrumentos de recolección de datos.			
Variable	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumentos
V. I: Sustitución parcial del cemento por filler calizo al 0%, 4%, 8% y 12%	Primaria	Observación	Libreta de campo
	Primaria	Experimentación	Informe técnico de laboratorio
V. II: Tamaño de partícula	Primaria	Observación	Libreta de campo
	Primaria	Experimentación	Informe técnico de laboratorio
VD: Resistencia a la compresión del concreto ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$)	Primaria	Experimentación	Registro de ensayos de laboratorio
	Secundaria	Revisión bibliográfica	Fichas de registro de información bibliográfica
	Primaria	Análisis	Matriz comparativa

3.4. Hipótesis

3.4.1. Hipótesis general

La sustitución parcial del cemento por filler calizo influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en función del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula.

3.4.2. Hipótesis específicas

Debido a que el objetivo específico (a) se orientó a determinar la composición mineralógica del filler calizo mediante difracción de rayos X, no se formuló una hipótesis inferencial para dicho objetivo, puesto que su alcance corresponde a una caracterización descriptiva de las fases cristalinas presentes en el material.

- b. La sustitución parcial del cemento por filler calizo en porcentajes de 4 %, 8 % y 12 %, considerando el tamaño de partícula, influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.
- c. Existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.
- d. Entre los porcentajes de sustitución de cemento por filler calizo evaluados, existe al menos una condición que presenta una resistencia media a la compresión diferente respecto al concreto patrón $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. Variable independiente 1: Sustitución parcial de cemento por filler calizo

La sustitución parcial del cemento por filler calizo consiste en reemplazar una proporción del cemento empleado en la elaboración del concreto por material fino de origen calizo. Esta incorporación permite reducir la cantidad de cemento presente en la dosificación y evaluar el efecto que diferentes porcentajes de sustitución producen sobre las propiedades del concreto (Gómez y Herrera, 2024).

3.5.2. Variable independiente 2: Fracción granulométrica del filler calizo

La fracción granulométrica del filler calizo corresponde a la clasificación del material mediante su paso y retención en tamices. En esta investigación se utilizaron dos fracciones separadas. La primera estuvo constituida por el material que pasó por el tamiz N.º 140, de abertura nominal de 106 μm , y quedó retenido en el tamiz N.º 200, de abertura nominal de 75 μm ; por tanto, correspondió al intervalo nominal de 75–106 μm . La segunda estuvo constituida por el material que pasó por el tamiz N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 μm . Estas denominaciones describen la separación por tamizado y no un diámetro único de las partículas. El procedimiento de obtención se detalla en el apartado 3.6.2.

3.5.3. Variable dependiente: Resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión constituye una de las propiedades mecánicas más relevantes del concreto, debido a que representa su capacidad para soportar esfuerzos de compresión y constituye un parámetro fundamental para evaluar su desempeño mecánico (Wang y Yue, 2023).

Tabla 7

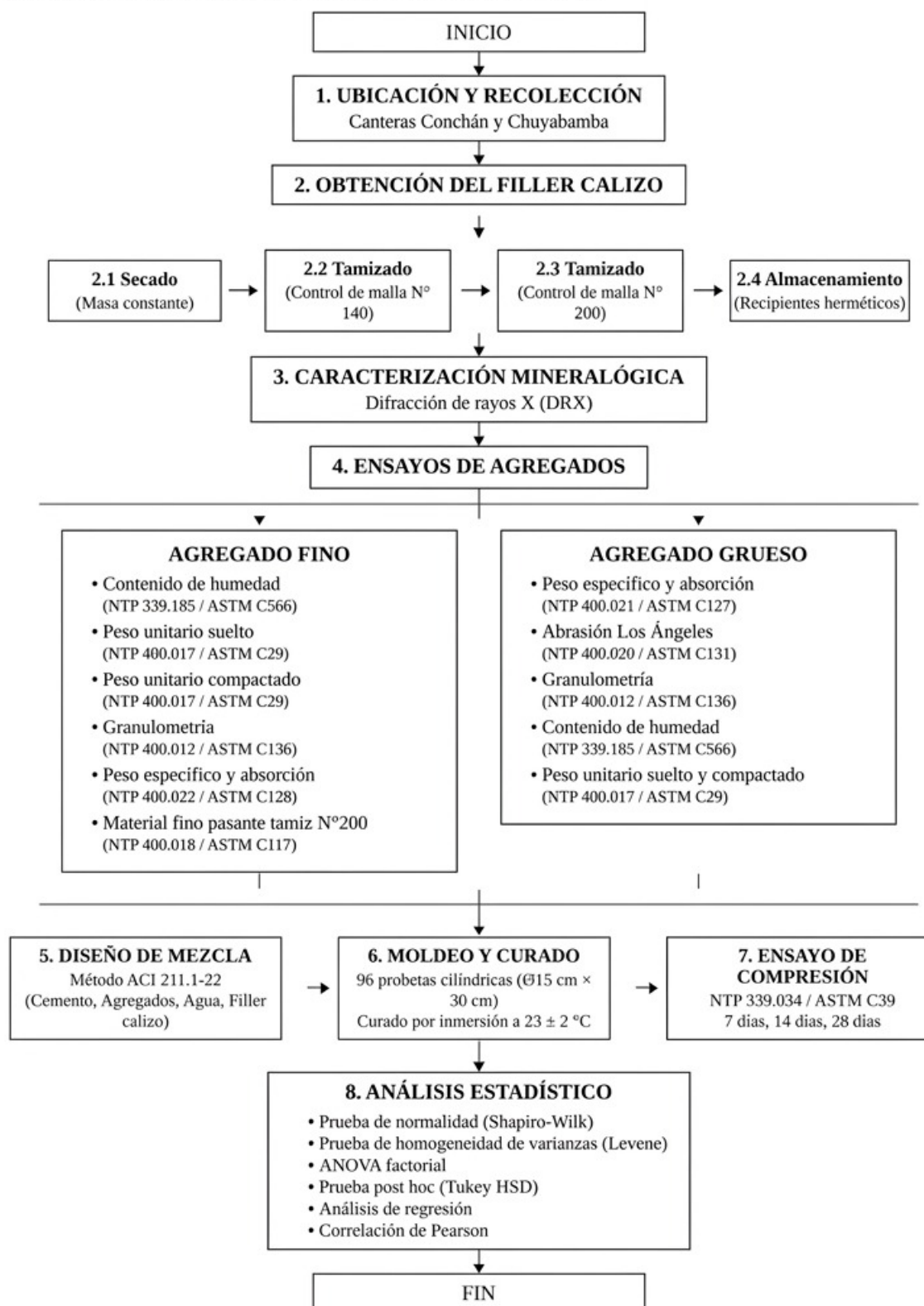
Matriz de operacionalización de variables en estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítem
Variable independiente 1: Sustitución parcial de cemento por filler calizo	La sustitución parcial del cemento por filler calizo consiste en reemplazar una proporción del cemento empleado en la elaboración del concreto por material fino de origen calizo. Esta incorporación permite reducir la cantidad de cemento presente en la dosificación y evaluar el efecto que diferentes porcentajes de sustitución producen sobre las propiedades del concreto (Gómez y Herrera, 2024).	Sustitución parcial del cemento por filler calizo en proporciones de 0 %, 4 %, 8 % y 12 % respecto al peso del cemento. Las mezclas partieron de una dosificación inicial de diseño y, durante su preparación, se incorporó agua complementaria de manera gradual para alcanzar un asentamiento de 3" a 4", registrándose la cantidad utilizada en cada tratamiento.	Composición mineralógica	Contenido de calcita (CaCO ₃) y cuarzo (SiO ₂)	% de CaCO ₃ y % de SiO ₂
			Porcentaje de sustitución	Porcentajes de reemplazo (0%, 4%, 8%, 12%)	% de reemplazo de cemento
Variable independiente 2: Fracción granulométrica del filler calizo	La fracción granulométrica del filler calizo corresponde a la clasificación del material según el tamiz empleado para su acondicionamiento. En esta investigación se evaluaron dos fracciones: material pasante por el tamiz N.º 140 (< 106 µm) y material pasante por el tamiz N.º 200 (< 75 µm). Los valores de 106 µm y 75 µm corresponden a las aberturas nominales de dichos tamices y representan límites superiores de paso, por lo que no deben interpretarse como diámetros únicos de las partículas presentes en cada fracción.	Uso de filler calizo en dos fracciones granulométricas: pasante por tamiz N.º 140 (106 µm) y pasante por tamiz N.º 200 (75 µm).	Finura	Tamaño de partícula (µm)	106 µm y 75 µm
Variable dependiente: Resistencia a la compresión del concreto	La resistencia a la compresión se fundamenta como una de las propiedades mecánicas más relevantes del concreto, ya que refleja la capacidad del material para resistir esfuerzos axiales y, en consecuencia, constituye una medida esencial de su calidad y desempeño en el ámbito de la construcción (Wang y Yue, 2023).	Valor de resistencia a la compresión obtenido mediante el ensayo de especímenes cilíndricos de concreto a las edades de 7, 14 y 28 días, calculado a partir de la carga máxima soportada y el área transversal del espécimen, expresado en kg/cm².	Edad de curado	Tiempo de curado del espécimen	7, 14 y 28 días
			Resistencia a la compresión	Carga máxima soportada (kgf)	kgf
				Área transversal de la probeta (cm²)	cm²
				Resistencia a la compresión f'c=P/A	kg/cm²

3.6. Procedimientos de recolección de datos

Figura 9

Flujograma del Proceso de Obtención de Información



3.6.1. Ubicación de las materias primas

a) Ubicación de la cantera de agregado fino

La fuente de abastecimiento de agregado fino que ha sido utilizada para esta investigación es “El Arenal Cónchan”, está situada al noroeste de la provincia de Chota, a la altura del km 27+980 de la carretera local que conecta Chota – Tacabamba, se ubica dentro de las coordenadas UTM WGS84 17S 760474 m E, 9288007 m S, a una altitud de 2279 metros sobre el nivel del mar. Constituye una fuente activa de material granular. En este yacimiento se realiza la extracción mecanizada de arena natural, la cual fue empleada como agregado fino en la elaboración de las mezclas de concreto desarrolladas para la presente investigación.

b) Ubicación de la cantera de grava y filler calizo

Se seleccionó la cantera “Chuyabamba” como fuente de abastecimiento de grava, cuyo material se ha utilizado en la presente investigación. Se ubicada en la comunidad de Chuyabamba, distrito y provincia de Chota, se encuentra georreferenciada en el sistema UTM WGS84 zona 17S, con coordenadas E: 753248 m y S: 9279152 m. En este yacimiento se realiza la extracción y procesamiento mecanizado de roca caliza triturada.

Por otro lado, el filler calizo utilizado en este estudio fue obtenido de la misma cantera Chuyabamba, de donde también procede el agregado grueso. Durante el proceso de trituración de la roca caliza se genera un material fino residual, el cual fue recolectado y posteriormente acondicionado para su utilización como sustituto parcial del cemento en las mezclas de concreto evaluadas en la investigación.

Figura 10 Mapa de Ubicación de la Cantera de Agregado Fino

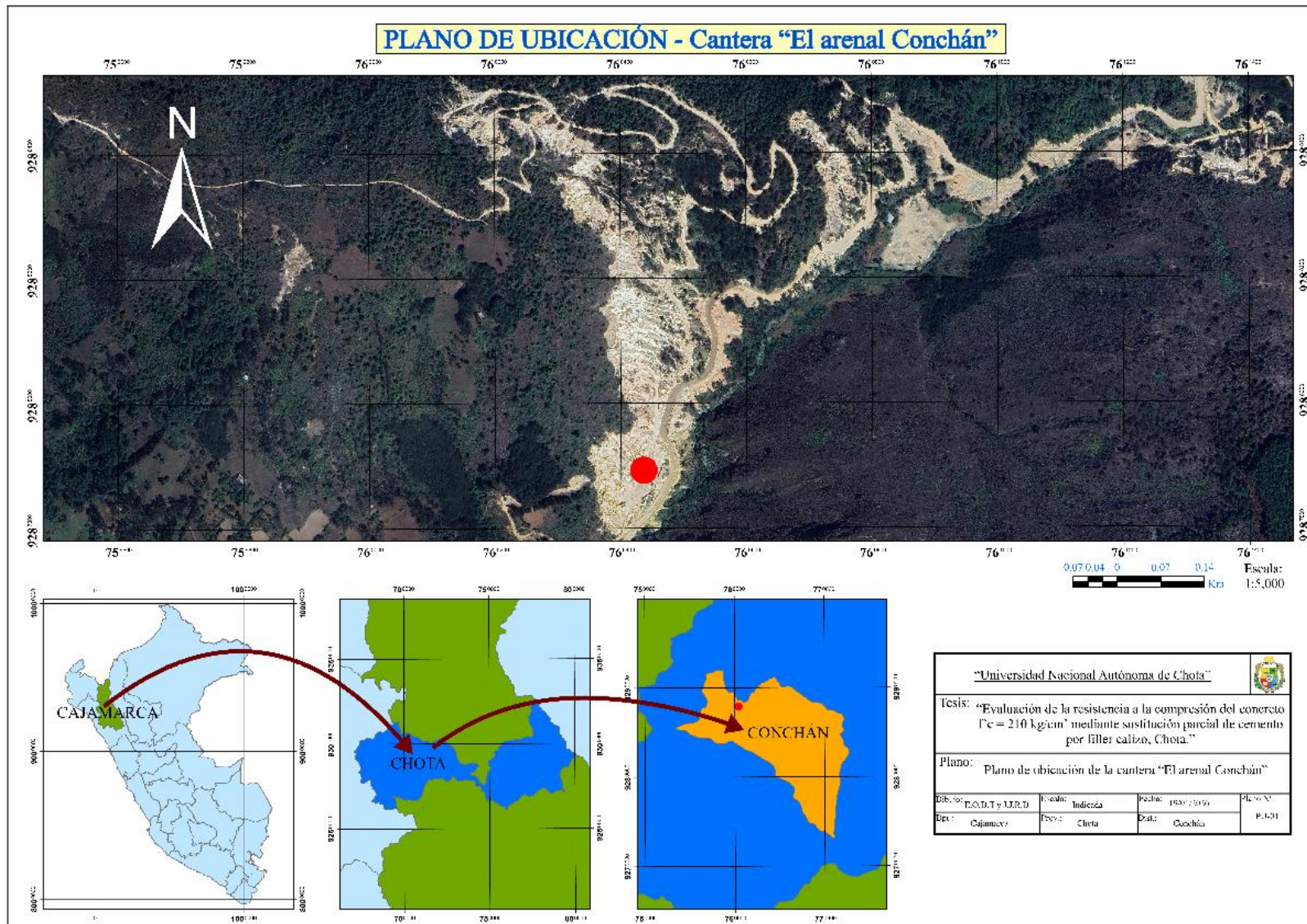
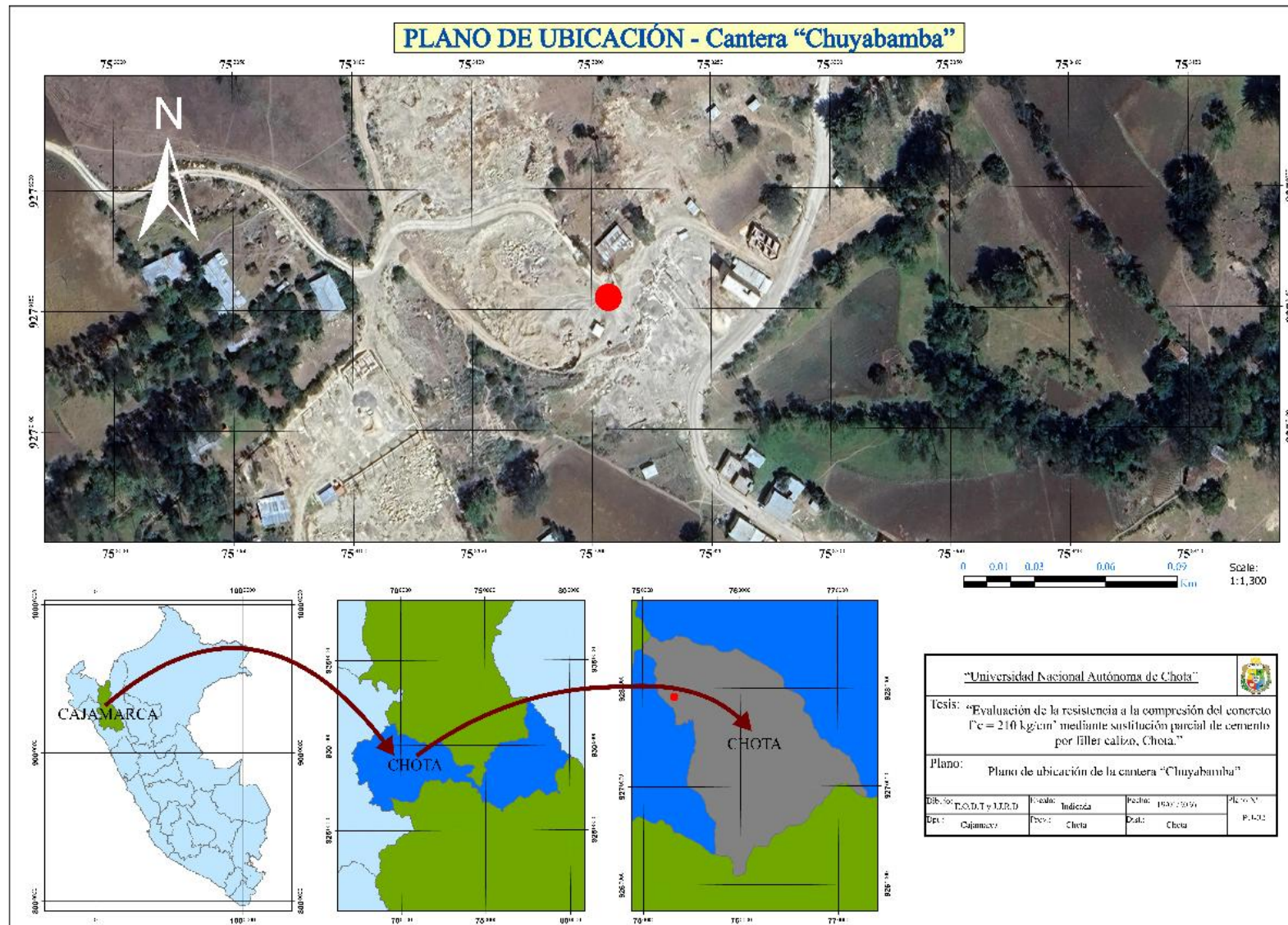


Figura 11 Mapa de Ubicación de la Cantera de agregado grueso y filler calizo



3.6.2. Obtención del filler calizo

El filler calizo utilizado en la investigación corresponde a un material fino residual generado durante el proceso de trituración de roca caliza en la cantera Chuyabamba. Este material se acumula durante las etapas de producción del agregado grueso y fue recolectado manualmente para su aprovechamiento en la presente investigación. Posteriormente, fue trasladado al GSE Laboratorio Ingeniería & Construcción S.A.C., ubicado en la ciudad de Chota, para su acondicionamiento y preparación.

Una vez en el laboratorio, el filler calizo fue sometido a secado en estufa y posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente. El material se clasificó mediante los tamices N.º 140 y N.º 200. Para obtener la primera fracción, el material pasante por el tamiz N.º 140 se sometió al tamiz N.º 200 y se recogió la porción retenida en este último, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm . Para obtener la segunda fracción, se recogió por separado el material que pasó por el tamiz N.º 200, correspondiente a la fracción menor de 75 μm . Ambas fracciones se almacenaron en bolsas herméticas separadas e identificadas.

La selección de los tamices N.º 140 y N.º 200 respondió a su disponibilidad en el laboratorio y permitió obtener las dos fracciones granulométricas evaluadas. La primera fracción no comprendió la totalidad del material menor de 106 μm , puesto que se separó de ella el material pasante por el tamiz N.º 200. La evaluación de fracciones de mayor finura y la determinación de la superficie específica no formaron parte del alcance de la investigación.

Para conservar la identificación de los registros experimentales, las denominaciones abreviadas «140» y «200», utilizadas para las mezclas con filler, corresponden respectivamente a la fracción pasante N.º 140 y retenida N.º 200, y a la fracción pasante N.º 200. Estas denominaciones identifican las fracciones efectivamente utilizadas en la elaboración de las mezclas.

a) Equipos, materiales e instrumentos

- Palanas
- Sacos
- Guantes de seguridad
- Gafas de protección
- Báscula digital
- Bolsas herméticas
- Mesa de trabajo
- Marcadores permanentes
- Estufa
- Tamices N.º 140, N.º 200 y cazoleta
- Cubetas y bandejas de acero inoxidable
- Brochas

b) Procedimiento

- Se realizó la visita a la cantera de Chuyabamba, identificando las zonas de acopio donde se acumula el filler calizo como material residual producto de la trituración de roca caliza.
- Se recolectó manualmente el material fino haciendo uso de palanas y sacos, seleccionando directamente el material desechado generado en la producción de grava.
- El material recolectado fue trasladado hacia el GSE Laboratorio Ingeniería y Construcción S.A.C., ubicado en la ciudad de Chota.
- En laboratorio, el filler calizo fue colocado en bandejas y sometido a un proceso de secado en estufa, con la finalidad de reducir la humedad presente antes del proceso de tamizado y de su posterior incorporación a las mezclas.
- Una vez seco, el material fue dejado a temperatura ambiente para su enfriamiento antes de su manipulación.
- El material seco se tamizó manualmente mediante el tamiz N.º 140. El material pasante se sometió posteriormente al tamiz N.º 200, empleándose una cazoleta y brochas para facilitar la separación y reducir las pérdidas de material.
- Se recogió el material que quedó retenido en el tamiz N.º 200 y que previamente había pasado por el tamiz N.º 140. Esta porción constituyó la primera fracción granulométrica, correspondiente al intervalo nominal de 75–106 μm , y se almacenó en una bolsa hermética debidamente identificada.
- El material que pasó por el tamiz N.º 200 se recogió por separado y constituyó la segunda fracción granulométrica, menor de 75 μm . Se almacenó en otra bolsa hermética identificada. Ambas fracciones se pesaron de manera independiente y se conservaron separadas hasta su incorporación a las mezclas.

Figura 12

Proceso de obtención del filler calizo



3.6.3. Ensayo de difracción de rayos X (DRX)

Con la finalidad de determinar la composición mineralógica del filler calizo utilizado en la investigación, se realizó un ensayo de Difracción de Rayos X (DRX) en el laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB Perú), ubicado en la ciudad de Lima. De acuerdo con el informe de ensayo emitido por el laboratorio, este se encuentra acreditado conforme a la norma ISO/IEC 17025. El análisis mediante DRX se efectuó de acuerdo con la metodología UNE-EN 13925-3:2006.

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Muestra representativa de filler calizo.
- Tamiz N.º 140 ($< 106 \mu\text{m}$) para el acondicionamiento de la muestra.
- Estufa para el secado de la muestra.
- Balanza de precisión.

- Bandejas para la manipulación de la muestra.
- Difractómetro de rayos X D8 Endeavor.
- Detector LynxEye-2.
- Portamuestras para análisis mediante DRX.
- Base de datos cristalográfica ICDD PDF-2 (2014) para la identificación de las fases cristalinas.
- Método de refinamiento Rietveld, mediante TOPAS Structure Database, para la cuantificación de las fases presentes.

b) Procedimiento

- Se seleccionó una muestra representativa del filler calizo procedente de la cantera Chuyabamba, la cual fue sometida a secado en estufa con la finalidad de reducir la humedad presente antes de su acondicionamiento.
- Posteriormente, el material fue tamizado mediante el tamiz N.º 140 ($< 106 \mu\text{m}$). La selección de esta fracción para el análisis mineralógico se realizó debido a que las fracciones pasantes por los tamices N.º 140 y N.º 200 procedieron del mismo material residual de roca caliza y se diferenciaron experimentalmente por su tamaño de partícula. Por ello, se optó por caracterizar mineralógicamente una muestra representativa del filler calizo de origen.
- De la muestra acondicionada se pesaron 200 g, los cuales fueron remitidos al laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLAB Perú) para la determinación de su composición mineralógica mediante Difracción de Rayos X.
- El análisis se realizó conforme a la metodología UNE-EN 13925-3:2006, utilizando un difractómetro D8 Endeavor equipado con detector LynxEye-2.
- El rango de medición empleado fue de $2\theta = 5^\circ$ a 70° . La identificación de las fases cristalinas se efectuó mediante la base de datos ICDD PDF-2 (2014), mientras que la

cuantificación se realizó mediante refinamiento Rietveld empleando TOPAS Structure Database.

- Finalmente, los resultados obtenidos permitieron identificar y cuantificar las fases cristalinas presentes en la muestra analizada, cuyos valores se presentan en el Capítulo IV.

Figura 13

Entrega de muestra de filler calizo para el ensayo de difracción de rayos X



3.6.4. Ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los agregados

3.6.4.1. Muestreo y reducción de muestras de agregados

Antes de la realización de los ensayos, se efectuó la obtención y reducción de las muestras de agregados conforme a la normativa vigente. La reducción de la muestra se realizó mediante el método de cuarteo, conforme a la (NTP 339.126:2019 – Método B).

Procedimiento

- La muestra inicial de agregado fue colocada sobre una superficie limpia y horizontal descartando cualquier pérdida de material.

3.6.4.2. Contenido de humedad agregado fino (NTP. 339. 185, 2021)

✓ Equipos, materiales e instrumentos

- Muestra representativa de agregado fino en estado natural.
- Bandejas metálicas.
- Balanza digital calibrada con precisión de al menos 0.1 %.
- Estufa con capacidad de hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

✓ Procedimiento

- Se tomó una muestra representativa respetando la cantidad mínima según el tamaño máximo nominal del agregado fino en estado natural, previamente obtenida mediante el proceso de cuarteo.
- Se colocó la muestra de arena en el recipiente y se determinó el peso en conjunto del recipiente + muestra en estado natural (húmeda).
- La muestra fue colocada a secar en un horno a una temperatura de $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener una masa constante.
- Posteriormente al proceso de secado, se retiró la muestra del horno y se dejó enfriar hasta obtener una temperatura ambiente.
- Se determinó el peso del recipiente con la muestra seca.
- El contenido de humedad se determinó mediante la diferencia de la masa inicial y la masa seca, dividiendo el resultado por la masa de la muestra seca.

Figura 15

Proceso para obtener el contenido de humedad



Nota. Secado de muestras en horno con capacidad de 110 ± 5 °C.

3.6.4.3. Pesos unitarios (NTP 400.017:2020)

- **Peso unitario suelto**

- a) Equipos, materiales e instrumentos**

- Muestra de agregado fino seco.
 - Molde cilíndrico metálico.
 - Balanza digital calibrada con precisión de al menos 0.1 %.
 - Regla metálica o enrasador.
 - Recipiente metálico.
 - Cucharón para el llenado del molde.
 - Brocha (para limpieza del equipo).

- b) Procedimiento**

- Se tomó una muestra representativa del agregado fino, previamente reducida mediante cuarteo y secada en horno hasta alcanzar masa constante.

- Se determinó el volumen del molde cilíndrico utilizado para el ensayo.
- Se procedió a limpiar y secar el molde, determinando su peso vacío.
- El molde fue llenado con el agregado fino dejándolo caer libremente, sin aplicar compactación.
- Se enrasó la superficie superior con una regla metálica, sin ejercer presión sobre el material.
- Se determinó el peso del conjunto molde + agregado fino suelto.
- Se repitió tres veces el mismo procedimiento para obtener un promedio con los datos obtenidos, donde se calculó el peso unitario suelto seco.

Figura 16

Determinación del peso unitario suelto del agregado fino



Nota. Ensayo de peso unitario suelto del agregado fino mediante llenado libre del molde, sin compactación.

- **Peso unitario compactado**

- a) **Equipos, materiales e instrumentos**

- Muestra representativa de agregado fino seco.

- ## b) Procedimiento

- Figura 17

A photograph of two men in safety vests and hard hats standing behind a counter. The man on the left is wearing a white hard hat and a dark vest over a white shirt. The man on the right is wearing a white hard hat, a dark vest over a maroon shirt, and red gloves. On the counter is a digital scale with a blue container on it. A sign on the counter reads: "Toda el producto de la explotación a la Corredora del sector El Salavador serán vendidos Puesto de Comercio en El Salavador. Contacto: 'Miguel Torres' Teléfono: Celular: 099 339 745 (por favor) Dirección: Pasa arriba, sobre la carretera (cerca de la escuela)". Above the counter is a green sign that says "ÁREA DE SALA PARA EL PESADO". On the wall is a green exit sign that says "SALIDA". There are several metal trays with small objects on the counter.

3.6.4.4. Análisis granulométrico de la arena cantera Conchán (NTP. 400. 012, 2021)

a) Equipos, materiales e instrumentos

- Muestra seca de agregado fino.
- Estufa con capacidad de hasta $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Balanza digital de precisión ($\pm 0.01\text{ g}$).
- Juego de tamices estándar según NTP 400.012 (incluyendo 3/8", N.º 4, 8, 16, 30, 50, 100, 140 y 200).
- Cazoleta.
- Tapas para tamices.
- Mesa de trabajo.
- Recipientes o bandejas de acero inoxidable.
- Brochas de cerdas suaves (para limpieza de tamices).
- Bolsas herméticas de almacenamiento etiquetadas.
- Marcadores permanentes.

b) Procedimiento

- Se seleccionó una muestra representativa del agregado fino a ensayar, previamente reducida mediante el método del cuarteo, procurando que esta se encuentre bien mezclada y libre de impurezas.
- La muestra fue colocada en un recipiente y posteriormente colocada en un horno a una temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se dejó secar hasta obtener una masa de peso constante.
- Se colocó la muestra seca en una serie de tamices estándar ordenados de mayor a menor abertura, conforme a lo establecido en la norma NTP 400.012. Posteriormente, el material fue tamizado manualmente durante un periodo donde se pueda asegurar una buena separación de partículas.

- Terminado el ensayo, se retiran los tamices con mucha precaución y se apoyan en sobre un lugar plano y limpio para evitar pérdida de material.
- Se procede a determinar las masas retenidas en cada tamiz y en la cazoleta, registrando los valores obtenidos.

Figura 18

Determinación del análisis granulométrico del agregado fino



Nota. Tamizado del agregado fino para determinar su distribución de tamaños de partícula.

3.6.4.5. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022:2024)

a) Equipos, materiales e instrumentos

- Muestra representativa de agregado fino.
- Bandejas metálicas.
- Balanza digital de precisión (± 0.01 g).
- Estufa con control de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Bomba de vacíos.

- Molde cónico y varilla de compactación.
- Picnómetro de 500 ml.
- Embudo.
- Rociadora de agua.

b) Procedimiento

- Se seleccionó 1000 gramos de muestra de agregado fino, previamente reducida mediante el método de cuarteo y secada en la estufa.
- La muestra seleccionada fue sumergida en agua durante un período de 24 horas, con el fin de lograr su completa saturación de la misma.
- Completado el tiempo de saturación, se llevó a cabo el proceso de decantación cuidadosamente con el apoyo de una pipeta para evitar pérdida de finos.
- Posteriormente se extendió la muestra sobre una superficie plana no absorbente y expuesta a temperatura ambiente agitando constantemente hasta que la muestra obtenga una condición de flujo libre.
- Se verificó que la muestra se encuentre en condición SSS, para ello se agregó la muestra en un molde cónico, se compactó con 25 golpes desde 5 mm de altura y se verificó una caída ligera asegurando así la condición SSS.
- Se llenó el picnómetro parcialmente con agua, luego se introdujo 500 g de agregado fino en condición de SS y se llenó con agua hasta el 90 % de su capacidad.
- Se hizo uso de la bomba de vacíos con el fin de eliminar el aire atrapado entre las partículas.
- Posteriormente, se completó el volumen del picnómetro con agua hasta su capacidad de calibración.
- Se determinó la masa total del picnómetro, muestra y el agua

- Se retiró el agregado fino del picnómetro y se llevó al horno para su secado hasta alcanzar una masa constante, a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Posteriormente, se dejó enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora, tras lo cual se determinó su masa.
- Finalmente, se determinó la masa del picnómetro lleno hasta la marca de su capacidad de calibración con agua a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Para el cálculo de la absorción se usó 500 g de material SSS, que fue secado hasta obtener una masa constante y se determinó la masa seca.

Figura 19

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino



3.6.4.6. Determinación de materiales más finos que pasan el tamiz N°. 200 agregado fino (NTP. 400. 018, 2020)

a) Equipos, materiales e instrumentos

- muestra representativa de agregado fino.
- Tamices N°. 16 y N°. 200

- Bandejas metálicas.
- Balanza digital de precisión (± 0.01 g).
- Estufa con control de temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Procedimiento

- Se obtuvo una muestra representativa de agregado fino, obtenida previamente mediante el método del cuarteo y de acuerdo con la cantidad especificada en la norma.
- Se procedió con el secado de la muestra hasta la obtención de una masa constante; seguidamente, se determinó la cantidad de la muestra de ensayo, según el tamaño máximo nominal del agregado establecido en la norma.
- Se colocó la muestra en un recipiente y se adicionó agua hasta cubrirla por completo; luego, se agitó vigorosamente la muestra con la finalidad de separar las partículas finas adheridas a la muestra.
- Después, el agua de lavado se decantó con mucho cuidado a través de los tamices N°. 16 y N°. 200; dicho proceso se realizó hasta que el agua que pasaba por dichos tamices se observó relativamente limpia.
- El agregado retenido en cada tamiz fue recuperado y llevado nuevamente a la estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante.
- Finalmente, después de dejar enfriar la muestra hasta obtener una temperatura ambiente, se determinó la masa final seca del agregado, lo que permitió determinar el porcentaje de material fino que pasa el tamiz N.º 200 por lavado.

Figura 20

Determinación de materiales más finos que pasan el tamiz N.º 200 ($< 75 \mu\text{m}$) por lavado del agregado.



3.6.4.7. Determinación del peso específico y absorción del agregado Grueso (NTP 400.021:2020)

a) Equipos, materiales e instrumentos

- Muestra de agregado grueso.
- Bandejas metálicas.
- Balanza digital de precisión ($\pm 0.01 \text{ g}$).
- Estufa con control de temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Canastilla de alambre.
- Recipiente con agua.
- Tamiz N.º 4.
- Paños absorbentes para lograr la condición SSS.

b) Procedimiento

- Se mezcló minuciosamente la muestra a ensayar de agregado grueso, reducida mediante el método del cuarteo, posteriormente se seleccionó la muestra representativa según el TMN del agregado.
- La muestra fue lavada para desechar el polvo u otros desechos superficiales presentes en el agregado, se secó a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener una masa constante.
- Luego, la muestra fue sumergida en agua durante un periodo de 24 ± 4 horas
- Después de completado el tiempo de inmersión, la muestra fue retirada del agua y secada con un paño absorbente hasta eliminar el brillo de agua, obteniendo así la condición saturada superficialmente seco. Posteriormente se determinó la masa de la muestra.
- Seguidamente, la muestra en condición SSS fue colocada en la canastilla de alambre y sumergida en agua para determinar su masa sumergida.
- Finalmente, la muestra fue llevada nuevamente a la estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener un peso constante. Después de dejarla enfriar a temperatura ambiente, se procedió a determinar su masa final.

Figura 21

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso



3.6.4.8. Abrasión (NTP. 400. 020, 2020)

a) Equipos, materiales e instrumentos

- Juego de tamices de 1", 3/4", 1/2" y 3/8"
- Malla #12
- Balanza de precisión
- Máquina de los Ángeles
- Bandejas
- Estufa
- Esferas de acero

b) Procedimiento

- Se tomó una muestra representativa del agregado grueso, previamente reducida mediante el método de cuarteo.
- La muestra reducida fue lavada y secada en horno a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar masa constante.

- Una vez seca, la muestra fue clasificada según la gradación correspondiente; se seleccionó un número de esferas igual a 12, se colocaron los 5000 g de material junto con las 12 esferas en la máquina de Los Ángeles, se configuró la máquina a 500 revoluciones y se esperó a que concluyera el proceso.
- Completado el proceso se retiró el material de la máquina los Ángeles, se procedió a lavar y tamizar con el tamiz N°. #12. El material retenido se colocó en la estufa por un tiempo de 24 horas a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para un adecuado secado.
- Finalmente, se pesó el material retirado de la estufa y se procedió a calcular el porcentaje de desgaste, obtenido de la diferencia entre el peso inicial de la muestra (5000 g) y el peso retenido en la malla N.º 12 en seco, dividido entre el peso inicial.

Figura 22

Determinación de la resistencia a la abrasión del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles



3.6.5. Diseño de mezcla del concreto base (ACI 211.1-22)

El diseño de la mezcla para un concreto con resistencia de 210 kg/cm² se hizo siguiendo las recomendaciones del método ACI 211.1 (2022). Para ello, se usó una hoja de cálculo en Microsoft Excel 2021. Esta hoja permitió determinar las proporciones de los materiales según los parámetros establecidos por el método.

Para elaborar la muestra patrón, se utilizaron los siguientes materiales: cemento Portland tipo I de Pacasmayo, arena de la cantera El Arenal en Conchán como agregado fino, agregado grueso de la cantera Chuyabamba y agua potable. A partir de esta dosificación base, se crearon mezclas experimentales, en las cuales se incorporó filler calizo de la misma cantera del agregado grueso, el cual se utilizó como sustituto parcial del cemento en proporciones de 0 %, 4 %, 8 % y 12 % en peso.

Además, se consideraron dos tamaños de partícula del filler calizo, estos tamaños corresponden al material que pasa por los tamices N.º 140 y N.º 200, cuyo objetivo era evaluar cómo la finura del material afecta la resistencia a la compresión del concreto.

A continuación, se detalla el procedimiento para diseñar la mezcla del concreto.

3.6.5.1. Diseño de mezcla $f'c$ 210 kg/cm²

- i. Determinación de la resistencia media (f'_{cr})

$$F'_{cr} = F'c + 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (15)$$

$$294 \text{ kg/cm}^2 = 210 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (16)$$

- ii. Selección de tamaño máximo nominal

TMN del agregado grueso: 1"

- iii. Selección del asentamiento

Elección del Slump: 3" a 4"

- iv. Determinación del volumen unitario de agua

Contenido de agua: 193 lts/m³

v. Selección del contenido de aire atrapado

Contenido de aire: 1.5 %

vi. Determinación de la relación agua/cemento

Relación a/c: 0.56

La relación agua/cemento (a/c) de 0.56 correspondió al parámetro inicial del diseño de mezcla. El desarrollo del diseño consideró 193 L/m³ de agua de mezclado y, después de la corrección por humedad y absorción de los agregados, aproximadamente 147 L/m³ de agua a incorporar al trompo. Durante la preparación de las tandas experimentales se registraron 3.280 L de agua inicialmente incorporada y cantidades adicionales de agua para alcanzar la consistencia prevista. Por ello, la relación final de las mezclas se reconstruyó considerando las cantidades efectivamente dosificadas y el aporte neto de agua de los agregados. Para las mezclas con sustitución se empleó la relación agua efectiva/(cemento + filler), denominada a/(c+f), cuyos resultados se presentan en la Tabla 11.

vii. Cálculo del factor cemento

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Factor cemento}} = A/C \quad (17)$$

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Factor cemento}} = 0.56 \quad (18)$$

$$C = 8.13 \text{ bls} \quad (19)$$

viii. Determinación del contenido de agregado grueso

$$\text{Peso A. G.} = \frac{b}{b_0} \times \text{Peso PUC} \quad (20)$$

$$\text{Peso A. G.} = 0.760 \times 1554 \text{ kg/m}^3 \quad (21)$$

$$\text{Peso A. G.} = 1181.04 \text{ kg/m}^3 \quad (22)$$

Donde b/b_0 es la relación entre el MF de la arena y el TMN de la grava.

ix. Cálculo de volúmenes absolutos

$$Cemento = \frac{C}{\gamma C} = \frac{345.630 \text{ kg}}{3100 \text{ kg/m}^3} = 0.111 \text{ m}^3 \quad (23)$$

$$Agua = \frac{Volumen unitario del agua}{Peso específico del agua} = \frac{193 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3 \quad (24)$$

$$Aire = \text{Contenido de aire atrapado} = 0.015 \text{ m}^3 \quad (25)$$

$$AG = \frac{Peso \text{ del } AG}{Peso \text{ específico del } AG} = \frac{1181.04 \text{ kg}}{2676 \text{ kg/m}^3} = 0.441 \text{ m}^3 \quad (26)$$

Suma de volúmenes absolutos conocidos

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = (Cemento + agua + aire + AG) \quad (27)$$

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = 0.760 \text{ m}^3 \quad (28)$$

x. Cálculo de contenido de agregado fino

$$Volumen \text{ de } AF = 1 - \sum \text{Volumenes absolutos} \quad (29)$$

$$Volumen \text{ de } AF = 1 - 0.760 \quad (30)$$

$$Volumen \text{ de } AF = 0.240 \text{ m}^3 \quad (31)$$

Cálculo del peso del agregado fino

$$Peso \text{ } AF = Volumen \text{ } AF \times Peso \text{ específico } AF \quad (32)$$

$$Peso \text{ } AF = 0.240 \text{ m}^3 \times 2546 \text{ kg/m}^3 \quad (33)$$

$$Peso \text{ } AF = 610.161 \text{ kg} \quad (34)$$

xi. Valores de diseño de mezcla

$$Cemento = 345.630 \text{ kg/m}^3 \quad (35)$$

$$Agua = 193 \text{ lt/m}^3 \quad (36)$$

$$AF = 610.161 \text{ kg/m}^3 \quad (37)$$

$$AG = 1181.040 \text{ kg/m}^3 \quad (38)$$

xii. Corrección por humedad de los agregados

$$Agregado \text{ final} = Agregado \text{ (kg)} \times (\text{Contenido de humedad} + 1) \quad (39)$$

$$AF_{final} = 610.161 \text{ kg} \times (9 \% + 1) = 665 \text{ kg} \quad (40)$$

$$AG_{final} = 1181.040 \text{ kg} \times (0.60 \% + 1) = 1188 \text{ kg} \quad (41)$$

Aporte de humedad superficial de los a agregados a la mezcla

$$Aporte\ de\ agua = \sum (humedad - absorción) \times agregados\ final \quad (42)$$

$$Aporte\ de\ agua\ (AF) = (9 \% - 1.11 \%) \times 610.161 \text{ kg} = 48.129 \text{ lts} \quad (43)$$

$$Aporte\ de\ agua\ (AG) = (0.60 \% - 0.76 \%) \times 1181.040 \text{ kg} = -1.89 \text{ lts} \quad (44)$$

Agua a incorporar al trompo

$$Agua\ a\ incorporar = Agua - aporte\ de\ agua \quad (45)$$

$$Agua\ a\ incorporar = 193 - (48.1290 - 1.89) = 147 \text{ lts} \quad (46)$$

Los pesos de los materiales ya corregidos por la humedad del agregado a ser empleados en la mezcla serán

$$Cemento = 345.630 \text{ kg/m}^3 \quad (47)$$

$$Agua = 147 \text{ Lt/m}^3 \quad (48)$$

$$AF = 665 \text{ kg/m}^3 \quad (49)$$

$$AG = 1188 \text{ kg/m}^3 \quad (50)$$

Los valores obtenidos en las ecuaciones 47 a 50 corresponden al desarrollo del diseño de mezcla y su corrección por humedad y absorción de los agregados. Para esta corrección se consideraron contenidos de humedad de 9.00 % para el agregado fino y 0.60 % para el agregado grueso, así como absorciones de 1.11 % y 0.76 %, respectivamente. Para reconstruir el balance de agua de las tandas experimentales se utilizaron las masas efectivamente dosificadas, descritas junto con la Tabla 11.

La Tabla 8 presenta las proporciones de referencia del diseño de mezcla patrón. Las Tablas 9 y 10 describen la composición de las series experimentales según los porcentajes de sustitución. Las cantidades efectivamente dosificadas por tanda de cuatro probetas y el balance de agua utilizado para calcular la relación a/(c+f) se detallan a continuación y en la Tabla 11.

Tabla 8

Proporciones del diseño de mezcla patrón por peso, volumen, baldes y tanda

Proporción	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
En peso	1	1.92	3.43	0.56
En volumen	1	1.81 ft ³	3.59 ft ³	18.1 lts
En baldes	1	2.57	5.08	18.1 lts
Por tanda	42.5 kg/bolsa	81.6 kg/bolsa	145.8 kg/bolsa	23.8 lts/bolsa

Tabla 9

Composición de las mezclas de concreto según el porcentaje de sustitución con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200

Materiales	G1 (0%)	G2 (4%)	G3 (8%)	G4 (12%)
Cemento (tipo I)	100% cemento	96% cemento	92% cemento	88% cemento
Filler calizo	—	4% filler	8% filler	12% filler
Tamaño de partícula del filler	—	Pasante del tamiz N.º 140	Pasante del tamiz N.º 140	Pasante del tamiz N.º 140
Agua	Agua potable	Agua potable	Agua potable	Agua potable
Agregado grueso	Grava natural	Grava natural	Grava natural	Grava natural
Agregado fino	Arena natural	Arena natural	Arena natural	Arena natural

Tabla 10

Composición de las mezclas de concreto según porcentaje de sustitución de filler calizo que pasa el tamiz N.º 200

Materiales	G1 (0%)	G2 (4%)	G3 (8%)	G4 (12%)
Cemento (tipo I)	100% cemento	96% cemento	92% cemento	88% cemento
Filler calizo	—	4% filler	8% filler	12% filler
Tamaño de partícula del filler	—	Pasante del tamiz N.º 200	Pasante del tamiz N.º 200	Pasante del tamiz N.º 200
Agua	Agua potable	Agua potable	Agua potable	Agua potable
Agregado grueso	Grava natural	Grava natural	Grava natural	Grava natural
Agregado fino	Arena natural	Arena natural	Arena natural	Arena natural

Para cada tanda de cuatro probetas se dosificaron 24.800 kg de agregado fino y 26.062 kg de agregado grueso, manteniéndose estas cantidades en todos los grupos. Las masas de cemento y filler fueron, respectivamente: 9.604 kg y 0.000 kg para el patrón; 9.220 kg y 0.384 kg para el 4 %; 8.836 kg y 0.768 kg para el 8 %; y 8.452 kg y 1.152 kg para el 12 %. En todas las condiciones, la masa conjunta de cemento y filler fue de 9.604 kg.

Para reconstruir el agua efectiva se utilizaron las masas húmedas de los agregados y las humedades determinadas durante su caracterización, suponiendo que estas representaban el estado de los materiales dosificados. Se adoptaron humedades de 9.00 % para la arena y 0.60 % para la piedra, y absorciones de 1.11 % y 0.76 %, respectivamente. Las masas secas equivalentes se calcularon dividiendo cada masa húmeda entre uno más su humedad, expresada en forma decimal.

$$\text{Aporte neto de agua de la arena} = (24.800/1.09) \times (0.0900 - 0.0111) = 1.795 \text{ kg.}$$

$$\text{Aporte neto de agua de la piedra} = (26.062/1.006) \times (0.0060 - 0.0076) = -0.041 \text{ kg.}$$

$$\text{Aporte neto total de los agregados} = 1.754 \text{ kg por tanda.}$$

El valor negativo correspondiente al agregado grueso representa una demanda de agua para completar su absorción. El agua efectiva se obtuvo sumando el aporte neto de los

agregados al agua total incorporada al trompo. Finalmente, la relación $a/(c+f)$ se calculó dividiendo el agua efectiva entre la suma de las masas de cemento y filler. Se adoptó una densidad del agua de 1 kg/L y se utilizaron los valores sin redondear en los cálculos.

Tabla 11

Agua incorporada y relación agua efectiva/(cemento + filler) final calculada por tanda de cuatro probetas

Condición	Agua inicial (L)	Agua complementaria (L)	Agua total incorporada al trompo (L)	Agua efectiva calculada (kg)	$a/(c+f)$ final (kg/kg)	Slump (pulg)
Patrón 0 %	3.28	1.55	4.83	6.584	0.686	3.5
4 % – 140	3.28	1.70	4.98	6.734	0.701	3.5
8 % – 140	3.28	1.95	5.23	6.984	0.727	3.5
12 % – 140	3.28	2.15	5.43	7.184	0.748	3.5
4 % – 200	3.28	1.90	5.18	6.934	0.722	3.5
8 % – 200	3.28	2.40	5.68	7.434	0.774	3.5
12 % – 200	3.28	2.65	5.93	7.684	0.800	3.5

Nota. Los valores corresponden a tandas de cuatro probetas. La denominación «140» identifica la fracción pasante N.º 140 y retenida N.º 200; «200» identifica la fracción pasante N.º 200. El agua complementaria se incorporó gradualmente hasta alcanzar un asentamiento de 3.5 pulgadas. El agua efectiva se reconstruyó mediante el balance de humedad y absorción descrito anteriormente. La relación $a/(c+f)$ incluye en el denominador las masas de cemento y filler, cuya suma fue de 9.604 kg por tanda. Los resultados se presentan con tres decimales. No se emplearon aditivos plastificantes ni superplastificantes.

La relación $a/(c+f)$ final calculada fue de 0.686 para el concreto patrón. En las mezclas con filler pasante N.º 140 y retenido N.º 200, los valores correspondientes a 4 %, 8 % y 12 % de sustitución fueron 0.701, 0.727 y 0.748, respectivamente. Para el filler pasante N.º 200, los valores fueron 0.722, 0.774 y 0.800. El incremento de esta relación correspondió al mayor contenido de agua incorporada, puesto que la masa conjunta de cemento y filler permaneció constante. Por tanto, la relación inicial a/c de 0.56 no representa la relación final de las tandas experimentales.

Moldeo y curado de probetas de concreto (NTP. 339.183, 2021)

El trabajo experimental se llevó a cabo en GSE Laboratorio Ingeniería & Construcción S.A.C., ubicado en la ciudad de Chota, donde se elaboraron las probetas cilíndricas de concreto con una resistencia de diseño de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, considerando las proporciones previamente definidas en el diseño de mezcla. A partir de la muestra patrón, se prepararon también las mezclas experimentales, en las cuales se adicionó filler calizo como sustituto parcial del cemento en proporciones de 0 %, 4 %, 8 % y 12 % en peso. El moldeo de los especímenes se realizó tomando como referencia la NTP 339.183 (INACAL, 2021). Posteriormente, las probetas fueron curadas mediante inmersión completa en una poza con agua potable hasta alcanzar las edades de ensayo establecidas.

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Cemento Portland Tipo I.
- Agregado fino (arena) de la cantera “El Arenal Conchán”.
- Agregado grueso (grava) de la cantera Chuyabamba.
- Filler calizo (Polvo residual) de la cantera Chuyabamba.
- Agua potable.
- Mezcladora de concreto tipo trompo.
- Bandejas metálicas para dosificación.
- Balanza digital para control de proporciones.
- Moldes cilíndricos metálicos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.
- Varilla de compactación metálica.
- Cucharones.
- Regla metálica.
- Nivel de burbuja (para verificar la horizontalidad de los moldes).
- Martillo de goma (para eliminar vacíos y mejorar la compactación externa).
- Aceite desmoldante.

- Guantes de seguridad.
- Equipo de protección personal (casco, botas).
- Poza de curado con agua potable.

b) Dosificación de los materiales

Se seleccionaron los materiales a utilizar en el moldeo de las probetas de concreto; posteriormente, se realizó el pesado individual de cada componente por muestra, considerando la dosificación obtenida en el diseño de mezcla para $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. El filler calizo se empleó de acuerdo con los tamaños de partícula establecidos, correspondientes al material que pasa los tamices N.º 140 y N.º 200, realizándose el pesaje respectivo para cada porcentaje de sustitución parcial del cemento (0 %, 4 %, 8 % y 12 %). Cada combinación fue preparada de manera independiente, garantizando uniformidad en las proporciones y evitando variaciones durante el proceso de mezclado.

Figura 23

Dosificación de los componentes de la mezcla de concreto ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)



c) Mezclado del concreto

El mezclado del concreto se realizó en una mezcladora mecánica tipo trompo, previamente limpia y humedecida. Para cada tanda destinada a la elaboración de cuatro probetas se dosificaron inicialmente 3.280 L de agua. Aproximadamente el 20 % de esta cantidad se incorporó al inicio del proceso con la finalidad de reducir la adherencia de los materiales a las paredes internas de la mezcladora. Posteriormente, se añadieron el agregado fino, el agregado grueso, el cemento Portland Tipo I y, según el tratamiento correspondiente, el filler calizo.

Los materiales fueron mezclados durante aproximadamente un minuto hasta alcanzar una distribución uniforme y, seguidamente, se incorporó el agua restante correspondiente a los 3.280 L inicialmente dosificados. Una vez incorporada esta cantidad, se verificó la consistencia de la mezcla mediante el ensayo de asentamiento. Debido a que las mezclas presentaron diferentes requerimientos de agua para alcanzar la trabajabilidad establecida, se incorporó agua complementaria de manera gradual y controlada hasta alcanzar un asentamiento de 3.5", valor comprendido dentro del intervalo de trabajabilidad establecido de 3" a 4", determinado mediante el ensayo del cono de Abrams. La cantidad de agua complementaria y el asentamiento final obtenido fueron registrados para cada condición experimental, alcanzándose un valor de 3.5" en las tandas elaboradas. No se emplearon aditivos plastificantes ni superplastificantes. Finalmente, el mezclado continuó durante un periodo adicional de 3 a 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea y sin evidencia visible de segregación.

d) Moldeo de las probetas

El moldeo de las probetas de concreto se realizó considerando las edades de curado (7, 14 y 28 días), los porcentajes de sustitución del cemento por filler calizo (0 %, 4 %, 8 % y 12 %) y los dos tamaños de partícula del material (pasante por los tamices N.º 140 y N.º 200). Para ello, se emplearon moldes metálicos previamente limpiados, nivelados y recubiertos con una ligera capa de aceite desmoldante.

Se tomó el concreto fresco de la parte central de la mezcladora mecánica, asegurando la representatividad de la muestra. Posteriormente, fue colocado en los moldes en tres capas de volumen aproximadamente igual, aplicando 25 golpes con una varilla de acero en cada capa, distribuidos uniformemente. Después del apisonado de cada capa, se aplicaron entre 10 y 15 golpes laterales externos con un martillo de goma, con la finalidad de mejorar el acomodo de los agregados y eliminar vacíos en la mezcla.

Al finalizar el llenado, en la última capa se procedió a enrasar la superficie superior mediante una regla metálica o varilla, eliminando el exceso de material y logrando un acabado uniforme. Todo el procedimiento de moldeo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la NTP 339.183 (INACAL, 2021), garantizando la adecuada preparación de los especímenes para su posterior curado y ensayo.

Figura 24

Moldeo de probetas cilíndricas de concreto para ensayos de resistencia



e) Inicio de fraguado

Los especímenes de concreto elaborados se cubrieron con una lona húmeda, este proceso se realizó con el fin de evitar que la humedad se evapore rápidamente durante el

fraguado inicial, además en este periodo se aseguró que las muestras de concreto se encuentren en un espacio plano, libre de cualquier movimiento o cualquier exposición directamente a la radiación solar generando así condiciones adecuadas para el endurecimiento inicial del concreto.

Pasado un periodo de 24 horas, las probetas fueron desmoldadas cuidadosamente, evitando generar daños.

f) Curado de los especímenes de concreto

Una vez finalizado el fraguado inicial y realizado el desmolde, las probetas fueron sumergidas completamente en una poza destinada al curado, utilizando agua potable como medio de almacenamiento. Los especímenes permanecieron en condición de inmersión continua hasta alcanzar las edades programadas de ensayo de 7, 14 y 28 días, manteniéndose identificados según el porcentaje de sustitución, la fracción granulométrica evaluada y la edad correspondiente.

Durante el periodo de curado no se realizó un registro instrumental de la temperatura del agua de la poza; por tanto, no se dispone de valores experimentales de temperatura que permitan afirmar que esta se mantuvo dentro de un intervalo específico. En consecuencia, el procedimiento se describe conforme a las condiciones realmente empleadas en laboratorio, tomando como referencia la NTP 339.183 y ASTM C192/C192M para la elaboración y curado de especímenes de concreto.

Al alcanzar cada edad programada, las probetas correspondientes fueron retiradas de la poza de curado y posteriormente sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.

Figura 25

Proceso de curado de probetas de concreto mediante inmersión



Ensayo de la resistencia a la compresión de especímenes de concreto (NTP. 339.034, 2021)

Al finalizar los periodos de curado establecidos de 7, 14 y 28 días, los especímenes de concreto correspondientes a los diferentes porcentajes de sustitución y tamaños de partícula del filler calizo fueron retirados de la poza de curado y sometidos al ensayo de resistencia a la compresión, siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 339.034 (INACAL, 2021).

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Calibrador Vernier digital (para determinar el diámetro y la altura de las probetas).
- Calibrador de láminas o galgas (para verificar la planicidad y perpendicularidad de las caras de las probetas).
- Balanza digital calibrada (para la determinación de la masa de los especímenes).
- Máquina de ensayo a compresión (prensa hidráulica).
- Paños o franelas absorbentes (para eliminar la humedad superficial antes del ensayo).
- Almohadillas de neopreno (para la adecuada distribución de la carga).
- Regla metálica
- Ficha de registro de datos.
- Probetas cilíndricas de concreto (15 cm de diámetro $\times$ 30 cm de altura), elaboradas con filler calizo como sustituto parcial del cemento en proporciones de 0 %, 4 %, 8 % y 12 % en peso, considerando los tamaños de partícula correspondientes al material que pasa los tamices N.º 140 y N.º 200.

b) Procedimiento del ensayo de resistencia a la compresión

- Los especímenes de concreto fueron retirados de la poza de curado al alcanzar las edades programadas de 7, 14 y 28 días y se dejaron escurrir para eliminar el exceso de agua superficial.
- Posteriormente, se secaron superficialmente mediante paños absorbentes antes de realizar el ensayo.
- Se determinaron las dimensiones de cada probeta, principalmente el diámetro y la altura, utilizando un calibrador Vernier digital, con la finalidad de verificar sus condiciones geométricas.
- Se verificaron la planicidad y perpendicularidad de las caras de carga de los especímenes mediante el calibrador de láminas o galgas utilizado para este propósito.
- Se determinó la masa de cada probeta utilizando una balanza digital calibrada y se registró el valor correspondiente.
- Antes del ensayo, se colocaron almohadillas de neopreno sobre las caras de carga de los especímenes, con la finalidad de favorecer una distribución uniforme de la carga durante la compresión.
- Cada probeta fue colocada individualmente en la prensa hidráulica y centrada respecto al eje de aplicación de la carga antes de iniciar el ensayo
- La máquina de ensayo a compresión utilizada perteneció al laboratorio GSE Ingeniería & Construcción S.A.C. y contó con documentación de calibración o verificación vigente durante el periodo de ejecución de los ensayos.
- La carga axial fue aplicada de manera continua y sin impactos mediante la prensa hidráulica, empleando la velocidad de carga establecida por el laboratorio para especímenes cilíndricos de 15 cm × 30 cm, conforme al procedimiento de ensayo adoptado y a los lineamientos de la NTP 339.034 y ASTM C39/C39M, hasta producir la falla del espécimen.

- Se registró la carga máxima soportada por cada probeta en el momento de la rotura, así como las observaciones correspondientes al comportamiento del espécimen durante el ensayo.
- Finalmente, la resistencia a la compresión de cada espécimen se determinó mediante la relación $f'c = P/A$, donde P corresponde a la carga máxima soportada y A al área transversal del espécimen, expresándose el resultado en kg/cm^2 .

Figura 26

Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto



3.7. Procedimiento de análisis de datos

Los datos obtenidos de los ensayos de laboratorio fueron organizados, codificados y procesados mediante hojas de cálculo de Microsoft Excel. Posteriormente, la base de datos fue exportada a IBM SPSS Statistics para efectuar los análisis estadísticos descriptivos e inferenciales correspondientes. Para la descripción de los resultados de resistencia a la compresión se calcularon medidas estadísticas como la media, desviación estándar, coeficiente de variación, valores mínimo y máximo, considerando los porcentajes de sustitución de 0 %, 4 %, 8 % y 12 %, los tamaños de partícula correspondientes a los tamices N.º 140 ($< 106 \mu\text{m}$) y N.º 200 ($< 75 \mu\text{m}$), y las edades de curado de 7, 14 y 28 días. Los resultados fueron presentados mediante tablas y gráficos para facilitar la comparación entre los grupos experimentales.

Para el análisis inferencial se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Previamente, se verificaron los supuestos requeridos para la aplicación de pruebas paramétricas mediante la prueba de Shapiro-Wilk, para evaluar la normalidad de los datos, y la prueba de Levene, para comprobar la homogeneidad de las varianzas. Posteriormente, se aplicó el ANOVA de un factor de manera independiente para cada tamaño de partícula y edad de curado, con el propósito de determinar la existencia de diferencias significativas entre los niveles de sustitución de cemento por filler calizo. A los 28 días, las comparaciones múltiples entre grupos se realizaron mediante la prueba post hoc de Tukey HSD.

Asimismo, para evaluar conjuntamente los efectos del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula sobre la resistencia a la compresión a los 28 días, se aplicó un ANOVA de dos factores con interacción, correspondiente al diseño factorial 4×2 . Se analizaron los efectos principales del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula, así como la interacción entre ambos factores.

Adicionalmente, para responder al objetivo específico c y evaluar inferencialmente el efecto de la edad de curado, se aplicó un ANOVA factorial de dos factores entre especímenes,

considerando como Factor A el grupo de evaluación, conformado por los ocho grupos evaluados (G1-140, G2-140, G3-140, G4-140, G1-200, G2-200, G3-200 y G4-200), y como Factor B la edad de curado, con tres niveles: 7, 14 y 28 días. Se evaluaron los efectos principales del grupo de evaluación y de la edad de curado, así como la interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado sobre la resistencia a la compresión. Este análisis permitió determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas entre las edades de curado y si el comportamiento de la resistencia a través del tiempo dependió del grupo de evaluación considerado.

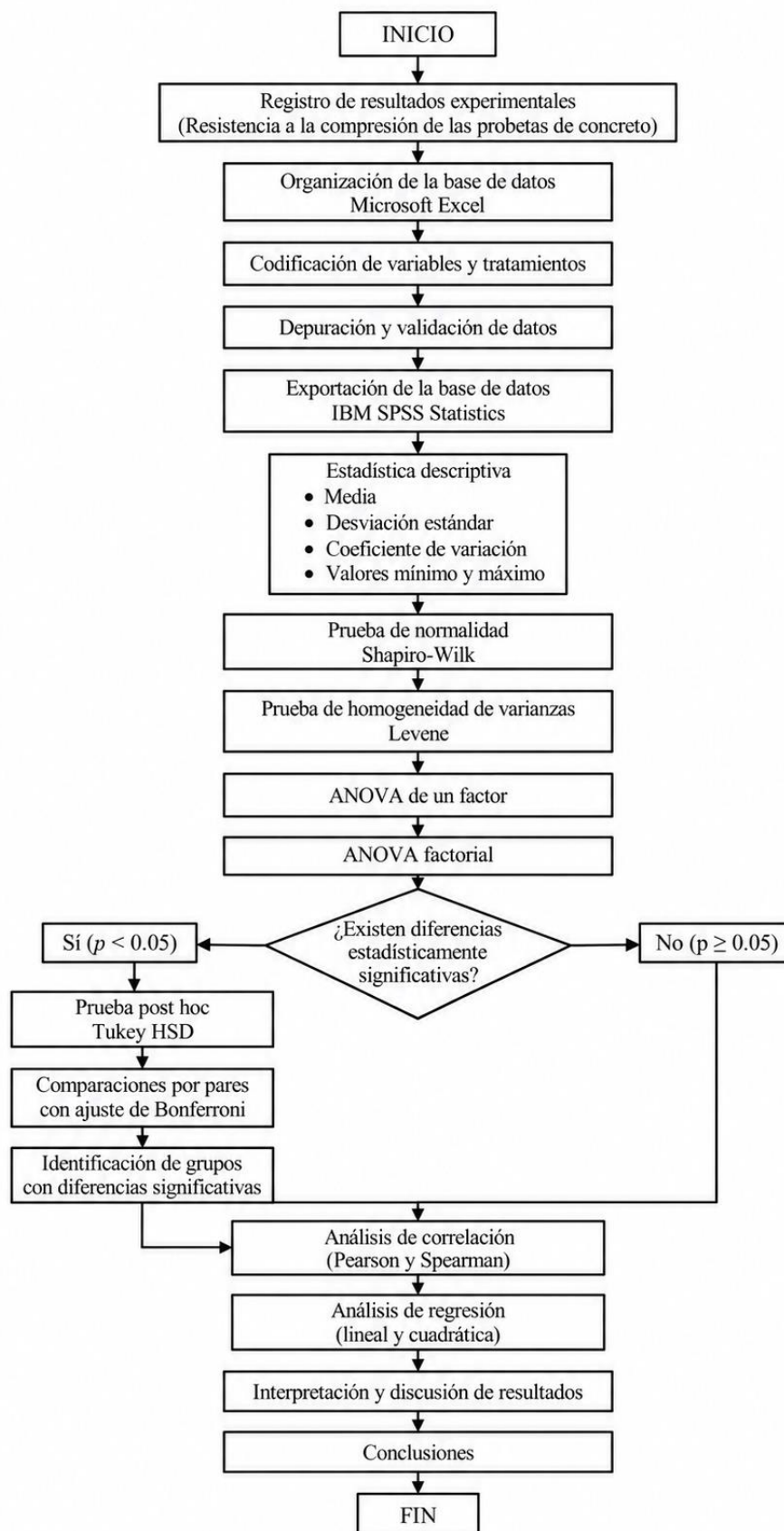
Cuando el efecto principal de la edad de curado resultó estadísticamente significativo, se realizaron comparaciones por pares entre las edades de 7, 14 y 28 días mediante el ajuste de Bonferroni, con la finalidad de identificar específicamente entre qué edades se presentaron diferencias significativas. Para todas las pruebas inferenciales se adoptó un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

De manera complementaria, a los 28 días se analizaron las relaciones entre el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión para cada tamaño de partícula mediante los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman. Posteriormente, se ajustaron modelos de regresión lineal y cuadrática para representar matemáticamente el comportamiento de la resistencia en función del porcentaje de sustitución. La selección e interpretación de los modelos consideró su significancia estadística, los coeficientes de determinación (R^2 y R^2 ajustado) y el comportamiento experimental observado.

Finalmente, la identificación de la dosificación de mayor desempeño se realizó considerando conjuntamente las resistencias medias obtenidas experimentalmente a los 28 días, las comparaciones estadísticas entre tratamientos y los modelos de regresión desarrollados, diferenciando entre la mayor resistencia observada dentro de los porcentajes ensayados y el óptimo matemático estimado mediante el modelo correspondiente.

Figura 27

Flujograma del proceso de análisis de datos



3.8. Materiales y equipos

a) Materiales empleados

- Cemento Portland Tipo I, marca Pacasmayo
- Filler calizo procedente de la cantera Chuyabamba.
- Agregado fino procedente de El Arenal, distrito de Conchán.
- Agregado grueso procedente de la cantera Chuyabamba.
- Agua potable empleada en la elaboración de las mezclas y en el curado de los especímenes.
- Aceite desmoldante.

b) Equipos e instrumentos de laboratorio

- Mezcladora de concreto.
- Moldes cilíndricos de 15 cm × 30 cm.
- Varilla de compactación.
- Martillo de goma.
- Cono de Abrams y varilla para el ensayo de asentamiento.
- Prensa para el ensayo de resistencia a la compresión.
- Balanza de precisión.
- Estufa de secado.
- Juego de tamices normalizados.
- Máquina de Los Ángeles.
- Recipientes y equipos empleados en los ensayos de peso unitario, peso específico y absorción

c) Herramientas y materiales auxiliares

- Palas.
- Baldes y recipientes de dosificación.

- Regla metálica.
- Sacos para recolección y transporte de materiales.
- Cámara fotográfica.
- Computadora portátil.

3.9. Aspectos éticos

a) Credibilidad

La investigación garantizó su credibilidad mediante la aplicación de métodos experimentales reconocidos y el cumplimiento de normas técnicas nacionales e internacionales (NTP y ASTM). Los datos obtenidos se registraron de forma sistemática, verificable y transparente, asegurando que los resultados reflejen fielmente las condiciones de los ensayos y no sean objeto de manipulación o sesgo interpretativo.

b) Gestión estratégica de oportunidades y riesgos

Durante el desarrollo del estudio se promovió una gestión responsable de los materiales, equipos y recursos empleados, adoptándose medidas preventivas para reducir los riesgos asociados con las actividades de laboratorio. Asimismo, se procuró aprovechar responsablemente el filler calizo residual disponible localmente, manteniendo las condiciones de seguridad y control requeridas durante la ejecución experimental.

c) Empleo de protocolos experimentales:

Se aplicaron procedimientos técnicos estandarizados durante las diferentes etapas del trabajo experimental. El diseño de la mezcla se desarrolló mediante el método ACI 211.1; la elaboración y el curado de los especímenes en laboratorio se realizaron tomando como referencia la NTP 339.183 y ASTM C192/C192M; y el ensayo de resistencia a la compresión se efectuó conforme a la NTP 339.034 y ASTM C39/C39M. La aplicación de estos procedimientos permitió mantener la trazabilidad y uniformidad de las actividades experimentales realizadas.

d) Veracidad de los resultados

La información presentada se apoyó en registros reales obtenidos en laboratorio, analizados con rigor estadístico y presentados sin alteraciones. Se procuró que los resultados representaran fielmente el comportamiento del concreto bajo las condiciones experimentales evaluadas, respaldando la integridad científica y la transparencia del estudio.

e) Sostenibilidad y aprovechamiento de residuos.

La investigación consideró el aprovechamiento de filler calizo residual procedente del procesamiento de roca caliza en la cantera Chuyabamba, incorporándolo como sustituto parcial del cemento en las proporciones establecidas experimentalmente. Este enfoque permitió evaluar técnicamente una alternativa de aprovechamiento de un material disponible localmente y reducir la cantidad de cemento utilizada en las mezclas con sustitución. No obstante, debido a que el estudio no incluyó la cuantificación de emisiones de CO₂, consumo energético ni indicadores específicos de impacto ambiental, los posibles beneficios asociados con la sostenibilidad se consideran una perspectiva potencial que deberá ser evaluada mediante investigaciones ambientales específicas.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Descripción de resultados

4.1.1. Caracterización de los Agregados

La caracterización física y mecánica de los agregados constituye una etapa previa para el diseño de mezclas de concreto. Los ensayos se realizaron conforme a las normas técnicas peruanas (NTP) y ASTM consideradas en la investigación, con el propósito de determinar las propiedades de los materiales y evaluar su comportamiento respecto a los criterios granulométricos y físicos establecidos para su utilización en el diseño de mezcla.

Tabla 12

Resumen de propiedades físicas del agregado fino (Arena Natural)

Propiedades físicas del agregado fino (arena natural - Cantera El Arenal, Conchán)		
Propiedad	Resultado	Normas / Método
Cantera de procedencia	Conchán	-
Material	Arena Natural	-
Tamaño máximo nominal	Nº 4	ASTM C33/ NTP 400 037:25
Módulo de finura (MF)	1.91	ASTM C136/ NTP 400 012:21
Contenido de humedad (%)	9.00 %	ASTM C566/ NTP 339 185:21
Absorción (%)	1.11 %	ASTM C 128:15/ NTP 400 022:24
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.518	ASTM C 128:15/ NTP 400 022:24
Peso específico SSS (g/cm ³)	2.546	ASTM C 128:15/ NTP 400 022:24
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.59	ASTM C 128:15/ NTP 400 022:24
Peso unit. suelto (kg/m ³)	1 457	ASTM C 29/C 29M:97/ NTP 400 017:20
Peso unit. compactado (kg/m ³)	1 549	ASTM C 29/C 29M:97/ NTP 400 017:20

El agregado fino presentó un módulo de finura de 1.91, valor inferior al intervalo de 2.3 a 3.1 considerado como referencia en la presente investigación, lo que evidencia una gradación predominantemente fina. El contenido de humedad natural fue de 9.00 %, la absorción de 1.11 % y el peso específico de masa de 2.518 g/cm³. Estas propiedades fueron consideradas durante las correcciones por humedad y el diseño de las mezclas. En

consecuencia, el material fue utilizado bajo las condiciones experimentales de la investigación, reconociéndose expresamente su condición granulométrica particular.

Tabla 13

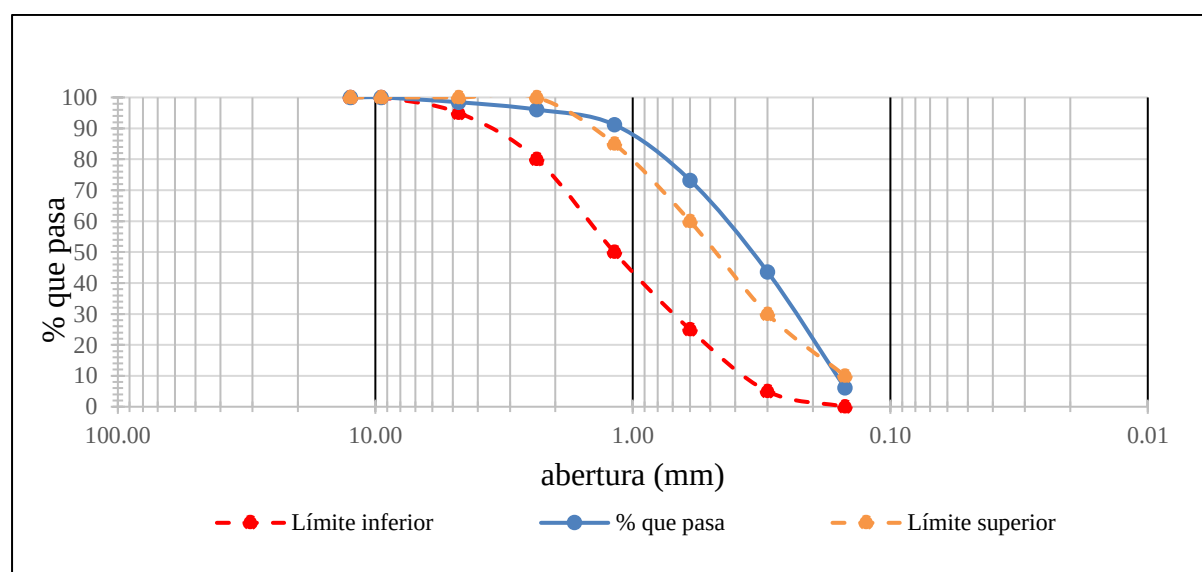
Análisis granulométrico del agregado fino

Análisis granulométrico del agregado fino						
(ASTM C33/ NTP 400 037:25)						
Malla	Masa Ret. (g)	% Parcial Ret.	% Acum. Ret.	% Acum. Pasa	Lím. Inf	Lím. Sup.
3/8" (9.50 mm)	-	-	0.00	100.00	100	100
N° 4 (4.75 mm)	39.7	1.55	1.55	98.45	95	100
N° 8 (2.36 mm)	60.7	2.37	3.93	96.07	80	100
N° 16 (1.18 mm)	124.8	4.88	8.81	91.19	50	85
N° 30 (600 µm)	458.9	17.94	26.75	73.25	25	60
N° 50 (300 µm)	757.2	29.61	56.35	43.65	5	30
N° 100 (150 µm)	960.0	37.54	93.89	6.11	0	10
Fondo	156.3	6.11	100.00	0.00	-	-

De acuerdo con los límites granulométricos consignados en la Tabla 13, el agregado fino presentó valores dentro de los intervalos de referencia en los tamices 3/8", N.º 4, N.º 8 y N.º 100; sin embargo, los porcentajes pasantes obtenidos en los tamices N.º 16, N.º 30 y N.º 50 superaron los límites superiores indicados. Por tanto, la gradación del agregado fino no se encontró completamente comprendida dentro del huso granulométrico utilizado como referencia. Este comportamiento es coherente con el módulo de finura de 1.91 y evidencia una mayor proporción de partículas finas. Esta característica fue considerada durante el diseño y la preparación experimental de las mezclas de concreto.

Figura 28

Curva granulométrica del agregado fino



Nota. La curva muestra la distribución granulométrica del agregado fino respecto a los límites establecidos por ASTM C33/NTP 400.037

Tabla 14

Resumen de propiedades físicas del agregado grueso

Propiedades físicas del agregado grueso (piedra chancada - Cantera Chuyabamba)		
Propiedad	Resultado	Normas / Método
Cantera de procedencia	Chuyabamba	-
Material	Piedra Chancada	-
Tamaño máximo nominal	1"	ASTM C33/ NTP 400 037:25
Módulo de finura (MF)	7.61	ASTM C136/ NTP 400 012:21
Contenido de humedad (%)	0.60 %	ASTM C566/ NTP 339 185:21
Absorción (%)	0.76 %	ASTM C 127:15/ NTP 400 021:20
Peso específico de masa (g/cm ³)	2.656	ASTM C 127:15/ NTP 400 021:20
Peso específico SSS (g/cm ³)	2.676	ASTM C 127:15/ NTP 400 021:20
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.71	ASTM C 127:15/ NTP 400 021:20
Peso unit. suelto (kg/m ³)	1 425	ASTM C 29/C 29M:97/ NTP 400 017:20
Peso unit. compactado (kg/m ³)	1 554	ASTM C 29/C 29M:97/ NTP 400 017:20
Desgaste Los Ángeles (%)	26.00 %	ASTM C 131/C131M:20/ NTP 400 020:20

El agregado grueso presentó un desgaste Los Ángeles de 26.00 %, una absorción de 0.76 %, un contenido de humedad de 0.60 % y un peso específico de masa de 2.656 g/cm³. Estos resultados permitieron caracterizar las condiciones físicas y mecánicas del material empleado en la elaboración del concreto y fueron considerados durante la corrección por humedad y el diseño de las mezclas. En cuanto a la distribución granulométrica, el material fue comparado con el huso N.º 5 correspondiente al tamaño máximo nominal considerado en el diseño, identificándose posteriormente las desviaciones respecto de los límites de referencia consignados en la Tabla 15.

Tabla 15

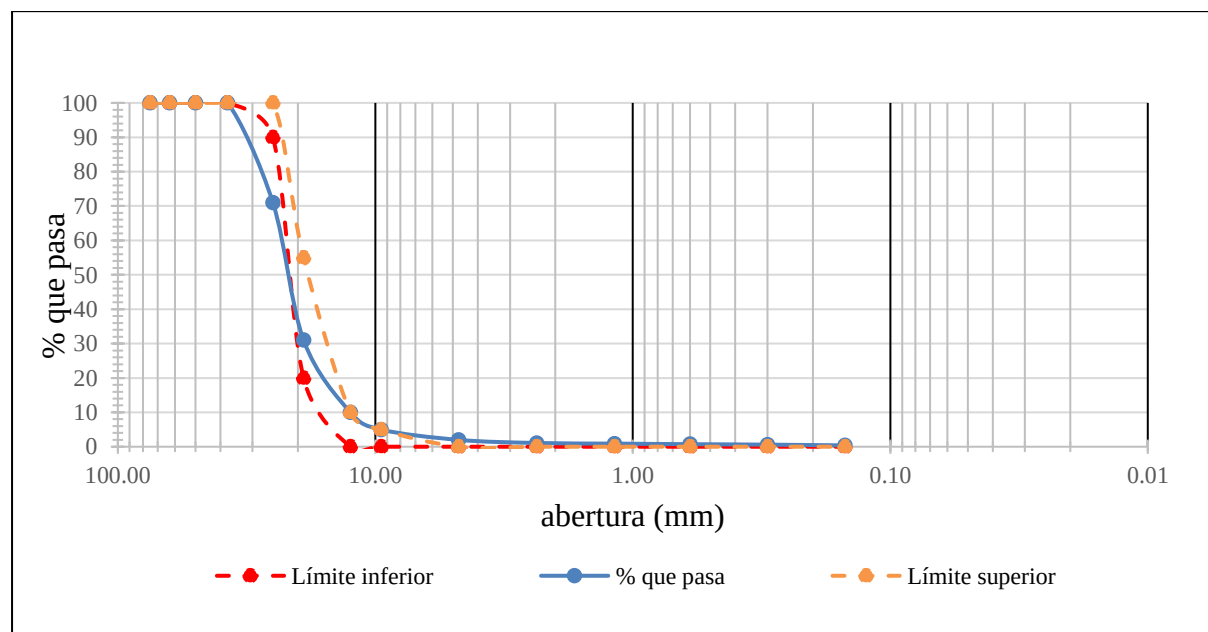
Análisis granulométrico del agregado grueso

Análisis granulométrico del agregado grueso						
ASTM C33/NTP 400 037:25 - HUSO 5						
Malla	Masa Ret. (g)	% Parcial Ret.	% Acum. Ret.	% Acum. Pasa	Lím. Inf	Lím. Sup.
1½" (37.50 mm)	0	0.00	0.00	100.00	100	100
1" (25.00 mm)	11301	29	29	71	90	100
¾" (19.00 mm)	15653	40	69	31	20	55
½" (12.50 mm)	8338	21	90	10	0	10
3/8" (9.50 mm)	1964	5	95	5	0	5
Nº 4 (4.75 mm)	1282	3	98	2	0	0
Nº 8 (2.36 mm)	227	0.58	98.91	1.09	0	0
Nº 16 (1.18 mm)	74.00	0.19	99.09	0.91	0	0
Nº 30 (600 µm)	66.00	0.17	99.26	0.74	0	0
Nº 50 (300 µm)	49.00	0.13	99.39	0.61	0	0
Nº 100 (150 µm)	86.00	0.22	99.61	0.39	0	0
Fondo	154	0.39	100.00	0.00	-	-

El agregado grueso fue comparado con los límites granulométricos consignados para el huso utilizado como referencia en la Tabla 15. Los resultados muestran que la distribución del material no se encontró completamente comprendida dentro de dichos límites. La principal desviación se presentó en el tamiz de 1", en el cual se obtuvo 71 % de material pasante frente al intervalo de 90 % a 100 % consignado en la tabla. Asimismo, se identificaron fracciones de material en tamices inferiores cuyos porcentajes deben interpretarse de acuerdo con los límites de referencia mostrados. En consecuencia, no se estableció un cumplimiento granulométrico integral del agregado grueso con el huso considerado. No obstante, el material presentó un desgaste Los Ángeles de 26 %, una absorción de 0.76 % y un peso específico de masa de 2.656 g/cm³, propiedades que fueron consideradas junto con su distribución granulométrica durante el diseño experimental de las mezclas.

Figura 29

Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. La curva muestra la distribución granulométrica del agregado grueso respecto a los límites establecidos por ASTM C33/NTP 400.037

4.1.2. Filler calizo – Polvo de Piedra Chancada (Cantera Chuyabamba)

Tabla 16

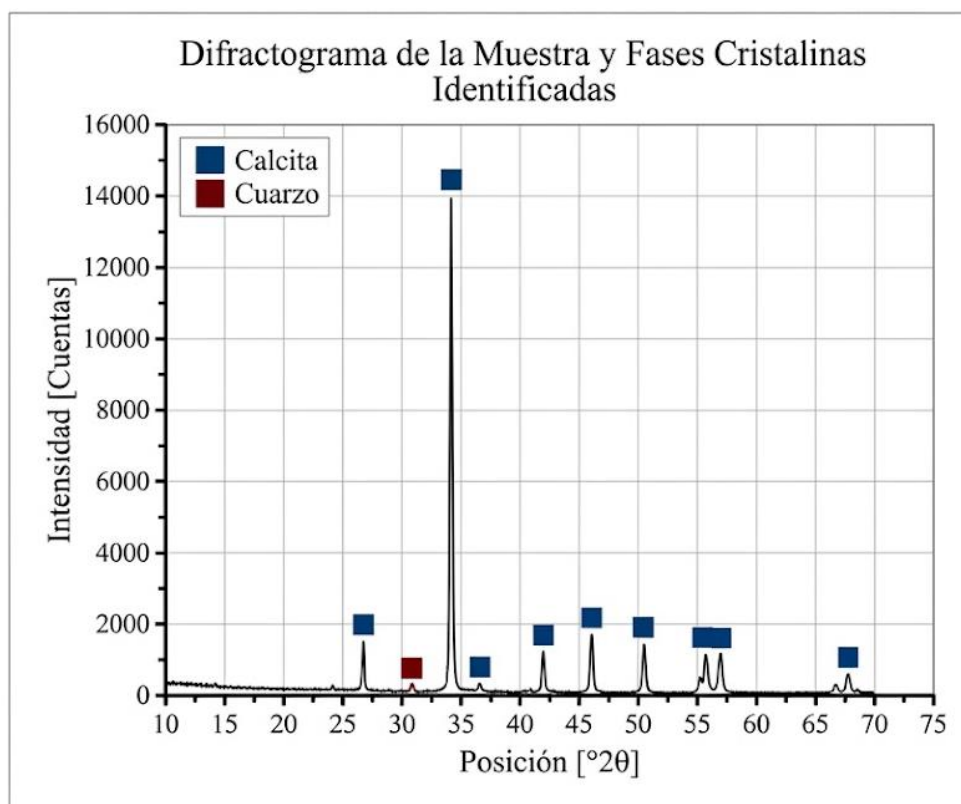
Propiedades físico-mineralógicas del filler calizo

Propiedades físico-mineralógicas del filler calizo (Cantera Chuyabamba)

Propiedad	Resultado	Normas / Método
Cantera de procedencia	Chuyabamba	-
Material	Filler calizo	-
	(polvo residual de trituración)	-
Color	Blanco grisáceo	-
Fracciones granulométricas	< 106 µm y < 75 µm	-
evaluadas en la investigación	(tamices N° 140 y N° 200)	-
Método de caracterización mineralógica	Difracción de Rayos X (DRX)	UNE-EN 13925-3:2006
Identificación de fases	ICDD PDF-2 (2014)	-
Cuantificación de fases	Refinamiento Rietveld – TOPAS	-
	Structure Database	-
Equipo utilizado	Difractómetro D8 Endeavor	-
	Detector LynxEye-2	-
Composición mineralógica		
CaCO ₃ (calcita)	98.654 %	UNE-EN 13925-3:2006
SiO ₂ (cuarzo)	1.346 %	UNE-EN 13925-3:2006

Figura 30

Difractograma del ensayo de Difracción de rayos X



El análisis de Difracción de Rayos X (DRX), realizado por el laboratorio SLAB Perú, determinó que el filler calizo obtenido de la cantera Chuyabamba está constituido predominantemente por calcita (CaCO_3), con una proporción de 98.654 %, y por cuarzo (SiO_2), con 1.346 %. Estos resultados evidencian el marcado predominio de la fase carbonatada en la muestra analizada. Las fracciones pasantes por los tamices N.º 140 ($< 106 \mu\text{m}$) y N.º 200 ($< 75 \mu\text{m}$) procedieron del mismo material de origen y fueron diferenciadas mediante tamizado para evaluar posteriormente la influencia del tamaño de partícula sobre la resistencia a la compresión del concreto. La caracterización mineralógica mediante DRX se efectuó sobre una muestra representativa del filler calizo acondicionada mediante el tamiz N.º 140.

4.1.3. Comparación de propiedades de los materiales empleados

Tabla 17

Cuadro comparativo de propiedades físicas y mineralógicas de los materiales empleados

para el diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS PARA EL DISEÑO $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
Propiedad	Ag. Fino	Ag. Grueso	Filler calizo
Humedad natural (%)	9.0	0.6	-
Módulo de finura	1.91	7.61	-
Tamaño máx. nominal	N.º 4	1"	-
Absorción (%)	1.112	0.760	-
Peso esp. masa (g/cm^3)	2.518	2.656	-
Peso esp. SSS (g/cm^3)	2.546	2.676	-
Peso esp. aparente (g/cm^3)	2.590	2.710	-
P. unit. suelto (kg/m^3)	1 457	1 425	-
P. unit. compactado (kg/m^3)	1 549	1 554	-
Desgaste Los Ángeles (%)	-	26.0	-
Composición mineralógica			
Calcita (CaCO_3)	-	-	98.654
Cuarzo (SiO_2)	-	-	1.346

La comparación de las propiedades evidencia características diferenciadas entre los materiales utilizados en la elaboración del concreto. El agregado fino presentó una gradación predominantemente fina, con un módulo de finura de 1.91 y desviaciones respecto a algunos de los límites granulométricos considerados. Por su parte, el agregado grueso presentó propiedades físicas y mecánicas favorables, destacando un desgaste Los Ángeles de 26 %, aunque su distribución granulométrica mostró una desviación principalmente en el porcentaje pasante por el tamiz de 1". Estas características fueron consideradas durante el diseño y ajuste experimental de las mezclas. Asimismo, la muestra de filler calizo analizada mediante DRX

presentó una composición mineralógica de 98.654 % de calcita (CaCO_3) y 1.346 % de cuarzo (SiO_2), evidenciándose el predominio de la fase carbonatada en el material empleado como sustituto parcial del cemento. El símbolo “—” indica aquellas propiedades que no fueron determinadas o que no correspondieron al ensayo efectuado para cada material.

4.2 Estadística Descriptiva de la Resistencia a la Compresión

Se presenta a continuación la estadística descriptiva de los resultados de resistencia a la compresión (kg/cm^2) obtenidos de los 96 especímenes cilíndricos ensayados, organizados por grupo experimental, tamaño de partícula del filler calizo (filler calizo pasante por tamiz N.º 140 y filler calizo pasante por tamiz N.º 200) y edad de curado (7, 14 y 28 días). Cada celda corresponde a $n = 4$ probetas. Los estadísticos reportados son: media aritmética ($\bar{x}$), desviación estándar (DS), coeficiente de variación (CV %), valor mínimo (Mín) y valor máximo (Máx). Adicionalmente, se expresa la media como porcentaje de la resistencia de diseño $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con la finalidad de comparar el desempeño alcanzado por cada grupo experimental respecto al valor establecido en el diseño de mezcla.

4.2.1. Resultados descriptivos para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140

Tabla 18

Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión (kg/cm^2) por grupo, tamaño de partícula y edad de curado — TP < 106 μm (tamiz N.º 140)

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	Edad	n	Media	DS	CV (%)	Mín	Máx	% f'_c
G1	140	0 %	7 días	4	224.0	12.2	5.5 %	212	236	106.7 %
G1	140	0 %	14 días	4	255.5	6.7	2.6 %	250	265	121.7 %
G1	140	0 %	28 días	4	278.5	11.0	4.0 %	269	292	132.6 %
G2	140	4 %	7 días	4	225.5	8.6	3.8 %	216	235	107.4 %
G2	140	4 %	14 días	4	245.3	9.4	3.8 %	232	254	116.8 %
G2	140	4 %	28 días	4	274.3	4.8	1.7 %	269	280	130.6 %
G3	140	8 %	7 días	4	208.0	14.1	6.8 %	191	221	99.0 %

G3	140	8 %	14 días	4	239.0	11.3	4.7 %	223	249	113.8 %
G3	140	8 %	28 días	4	285.0	6.5	2.3 %	278	291	135.7 %
G4	140	12 %	7 días	4	165.3	7.3	4.4 %	156	172	78.7 %
G4	140	12 %	14 días	4	184.3	4.9	2.7 %	178	190	87.7 %
G4	140	12 %	28 días	4	244.0	8.0	3.3 %	236	255	116.2 %

Los estadísticos descriptivos correspondientes al filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 evidencian un comportamiento no lineal de la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución. A los 28 días, el grupo G3, correspondiente al 8 % de filler calizo, alcanzó la mayor resistencia media con 285.00 kg/cm², mientras que el grupo control G1 registró 278.50 kg/cm². La diferencia descriptiva entre ambas medias fue de 6.50 kg/cm², equivalente a 2.33 % respecto al concreto patrón. Este resultado indica que el grupo con 8 % presentó la mayor media observada dentro de las condiciones evaluadas, sin que esta diferencia numérica deba interpretarse por sí sola como una mejora estadísticamente demostrada frente al control. Por otro lado, los coeficientes de variación de los grupos evaluados oscilaron entre 1.7 % y 6.8 %, evidenciando una baja dispersión relativa de los resultados dentro de cada grupo experimental.

4.2.2. Resultados descriptivos para el filler calizo pasante por tamiz N.º 200

Tabla 19

Estadísticos descriptivos de la resistencia a la compresión (kg/cm²) por grupo, tamaño de partícula y edad de curado — TP < 75 µm (tamiz N.º 200)

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	Edad	n	Media	DS	CV (%)	Mín	Máx	% f'c
G1	200	0 %	7 días	4	233.0	8.8	3.8 %	225	242	111 %
G1	200	0 %	14 días	4	261.3	9.4	3.6 %	250	272	124.4 %
G1	200	0 %	28 días	4	276.8	3.8	1.4 %	273	282	131.8 %
G2	200	4 %	7 días	4	216.0	12.2	5.6 %	201	229	102.9 %
G2	200	4 %	14 días	4	240.0	4.7	2.0 %	234	245	114.3 %
G2	200	4 %	28 días	4	261.5	7.5	2.9 %	255	271	124.5 %
G3	200	8 %	7 días	4	213.8	11.3	5.3 %	198	224	101.8 %
G3	200	8 %	14 días	4	235.8	4.3	1.8 %	231	241	112.3 %
G3	200	8 %	28 días	4	264.5	9.0	3.4 %	256	277	126.0 %
G4	200	12 %	7 días	4	196.8	16.1	8.2 %	173	209	93.7 %
G4	200	12 %	14 días	4	224.3	9.7	4.3 %	214	236	106.8 %
G4	200	12 %	28 días	4	252.8	9.3	3.7 %	242	261	120.4 %

Para el filler calizo pasante por el tamiz N.º 200 se observa una tendencia general de reducción de la resistencia a la compresión conforme aumenta el porcentaje de sustitución, aunque el comportamiento no fue estrictamente decreciente, debido a que el grupo con 8 % presentó una ligera recuperación respecto al grupo con 4 %. A los 28 días, el concreto patrón alcanzó una resistencia media de 276.75 kg/cm², mientras que los grupos con 4 %, 8 % y 12 % registraron 261.50, 264.50 y 252.75 kg/cm², respectivamente. La mayor reducción respecto al control correspondió al grupo G4 con 12 % de sustitución, con una diferencia de 24.00 kg/cm²,

equivalente a una disminución de 8.67 %. El mayor coeficiente de variación correspondió igualmente a G4 a los 7 días, con 8.2 %, observándose en general una dispersión relativa reducida entre los especímenes de cada grupo. A los 28 días, todos los grupos evaluados alcanzaron resistencias medias superiores al valor de diseño $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.3. Verificación de supuestos estadísticos

Previo a la aplicación de las pruebas paramétricas, se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, considerando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Estas verificaciones se utilizaron como criterios estadísticos previos para la aplicación del ANOVA de un factor y del ANOVA de dos factores.

La prueba de Shapiro-Wilk se empleó para evaluar la normalidad de los datos de cada subgrupo experimental. La hipótesis nula (H_0) establece que los datos son compatibles con una distribución normal; por tanto, cuando $p > 0.05$ no se rechaza H_0 . Debido a que cada subgrupo estuvo conformado por cuatro observaciones ($n = 4$), los resultados de esta prueba fueron interpretados con cautela, considerando la limitada capacidad de las pruebas de normalidad para detectar desviaciones con tamaños muestrales reducidos.

4.3.1. Prueba de normalidad mediante Shapiro-Wilk

Tabla 20

Resultados de la prueba Shapiro-Wilk por grupo experimental y edad de curado ($n = 4$ por subgrupo) — $TP < 106 \mu\text{m}$ (tamiz N.º 140)

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	Edad	n	W calculado	Grados de libertad (gl)	P-valor (Sig)	Normalidad
G1	140	0 %	7 días	4	0.844	4	0.207	Normal
G1	140	0 %	14 días	4	0.878	4	0.331	Normal
G1	140	0 %	28 días	4	0.885	4	0.359	Normal
G2	140	4 %	7 días	4	0.959	4	0.770	Normal
G2	140	4 %	14 días	4	0.889	4	0.380	Normal

G2	140	4 %	28 días	4	0.984	4	0.925	Normal
G3	140	8 %	7 días	4	0.912	4	0.495	Normal
G3	140	8 %	14 días	4	0.899	4	0.427	Normal
G3	140	8 %	28 días	4	0.864	4	0.273	Normal
G4	140	12 %	7 días	4	0.932	4	0.603	Normal
G4	140	12 %	14 días	4	0.973	4	0.860	Normal
G4	140	12 %	28 días	4	0.920	4	0.539	Normal

En todos los 12 subgrupos del tamaño de partícula que pasan por el tamiz N.º 140, los p-valores obtenidos en la prueba Shapiro-Wilk superaron el nivel de significancia $\alpha = 0.05$ (rango: 0.207 a 0.925), lo que indica que no existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad en ninguno de los grupos. Los valores del estadístico W oscilaron entre 0.844 y 0.984, todos próximos a la unidad. Debido al tamaño reducido de muestra por subgrupo, estos resultados fueron interpretados con cautela y complementados con la naturaleza balanceada del diseño experimental, habilitando el uso del ANOVA paramétrico.

Tabla 21

Resultados de la prueba Shapiro-Wilk por grupo experimental y edad de curado (n = 4 por subgrupo) — TP < 75 μm (tamiz N.º 200)

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	Edad	N	Estadístico (W)	Grados de libertad (gl)	P-valor (Sig)	Normalidad
G1	200	0 %	7 días	4	0.834	4	0.177	Normal
G1	200	0 %	14 días	4	0.994	4	0.977	Normal
G1	200	0 %	28 días	4	0.895	4	0.406	Normal
G2	200	4 %	7 días	4	0.980	4	0.902	Normal
G2	200	4 %	14 días	4	0.984	4	0.925	Normal
G2	200	4 %	28 días	4	0.899	4	0.427	Normal
G3	200	8 %	7 días	4	0.918	4	0.528	Normal
G3	200	8 %	14 días	4	0.993	4	0.970	Normal
G3	200	8 %	28 días	4	0.925	4	0.566	Normal

G4	200	12 %	7 días	4	0.795	4	0.093	Normal
G4	200	12 %	14 días	4	0.970	4	0.840	Normal
G4	200	12 %	28 días	4	0.876	4	0.321	Normal

En los 12 subgrupos correspondientes al tamaño de partícula $TP < 75 \mu m$, los valores de significancia obtenidos mediante Shapiro-Wilk fueron superiores a $\alpha = 0.05$, con un rango de $p = 0.093$ a $p = 0.977$. En consecuencia, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de normalidad en ninguno de los subgrupos. El menor valor correspondió a G4 con 12 % de sustitución a los 7 días ($W = 0.795$; $p = 0.093$). Debido al reducido tamaño de muestra por subgrupo ($n = 4$), estos resultados fueron interpretados con cautela y conjuntamente con la estructura balanceada del diseño experimental y la evaluación de homogeneidad de varianzas.

4.3.2. Prueba de homogeneidad de varianzas mediante Levene

La prueba de Levene se empleó para evaluar la homogeneidad de varianzas entre los grupos considerados en cada análisis. La hipótesis nula (H_0) establece la igualdad de las varianzas poblacionales. Cuando $p > 0.05$, no se rechaza H_0 , por lo que no existe evidencia estadística suficiente para considerar que las varianzas difieran significativamente entre los grupos. Este criterio fue utilizado para evaluar la pertinencia de la aplicación posterior de los análisis de varianza.

Tabla 22

Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 7 días

Grupo	Edad	Estadístico de Levene	gl ₁	gl ₂	Sig. (P-valor)	Conclusión
TP<106 µm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	7 días	2.890	3	12	0.079	Varianzas homogéneas
TP<75 µm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	7 días	0.433	3	12	0.733	Varianzas homogéneas
8 grupos combinados	7 días	0.851	7	24	0.557	Varianzas homogéneas

A los 7 días, los análisis realizados presentaron valores de $p > 0.05$; por tanto, no se rechazó la hipótesis nula de igualdad de varianzas. El menor valor de significancia correspondió a TP < 106 µm ($p = 0.079$), mientras que TP < 75 µm y el análisis combinado de los ocho grupos registraron $p = 0.733$ y $p = 0.557$, respectivamente. En consecuencia, no se encontró evidencia estadística de heterogeneidad de varianzas a esta edad de curado. gl₁ = grados de libertad del numerador (entre grupos); gl₂ = grados de libertad del denominador (dentro de grupos).

Tabla 23

Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 14 días

Grupo	Edad	Estadístico de Levene	gl ₁	gl ₂	Sig. (P-valor)	Conclusión
TP<106 µm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	14 días	0.729	3	12	0.554	Varianzas homogéneas
TP<75 µm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	14 días	2.105	3	12	0.153	Varianzas homogéneas
8 grupos combinados	14 días	0.997	7	24	0.457	Varianzas homogéneas

A los 14 días, los valores de significancia fueron superiores a $\alpha = 0.05$ para TP < 106 µm ($p = 0.554$), TP < 75 µm ($p = 0.153$) y los ocho grupos combinados ($p = 0.457$). Por

consiguiente, no se rechazó la hipótesis nula de igualdad de varianzas en ninguno de los análisis realizados.

Tabla 24

Resultados de la prueba de Levene para igualdad de varianzas — Resistencia a la compresión a los 28 días

Grupo	Edad	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig. (P-valor)	Conclusión
TP<106 μm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	28 días	1.825	3	12	0.196	Varianzas homogéneas
TP<75 μm (0 %, 4 %, 8 %, 12 %)	28 días	1.566	3	12	0.249	Varianzas homogéneas
8 grupos combinados	28 días	1.455	7	24	0.230	Varianzas homogéneas

A los 28 días, los valores de significancia obtenidos mediante la prueba de Levene fueron superiores a $\alpha = 0.05$ para TP < 106 μm ($p = 0.196$), TP < 75 μm ($p = 0.249$) y los ocho grupos combinados ($p = 0.230$). Por tanto, no se encontró evidencia estadística suficiente para rechazar el supuesto de igualdad de varianzas. Considerando conjuntamente estos resultados, los obtenidos mediante Shapiro-Wilk y la estructura balanceada del diseño experimental, se consideró procedente la aplicación de los análisis paramétricos establecidos en la investigación.

4.4. Análisis de varianza de un factor

4.4.1. ANOVA para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140

El Análisis de Varianza de un factor (ANOVA one-way) es la prueba paramétrica adecuada para comparar las medias de tres o más grupos independientes cuando se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad. En este estudio, el factor evaluado es el porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo (0 %, 4 %, 8 % y 12 %), con cuatro niveles. La hipótesis nula ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$) establece que no existen diferencias significativas entre las medias de resistencia a la compresión de los cuatro grupos. La hipótesis alternativa (H_1) indica que al menos un par de medias difiere. El estadístico F es el cociente

entre la varianza inter-grupos (entre tratamientos) y la varianza intra-grupos (error experimental): $F = CM\text{-entre} / CM\text{-dentro}$. Se rechaza H_0 cuando F calculado $> F$ crítico o equivalentemente cuando $p < 0.05$ ($\alpha = 0.05$)

4.4.1.1 Resultados a los 7 días de curado - TP < 106 μm (tamiz N.º 140)

Tabla 25

ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (TP < 106 μm , $n = 4$ por grupo)

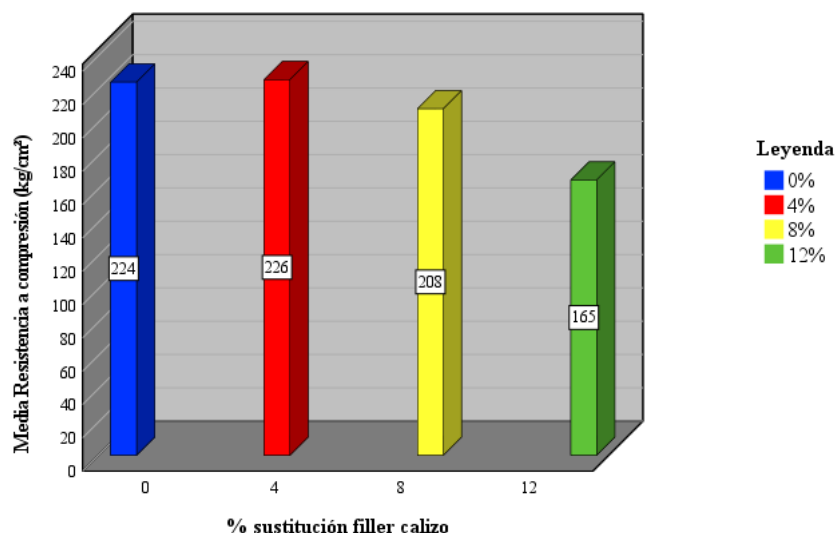
Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
7 días	Entre grupos (% filler)	9473.688	3	3157.896	26.616	<0.001
	Dentro de grupos (error)	1423.750	12	118.646	-	-
	Total	10897.438	15	-	-	-

El ANOVA de un factor arroja un estadístico $F(3, 12) = 26.616$ con $p < 0.001$, valor ampliamente inferior al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias. Esto significa que el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión a los 7 días para TP < 106 μm . El tamaño del efecto calculado fue $\eta^2 = 0.869$, lo que indica que el porcentaje de sustitución estuvo asociado con una proporción considerable de la variabilidad observada en la resistencia a la compresión a esta edad. SC = Suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = Media cuadrática.

Figura 31

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado

Evolución de la resistencia a la compresión por % de sustitución de filler calizo a los 7 días de curado



Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7 días según grupo experimental - TP < 106 μ m. G1: 224.0 kg/cm²; G2: 225.5 kg/cm²; G3: 208.0 kg/cm²; G4: 165.3 kg/cm².

4.4.1.2 Resultados a los 14 Días de Curado - TP < 106 μ m (tamiz N.º 140)

Tabla 26

ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 14 días de curado (TP < 106 μ m, n = 4 por grupo)

Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
14 días	Entre grupos (% filler)	12211.500	3	4070.500	57.432	<0.001
	Dentro de grupos (error)	850.500	12	70.875	-	-
	Total	13062.000	15	-	-	-

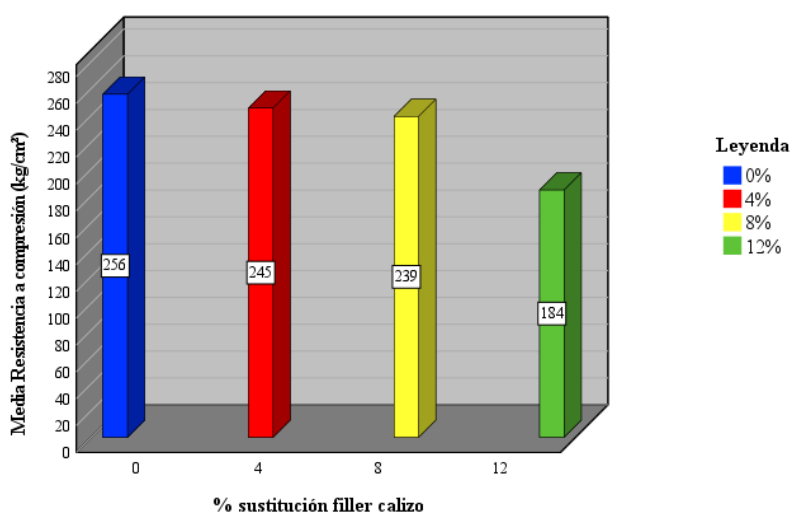
A los 14 días, el ANOVA de un factor mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de sustitución, $F(3, 12) = 57.432$, $p < 0.001$, por lo que se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias. Las resistencias medias fueron 255.50 kg/cm² para G1,

245.25 kg/cm² para G2, 239.00 kg/cm² para G3 y 184.25 kg/cm² para G4, observándose la menor resistencia en el grupo con 12 % de sustitución. El tamaño del efecto fue $\eta^2 = 0.935$, evidenciando una elevada proporción de variabilidad asociada con el porcentaje de sustitución bajo las condiciones evaluadas a esta edad.

Figura 32

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado

Evolución de la resistencia a la compresión por % de sustitución de filler calizo a los 14 días de curado



Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 14 días según grupo experimental - TP < 106 μ m. G1: 255.5 kg/cm²; G2: 245.3 kg/cm²; G3: 239.0 kg/cm²; G4: 184.3 kg/cm²

4.4.1.3 Resultados a los 28 Días de Curado - TP < 106 μ m (tamiz N.º 140)

Tabla 27

ANOVA de un factor — Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (TP < 106 μ m, n = 4 por grupo)

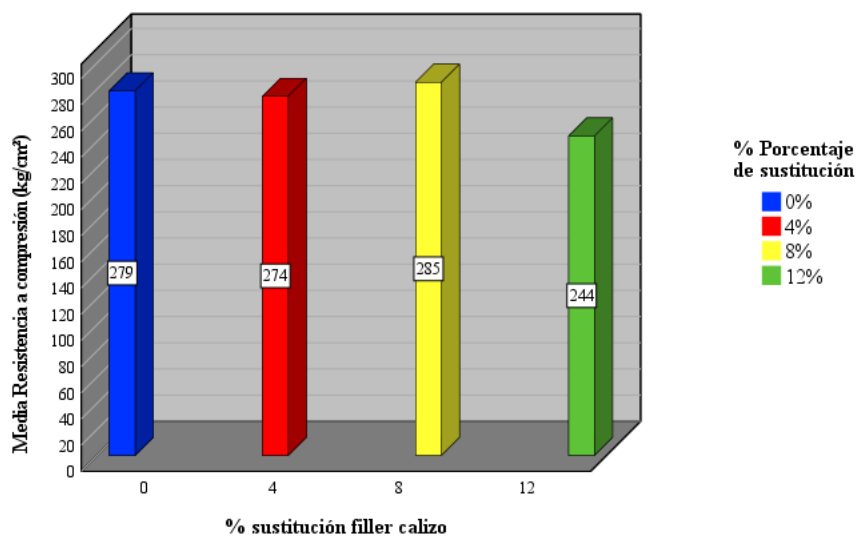
Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
28 días	Entre grupos (% filler)	3962.187	3	1320.729	21.139	<0.001
	Dentro de grupos (error)	749.750	12	62.479	-	-
	Total	4711.937	15	-	-	-

A los 28 días, el ANOVA de un factor evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de sustitución, $F(3, 12) = 21.139$, $p < 0.001$. Las resistencias medias fueron 278.50 kg/cm² para G1, 274.25 kg/cm² para G2, 285.00 kg/cm² para G3 y 244.00 kg/cm² para G4. El grupo G3, correspondiente al 8 % de sustitución, presentó numéricamente la mayor resistencia media entre los niveles evaluados, mientras que G4 registró el menor valor. El tamaño del efecto fue $\eta^2 = 0.841$, evidenciando una elevada proporción de variabilidad asociada con el porcentaje de sustitución. La identificación específica de los grupos que difirieron estadísticamente se efectuó posteriormente mediante la prueba post hoc de Tukey HSD.

Figura 33

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado

Evolución de la resistencia a la compresión por % de sustitución de filler calizo a los 28 días de curado

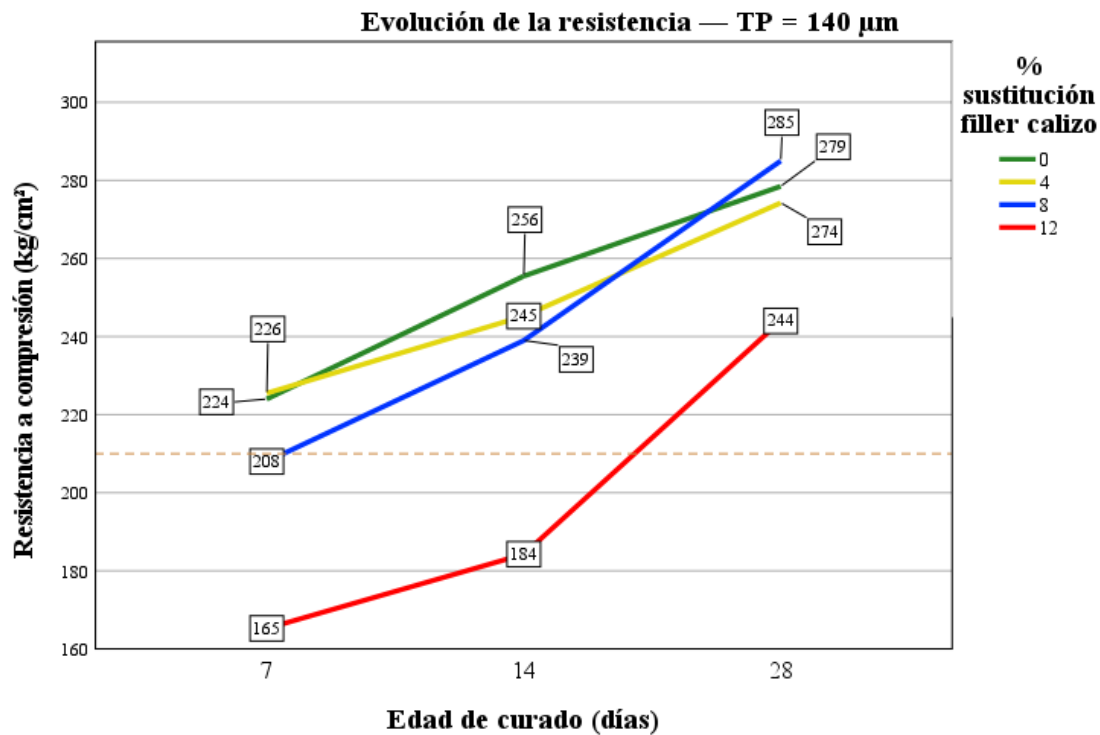


Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 28 días según grupo experimental - TP = < 106 µm. G1: 278.5 kg/cm²; G2: 274.3 kg/cm²; G3: 285.0 kg/cm²; G4: 244.0 kg/cm²

4.4.1.4. Evolución de la resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7, 14 y 28 días de curado por grupo experimental - TP < 106 µm (tamiz N.º 140).

Figura 34

Evolución de la resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7, 14 y 28 días de curado por grupo experimental – TP < 106 µm (tamiz N.º 140)



Se observa el cruce de G3-140 sobre G1-140 entre los 14 y 28 días, y la recuperación tardía de G4-140

4.4.2. ANOVA para el filler calizo pasante por tamiz N.º 200

4.4.2.1. Resultados a los 7 Días de Curado - TP < 75 µm (Tamiz N° 200)

Tabla 28

ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (TP < 75 µm, n = 4 por grupo)

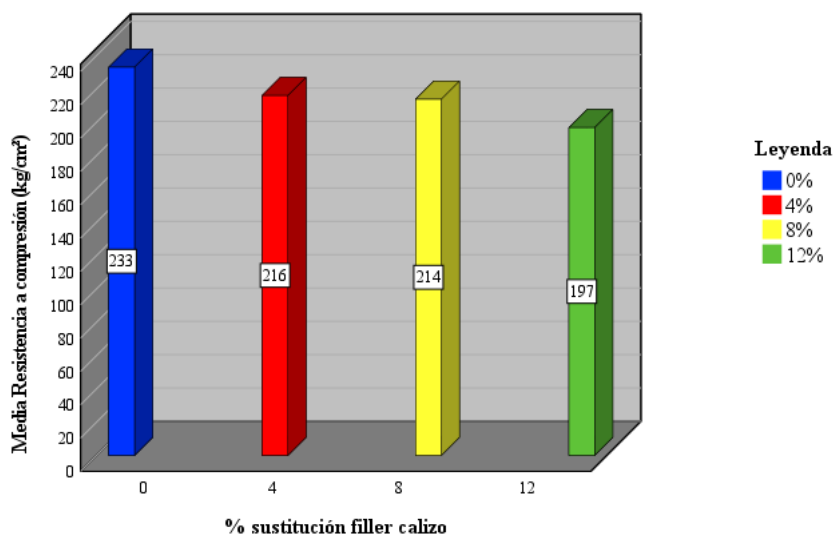
Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
7 días	Entre grupos (% filler)	2638.250	3	879.417	5.743	0.011
	Dentro de grupos (error)	1837.500	12	153.125	-	-
	Total	4475.750	15	-	-	-

A los 7 días, el ANOVA de un factor evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $F(3, 12) = 5.743$, $p = 0.011$. Las resistencias medias fueron 233.00 kg/cm² para G1, 216.00 kg/cm² para G2, 213.75 kg/cm² para G3 y 196.75 kg/cm² para G4. El tamaño del efecto fue $\eta^2 = 0.589$, indicando una proporción considerable de variabilidad asociada con el porcentaje de sustitución bajo las condiciones evaluadas.

Figura 35

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 7 días de curado

Evolución de la resistencia a la compresión por % de sustitución de filler calizo a los 7 días de curado



Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7 días según grupo experimental - TP < 75 μ m. G1: 233.0 kg/cm²; G2: 216.0 kg/cm²; G3: 213.8 kg/cm²; G4: 196.8 kg/cm²

4.4.2.2. Resultados a los 14 Días de Curado - TP < 75 μ m (Tamiz N° 200)

Tabla 29

ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 14 días de curado (TP < 75 μ m, n = 4 por grupo)

Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
14 días	Entre grupos (% filler)	2869.187	3	956.396	17.072	<0.001
	Dentro de grupos (error)	672.250	12	56.021	-	-
	Total	3541.437	15	-	-	-

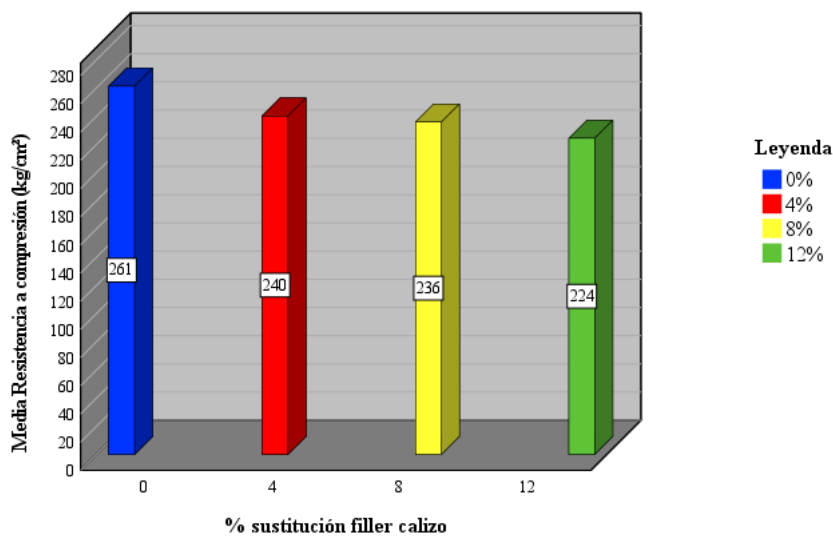
A los 14 días, el ANOVA de un factor mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de sustitución, $F(3, 12) = 17.072$, $p < 0.001$. Las resistencias

medias presentaron el siguiente orden: G1 = 261.25 kg/cm², G2 = 240.00 kg/cm², G3 = 235.75 kg/cm² y G4 = 224.25 kg/cm². Por tanto, a esta edad se observó una reducción progresiva de la resistencia media conforme aumentó el porcentaje de sustitución.

Figura 36

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 14 días de curado

Evolución de la resistencia a la compresión por % de sustitución de filler calizo a los 14 días de curado



Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 14 días según grupo experimental - TP < 75 µm. G1: 261.3 kg/cm²; G2: 240.0 kg/cm²; G3: 235.8 kg/cm²; G4: 224.3 kg/cm²

4.4.2.3. Resultados a los 28 Días de Curado - TP < 75 µm (Tamiz N° 200)

Tabla 30

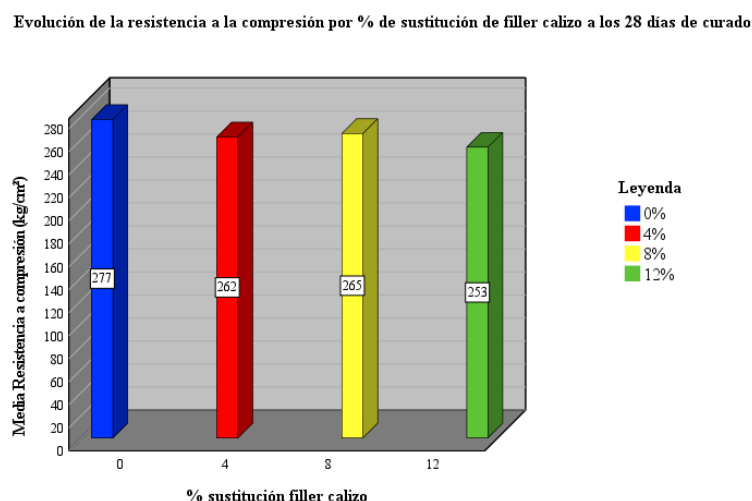
ANOVA de un factor - Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (TP < 75 µm, n = 4 por grupo)

Edad	Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.
28 días	Entre grupos (% filler)	1182.250	3	394.083	6.647	0.007
	Dentro de grupos (error)	711.500	12	59.292	-	-
	Total	1893.750	15	-	-	-

A los 28 días, el ANOVA de un factor evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, $F(3, 12) = 6.647$, $p = 0.007$. Las resistencias medias fueron 276.75 kg/cm² para G1, 261.50 kg/cm² para G2, 264.50 kg/cm² para G3 y 252.75 kg/cm² para G4. Aunque se observa una tendencia general de reducción respecto al concreto patrón, el comportamiento no fue estrictamente decreciente, debido a que G3 presentó una ligera recuperación respecto a G2. El tamaño del efecto fue $\eta^2 = 0.624$, indicando una proporción considerable de variabilidad asociada con el porcentaje de sustitución.

Figura 37

Gráfica de barras de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado

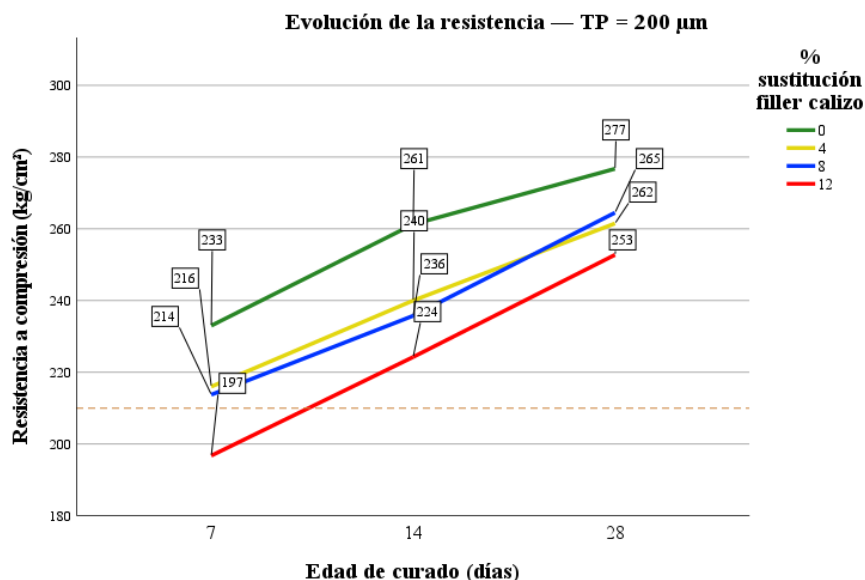


Medias de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 28 días según grupo experimental

- TP < 75 µm. G1: 276.8 kg/cm²; G2: 261.5 kg/cm²; G3: 264.5 kg/cm²; G4: 252.8 kg/cm²

Figura 38

Evolución de la resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7, 14 y 28 días de curado por grupo experimental - TP < 75 µm (Tamiz N.º 200).



Se observa una tendencia general de reducción de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de sustitución; sin embargo, a los 28 días G3 presentó una ligera recuperación respecto a G2.

4.4.3. Comparaciones múltiples mediante Tukey HSD

La prueba post hoc de Tukey HSD se empleó para identificar específicamente entre qué grupos se presentaron diferencias estadísticamente significativas después de obtener resultados significativos mediante el ANOVA. Debido a que el diseño experimental estuvo conformado por grupos balanceados con cuatro especímenes por tratamiento, esta prueba permitió realizar las comparaciones múltiples manteniendo un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. El análisis post hoc se efectuó a los 28 días, por constituir la edad de referencia adoptada en la investigación para comparar el desempeño final de las mezclas respecto a la resistencia de diseño e identificar la dosificación experimental de mayor desempeño.

Tabla 31

Comparaciones múltiples — prueba post-hoc Tukey HSD a 28 días - TP < 106 μm (Tamiz N.º 140).

Comp. (I)	Comp. (J)	$\bar{x}$ (I)	$\bar{x}$ (J)	Diferencia	Sig.	¿Diferencia Sig.?
G1-140 (0 %)	G2-140 (4 %)	278.50	274.25	4.250	0.871	No
G1-140 (0 %)	G3-140 (8 %)	278.50	285.00	6.500	0.660	No
G1-140 (0 %)	G4-140 (12 %)	278.50	244.00	34.500	<0.001	Sí ***
G2-140 (4 %)	G3-140 (8 %)	274.25	285.00	10.750	0.269	No
G2-140 (4 %)	G4-140 (12 %)	274.25	244.00	30.250	<0.001	Sí ***
G3-140 (8 %)	G4-140 (12 %)	285.00	244.00	41.000	<0.001	Sí ***

La prueba post hoc de Tukey HSD mostró que, a los 28 días, el grupo G4-140, correspondiente al 12 % de sustitución, presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a G1-140, G2-140 y G3-140 ($p < 0.001$ en las tres comparaciones). En cambio, entre G1-140 (0 %), G2-140 (4 %) y G3-140 (8 %) no se identificaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Aunque G3-140 alcanzó la mayor resistencia media con 285.00 kg/cm², superando numéricamente al concreto patrón G1-140, que registró 278.50 kg/cm², dicha diferencia de 6.50 kg/cm² no fue estadísticamente significativa ($p = 0.660$). Por tanto, el 8 % se reconoce como el nivel experimental de mayor resistencia media entre las dosificaciones evaluadas para el filler pasante por tamiz N.º 140, sin afirmar una superioridad estadísticamente significativa respecto al concreto patrón.

Tabla 32

Comparaciones múltiples Tukey HSD - Resistencia a la compresión a los 28 días -TP < 75 μm (Tamiz N.º 200)

Comp. (I)	Comp. (J)	$\bar{x}$ (I)	$\bar{x}$ (J)	Diferencia	Sig.	¿Diferencia Sig.?
G1-200 (0 %)	G2-200 (4 %)	276.75	261.50	15.250	0.067	No

G1-200 (0 %)	G3-200 (8 %)	276.75	264.50	12.250	0.165	No
G1-200 (0 %)	G4-200 (12 %)	276.75	252.75	24.000	0.004	Sí **
G2-200 (4 %)	G3-200 (8 %)	261.50	264.50	3.000	0.945	No
G2-200 (4 %)	G4-200 (12 %)	261.50	252.75	8.750	0.411	No
G3-200 (8 %)	G4-200 (12 %)	264.50	252.75	11.750	0.190	No

Para el filler calizo pasante por el tamiz N.º 200, la prueba Tukey HSD determinó que únicamente la comparación entre G1-200 (0 %) y G4-200 (12 %) presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.004$). Las comparaciones del concreto patrón con G2-200 ($p = 0.067$) y G3-200 ($p = 0.165$), así como las comparaciones entre los grupos con sustitución, presentaron valores de $p > 0.05$. En consecuencia, aunque los grupos con 4 % y 8 % alcanzaron resistencias medias inferiores al concreto patrón, estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas. El grupo con 12 % presentó la menor resistencia media, con 252.75 kg/cm², y fue el único nivel de sustitución que mostró una reducción estadísticamente significativa respecto al concreto patrón para este tamaño de partícula. ** $p < 0.01$.

Tabla 33

Comparaciones múltiples Tukey HSD - Análisis global de los 8 grupos experimentales a los 28 días

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	$\bar{x}$ 28d (kg/cm ²)	Subconjunto homogéneo Tukey
G3 (C)	140	8 %	285.00	Grupo I (máxima resistencia)
G1 (A)	140	0 %	278.50	Grupo I
G1 (E)	200	0 %	276.75	Grupo I
G2 (B)	140	4 %	274.25	Grupo I
G3 (G)	200	8 %	264.50	Grupo I-II
G2 (F)	200	4%	261.50	Grupo I-II

G4 (H)	200	12 %	252.75	Grupo II
G4 (D)	140	12%	244.00	Grupo II (mínima resistencia)

El análisis global mediante Tukey HSD permitió agrupar las resistencias medias obtenidas a los 28 días de acuerdo con sus diferencias estadísticas. G3-140 presentó la mayor resistencia media del conjunto experimental, con 285.00 kg/cm², seguido de G1-140 con 278.50 kg/cm², G1-200 con 276.75 kg/cm² y G2-140 con 274.25 kg/cm². Los grupos G3-200 y G2-200 presentaron valores intermedios de 264.50 y 261.50 kg/cm², respectivamente, mientras que las menores resistencias correspondieron a G4-200 con 252.75 kg/cm² y G4-140 con 244.00 kg/cm². La pertenencia de G3-140 al mismo subconjunto homogéneo que los concretos patrón indica que, aunque alcanzó la mayor resistencia media, su superioridad numérica no fue estadísticamente significativa. En consecuencia, el 8 % de sustitución con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200 se identifica como el nivel experimental de mayor desempeño entre las dosificaciones realmente evaluadas, sin interpretarlo como estadísticamente superior al concreto patrón.

Tabla 34

Análisis comparativo de resistencia a la compresión (kg/cm²) a los 7, 14 y 28 días entre

tamaños de partícula - Identificación de la condición de mayor desempeño experimental

Grupo	Tamiz N.º	% Filler	$\bar{x}$ 7d	$\bar{x}$ 14d	$\bar{x}$ 28d (kg/cm ²)	% f'c (28d)	Δ vs patrón	Muestras < 210 / 12	Condición
G1	140	0 %	224.0	255.5	278.5	132.6 %	-	0 / 12	Control
G2	140	4 %	225.5	245.3	274.3	130.6 %	-1.5 %	0 / 12	Aceptable
G3	140	8 %	208.0	239.0	285.0	135.7 %	+2.3 %	2 / 12	Mayor resistencia media observada
G4	140	12 %	165.3	184.3	244.0	116.2 %	-12.4 %	8 / 12	Precaución
G1	200	0 %	233.0	261.3	276.8	131.8 %	-	0 / 12	Control
G2	200	4 %	216.0	240.0	261.5	124.5 %	-5.5 %	1 / 12	Aceptable
G3	200	8 %	213.8	235.8	264.5	126.0 %	-4.4 %	1 / 12	Aceptable

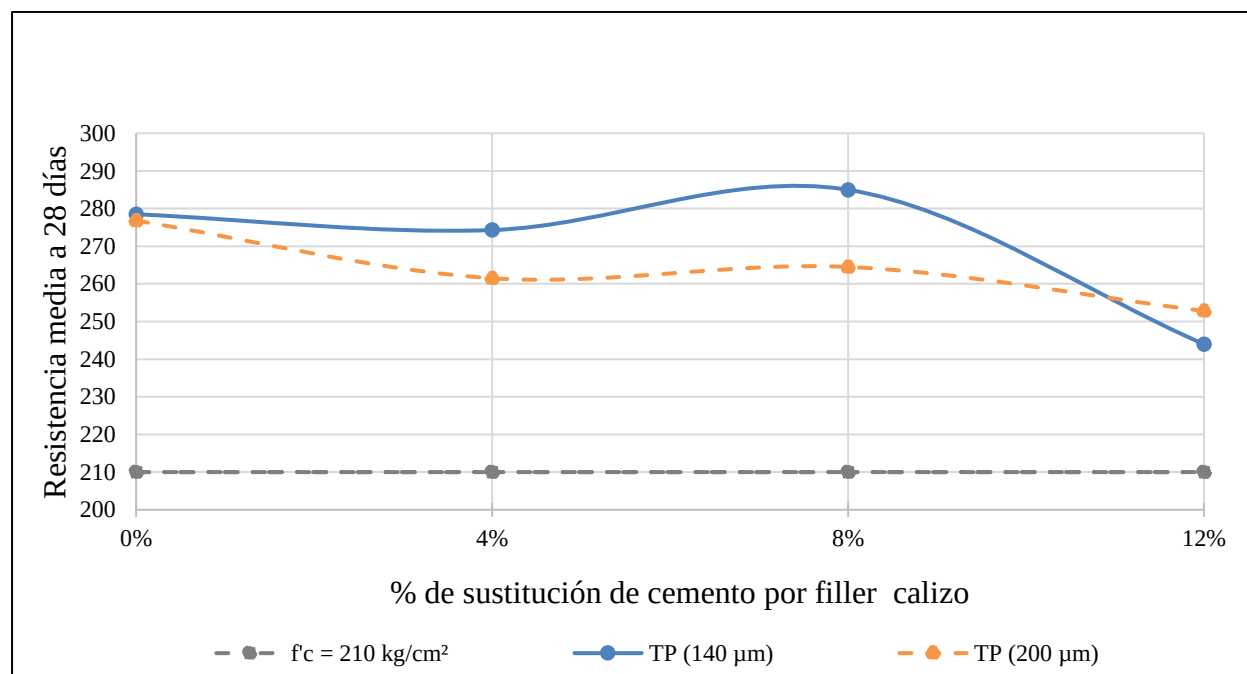
G4	200	12 %	196.8	224.3	252.8	120.4 %	-8.7 %	4 / 12	Precaución
----	-----	------	-------	-------	--------------	---------	--------	--------	------------

El análisis comparativo global identificó al grupo G3-140, correspondiente al 8 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 140, como la condición que presentó la mayor resistencia media observada a los 28 días, con 285.0 kg/cm². Este valor fue 6.5 kg/cm² (2.3 %) mayor que el registrado por el concreto patrón G1-140, cuya resistencia media fue de 278.5 kg/cm². En consecuencia, el 8 % se reconoce como el nivel de mayor desempeño dentro de los porcentajes efectivamente ensayados, sin interpretarlo como un porcentaje óptimo universal. Para la fracción pasante por el tamiz N.º 200, ninguna de las mezclas con sustitución presentó una resistencia media superior a la del concreto patrón; dentro de esta serie, el grupo G3-200, con 8 % de sustitución, alcanzó la mayor resistencia media entre las mezclas con filler calizo, con 264.5 kg/cm². La columna "Muestras < 210 kg/cm²" registra el número de probetas individuales (de 12 en total por grupo en 3 edades de curado) que no alcanzaron el f'c de diseño: G3-140 tuvo 2 probetas por debajo del diseño (ambas probablemente en edades tempranas de 7 días), lo que implica que a los 28 días todas superaron el diseño. La condición "Precaución" para G4 en ambos tamaños refleja el alto número de probetas individuales que no cumplen el f'c y la reducción significativa de la resistencia media.

Δ = variación porcentual respecto al grupo control del mismo tamaño de partícula.

Figura 39

Resistencia media a 28 días según % de sustitución de cemento por filler calizo, para ambos tamaños de partícula



4.5. Análisis factorial de la resistencia a la compresión

4.5.1. Efecto del porcentaje de sustitución y la fracción granulométrica a los 28 días

El diseño experimental de esta investigación corresponde a una factorial 4×2 , conformado por cuatro niveles de sustitución de cemento por filler calizo (0 %, 4 %, 8 % y 12 %) y dos tamaños de partícula ($< 106 \mu\text{m}$ y $< 75 \mu\text{m}$). En consecuencia, se aplicó un ANOVA de dos factores con interacción para evaluar simultáneamente el efecto del Factor A (porcentaje de sustitución), el Factor B (tamaño de partícula) y la interacción $A \times B$ sobre la resistencia a la compresión. La interacción permite determinar si el comportamiento de la resistencia frente al porcentaje de sustitución varía según el tamaño de partícula considerado. El análisis se realizó a los 28 días de curado, por constituir la edad de referencia adoptada en la investigación para evaluar el desempeño final de las mezclas.

Tabla 35

ANOVA de dos factores con interacción - Resistencia a la compresión a los 28 días (Diseño factorial 4×2, n = 4 por celda, N = 32)

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado (η^2p)
Factor A - % sustitución filler calizo	4164.094	3	1388.031	22.797	<0.001	0.740
Factor B - Tamaño de partícula del filler calizo	344.531	1	344.531	5.659	0.026	0.191
Interacción A × B	980.344	3	326.781	5.367	0.006	0.402
Error (dentro de grupos)	1461.250	24	60.885	-	-	-
Total	6950.219	31	-	-	-	-

El ANOVA de dos factores evidenció resultados estadísticamente significativos para los tres términos considerados en el modelo. El porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo presentó $F(3, 24) = 22.797$, $p < 0.001$ y $\eta^2p = 0.740$, mostrando una asociación de magnitud considerable con la variación de la resistencia a la compresión bajo las condiciones evaluadas. Asimismo, el tamaño de partícula presentó un efecto principal estadísticamente significativo, $F(1, 24) = 5.659$, $p = 0.026$, con $\eta^2p = 0.191$.

La interacción entre el porcentaje de sustitución y el tamaño de partícula también resultó estadísticamente significativa, $F(3, 24) = 5.367$, $p = 0.006$, con $\eta^2p = 0.402$. Este resultado indica que el comportamiento de la resistencia frente a los diferentes porcentajes de sustitución no fue uniforme para los dos tamaños de partícula evaluados. Por ello, los efectos principales deben interpretarse considerando conjuntamente la interacción entre ambos factores. Esta diferencia de comportamiento puede observarse, por ejemplo, en el nivel de 8 % de sustitución: G3-140 alcanzó 285.00 kg/cm², valor numéricamente superior a su control G1-140 de 278.50 kg/cm², mientras que G3-200 registró 264.50 kg/cm², inferior a su control G1-

200 de 276.75 kg/cm². En consecuencia, los resultados confirman que la respuesta de la resistencia a la compresión frente al porcentaje de sustitución estuvo asociada con el tamaño de partícula empleado bajo las condiciones experimentales del estudio.

Nota. η^2p = eta cuadrado parcial; SC = suma de cuadrados; gl = grados de libertad; CM = media cuadrática.

4.5.2. Efecto del grupo de evaluación y la edad de curado sobre la resistencia a la compresión

Con la finalidad de evaluar inferencialmente el efecto de la edad de curado sobre la resistencia a la compresión y complementar el análisis descriptivo realizado a los 7, 14 y 28 días, se aplicó un ANOVA factorial de dos factores entre especímenes, considerando como factores el grupo de evaluación y la edad de curado. Previamente, la prueba de Levene no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los grupos ($F = 1.512$; $p = 0.095$), por lo que no se rechazó el supuesto de homogeneidad de varianzas al nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Tabla 36

ANOVA factorial Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado para la resistencia a la compresión

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (CM)	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado (η^2p)
Factor A - Grupo de evaluación	30154.656	7	4307.808	49.664	< 0.001	0.828
Factor B – Edad de curado	51956.333	2	25978.167	299.496	< 0.001	0.893
Interacción A $\times$ B	3896.000	14	278.286	3.208	< 0.001	0.384
Error (dentro de grupos)	6245.250	72	86.740	-	-	-
Total corregido	92252.240	95	-	-	-	-

El análisis factorial evidenció diferencias estadísticamente significativas asociadas al grupo de evaluación, $F(7, 72) = 49.664$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.828$, así como a la edad de curado,

$F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. Estos resultados indican que la resistencia a la compresión varió significativamente tanto entre los grupos evaluados como entre las edades de 7, 14 y 28 días.

Asimismo, la interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado resultó estadísticamente significativa, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.384$. Esto indica que la evolución de la resistencia con la edad no presentó exactamente el mismo comportamiento en todos los grupos, es decir, la magnitud del incremento de resistencia entre 7, 14 y 28 días dependió del grupo de evaluación considerado.

Nota. η^2p = eta cuadrado parcial; gl = grados de libertad; F = estadístico F de Fisher; Sig. = significancia estadística.

Tabla 37

Comparaciones por pares de la resistencia a la compresión según edad de curado mediante ajuste de Bonferroni

Comparación de edades	Diferencia de medias (I–J) (kg/cm ²)	Error estándar	Sig.	IC 95 % inferior	IC 95 % superior
7 días vs. 14 días	-25.375	2.328	< 0.001	-31.082	-19.668
7 días vs. 28 días	-56.875	2.328	< 0.001	-62.582	-51.168
14 días vs. 28 días	-31.500	2.328	< 0.001	-37.207	-25.793

Las comparaciones por pares con ajuste de Bonferroni evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre todas las edades de curado evaluadas ($p < 0.001$). La resistencia media estimada aumentó de 210.281 kg/cm² a los 7 días a 235.656 kg/cm² a los 14 días y 267.156 kg/cm² a los 28 días.

Entre los 7 y 14 días se observó un incremento medio de 25.375 kg/cm²; entre los 7 y 28 días, de 56.875 kg/cm²; y entre los 14 y 28 días, de 31.500 kg/cm². En consecuencia, los resultados inferenciales confirman que la edad de curado estuvo asociada con diferencias significativas en la resistencia a la compresión, alcanzándose los mayores valores medios a los 28 días.

Nota. Las diferencias de medias corresponden a I – J. Los valores de significancia fueron ajustados mediante el procedimiento de Bonferroni para comparaciones múltiples. IC = intervalo de confianza.

4.6. Análisis de correlación y modelos de regresión

Con la finalidad de complementar el análisis inferencial y modelar matemáticamente el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto en función del porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo, se realizó un análisis de correlación y regresión. Este análisis se aplicó de manera independiente a los especímenes elaborados con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200 y pasante por el tamiz N.º 200, considerando los resultados obtenidos a los 28 días de curado, por constituir la edad de referencia adoptada en la investigación para evaluar el desempeño final de las mezclas.

La variable independiente fue el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo, expresado en niveles de 0 %, 4 %, 8 % y 12 %. La variable dependiente fue la resistencia a la compresión del concreto, expresada en kg/cm². Se consideraron 16 datos experimentales, correspondientes a cuatro probetas por cada porcentaje de sustitución.

4.6.1. Análisis de correlación para el filler pasante por tamiz N.º 140

El análisis de correlación se realizó para determinar la fuerza y dirección de la relación entre el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días. Inicialmente se evaluó la correlación de Pearson, debido a que las variables son cuantitativas. Asimismo, se consideró la correlación de Spearman como análisis complementario, debido a que los resultados descriptivos evidenciaron un comportamiento no estrictamente lineal.

Tabla 38

Correlación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión a los 28 días para el filler pasante por tamiz N.º 140

Variable 1	Variable 2	Tipo de correlación	Coefficiente	Sig.
% de sustitución de filler calizo	Resistencia a la compresión	Pearson	-0.604	0.013
% de sustitución de filler calizo	Resistencia a la compresión	Spearman	-0.467	0.068

La correlación de Pearson mostró una asociación negativa y estadísticamente significativa entre el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días ($r = -0.604$; $p = 0.013$). Por su parte, la correlación de Spearman presentó un coeficiente negativo de $\rho = -0.467$, pero no alcanzó significancia estadística al nivel $\alpha = 0.05$ ($p = 0.068$). Estos resultados indican que existe una tendencia lineal general negativa; sin embargo, la asociación monotónica no resultó estadísticamente significativa. Este comportamiento es consistente con las medias experimentales, las cuales no siguen una disminución continua, debido a que la resistencia disminuyó ligeramente con 4 %, aumentó con 8 % y se redujo de manera más marcada con 12 % de sustitución. Por ello, el análisis se complementó mediante modelos de regresión lineal y cuadrática.

4.6.1.1. Modelo de regresión lineal simple

En primer lugar, se evaluó un modelo de regresión lineal simple, con el propósito de identificar si el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo explica de forma directa la variación de la resistencia a la compresión. El modelo lineal adopta la siguiente forma:

$$Y = [\beta_0 + \beta_1 X] \quad (51)$$

Donde:

(Y) = resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

(X) = porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo.

(β_0) = intercepto del modelo.

(β_1) = pendiente del modelo.

Tabla 39

Resumen del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 140

Modelo	Ecuación	R	R ²	R ² ajustado	Sig.
Lineal simple	(Y = 284.350 - 2.319X)	0.604	0.365	0.320	0.013

El modelo de regresión lineal simple fue estadísticamente significativo ($p = 0.013$) y presentó un coeficiente de determinación $R^2 = 0.365$, por lo que el modelo representa el 36.5 % de la variabilidad observada en la resistencia a la compresión a los 28 días. La ecuación obtenida, $Y = 284.350 - 2.319X$, presenta una pendiente negativa, indicando que dentro del ajuste lineal la resistencia estimada disminuye aproximadamente 2.319 kg/cm² por cada incremento de un punto porcentual en la sustitución.

No obstante, el modelo lineal no representa completamente el comportamiento observado entre los niveles evaluados, debido a que las resistencias medias no disminuyeron de manera constante. En particular, el grupo con 8 % de sustitución alcanzó la mayor resistencia media experimental, mientras que la reducción más pronunciada se presentó con 12 %. Por esta razón, se evaluó adicionalmente un modelo de regresión cuadrática.

4.6.1.2. Modelo de regresión cuadrática

Debido al comportamiento no lineal observado en los resultados descriptivos, se aplicó un modelo de regresión cuadrática. Este modelo permite representar una tendencia curvilínea, en la cual la resistencia puede aumentar hasta un determinado porcentaje de sustitución y posteriormente disminuir cuando el contenido de filler calizo supera un nivel óptimo. El modelo cuadrático adopta la siguiente forma:

$$Y = [\beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2] \quad (52)$$

Donde:

(Y) = resistencia a la compresión a los 28 días.

(X) = porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo.

(X²) = porcentaje de sustitución elevado al cuadrado.

Tabla 40

Resumen del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140

Modelo	R	R²	R² ajustado	Error estándar de estimación	Durbin- Watson	Sig.
Cuadrático	0.807	0.652	0.598	11.235	1.901	0.001

El modelo de regresión cuadrática resultó estadísticamente significativo, $F(2, 13) = 12.166$, $p = 0.001$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.652$ y un R^2 ajustado = 0.598. En consecuencia, el modelo cuadrático representa el 65.2 % de la variabilidad observada en la resistencia a la compresión a los 28 días, mostrando una mayor capacidad de ajuste que el modelo lineal simple.

Tabla 41

ANOVA del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3071.075	2	1535.537	12.166	0.001
Residuo	1640.863	13	126.220	-	-
Total	4711.938	15	-	-	-

El análisis de varianza confirmó la significancia estadística global del modelo cuadrático, $F(2, 13) = 12.166$, $p = 0.001$. Por tanto, la incorporación conjunta de los términos lineal y cuadrático permitió representar significativamente la relación entre el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Tabla 42

Coefficientes del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 140

Modelo	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	IC 95 % inferior	IC 95 % superior
Constante	275.163	5.475	-	50.257	< 0.001	263.334	286.991
% de filler calizo	4.572	2.198	1.191	2.080	0.058	-0.177	9.321
% de filler calizo ²	-0.574	0.176	-1.874	-3.271	0.006	-0.953	-0.195

A partir de los coeficientes obtenidos se estableció la ecuación:

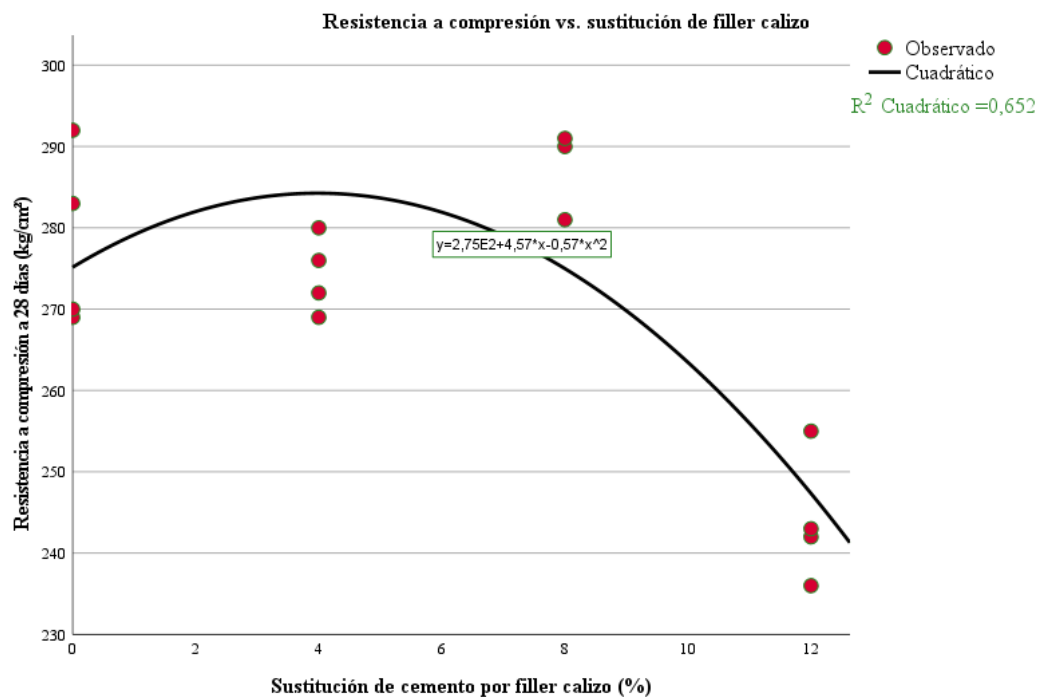
$$Y = [275.163 + 4.572X - 0.574X^2] \quad (53)$$

Donde (Y) representa la resistencia a la compresión a los 28 días y (X) el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo.

El término cuadrático presentó un coeficiente negativo y estadísticamente significativo ($B = -0.574$; $p = 0.006$), evidenciando una curvatura cóncava hacia abajo dentro del intervalo analizado. En contraste, el coeficiente correspondiente al término lineal presentó $p = 0.058$. En conjunto, estos resultados respaldan estadísticamente la existencia de un comportamiento curvilíneo de la resistencia en función del porcentaje de sustitución para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140. Las posibles explicaciones físicas de este comportamiento se desarrollan posteriormente en la discusión de resultados.

Figura 40

Diagrama de dispersión y curva de regresión cuadrática entre el porcentaje de filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días - tamiz N.º 140.



El diagrama de dispersión y la curva ajustada muestran un comportamiento curvilíneo de la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución. La ecuación cuadrática $Y = 275.163 + 4.572X - 0.574X^2$ presentó $R^2 = 0.652$. El signo negativo del término cuadrático determina una parábola cóncava hacia abajo y permite estimar matemáticamente la existencia de un máximo dentro del intervalo modelado. Esta estimación debe diferenciarse de los resultados experimentales observados en los niveles efectivamente ensayados.

4.6.1.3. Estimación del máximo matemático mediante el modelo cuadrático

El máximo matemático estimado del porcentaje de sustitución se determinó a partir del vértice de la parábola correspondiente al modelo cuadrático, mediante la siguiente expresión:

$$X_{\text{óptimo}} = \left[\frac{-(\beta_1)}{(2 * \beta_2)} \right] \quad (54)$$

Reemplazando los coeficientes obtenidos:

$$X_{\text{óptimo}} = \left[\frac{-(4.572)}{(2 * (-0.574))} \right] \quad (55)$$

$$X_{\text{óptimo}} = 3.98 \% \quad (56)$$

Según el modelo de regresión cuadrática, el máximo matemático estimado de resistencia se ubicó aproximadamente en 3.98 % de sustitución de cemento por filler calizo. Este valor fue obtenido a partir del vértice de la función ajustada y no corresponde a una dosificación evaluada directamente en laboratorio. Por tanto, el 3.98 % debe interpretarse exclusivamente como una estimación matemática del modelo. Entre los porcentajes efectivamente ensayados (0 %, 4 %, 8 % y 12 %), la mayor resistencia media a los 28 días se obtuvo con 8 % de sustitución y filler calizo pasante por el tamiz N.º 140, alcanzando 285.0 kg/cm². De acuerdo con los resultados obtenidos, el 8 % fue la proporción que mostró el mejor comportamiento entre las muestras evaluadas. El 3.98 % representa una estimación que se obtuvo del modelo matemático, por lo que sería necesario ensayar porcentajes cercanos para comprobarlo experimentalmente.

4.6.1.4. Evaluación comparativa de los modelos lineal y cuadrático

Tabla 43

Comparación de modelos de regresión - Tamiz N.º 140

Modelo	Ecuación	R ²	R ² ajustado	Sig.
Lineal simple	$(Y = 284.350 - 2.319X)$	0.365	0.320	0.013
Cuadrático	$(Y = 275.163 + 4.572X - 0.574X^2)$	0.652	0.598	0.001

La comparación de los ajustes muestra una ventaja por parte del modelo cuadrático frente al lineal simple. Este modelo alcanzó un R² de 0.652, mientras que el modelo lineal obtuvo un R² de 0.365. De igual manera, el valor de R² ajustado fue superior en el ajuste cuadrático, lo que indica una mejor capacidad para representar la variación observada en la resistencia frente a cargas axiales. Esto demuestra que la relación entre el porcentaje de filler calizo y la resistencia a la compresión no es estrictamente lineal, sino que presenta un comportamiento curvilíneo, con reducción marcada de resistencia cuando la sustitución alcanza el 12 %.

En consecuencia, el modelo cuadrático representa mejor el comportamiento no lineal observado para el filler pasante por tamiz N.º 140. No obstante, para efectos experimentales, el 8 % se identifica como la dosificación de mayor resistencia entre los niveles realmente evaluados, mientras que el valor teórico de 3.98 % requiere comprobación mediante ensayos específicos antes de ser considerado una dosificación óptima experimental.

4.6.2. Análisis de correlación para el filler pasante por tamiz N.º 200

El análisis de correlación se realizó con la finalidad de determinar la fuerza y dirección de la relación entre el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo pasante por tamiz N.º 200 y la resistencia a la compresión a los 28 días. Inicialmente se evaluó la correlación de Pearson, debido a que ambas variables son cuantitativas. Asimismo, se consideró la correlación

de Spearman como análisis complementario, dado que los resultados descriptivos evidenciaron una tendencia general descendente, aunque con una ligera recuperación de resistencia en el grupo con 8 % de sustitución respecto al grupo con 4 %. Este análisis permitió verificar si el incremento del porcentaje de filler calizo se asocia con una disminución de la resistencia final del concreto.

4.6.2.1. Correlación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión a los 28 días para el filler pasante por tamiz N.º 200

La variable independiente fue el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo, con niveles de 0 %, 4 %, 8 % y 12 %. La variable dependiente fue la resistencia a la compresión del concreto, expresada en kg/cm². Se analizaron 16 especímenes, correspondientes a cuatro probetas por cada porcentaje de sustitución.

Tabla 44

Correlación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión

Variable 1	Variable 2	Tipo de correlación	Coefficiente	Sig.
% de sustitución de filler calizo	Resistencia a la compresión	Pearson	-0.709	0.002
% de sustitución de filler calizo	Resistencia a la compresión	Spearman	-0.651	0.006

Los resultados evidenciaron una asociación negativa y estadísticamente significativa entre el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo pasante por tamiz N.º 200 y la resistencia a la compresión a los 28 días. La correlación de Pearson presentó un coeficiente $r = -0.709$ con $p = 0.002$, mientras que la correlación de Spearman alcanzó $\rho = -0.651$ con $p = 0.006$. En ambos casos, los valores de significancia fueron inferiores a $\alpha = 0.05$, indicando que, de manera general, mayores porcentajes de sustitución estuvieron asociados con menores valores de resistencia. No obstante, el comportamiento experimental no fue estrictamente

decreciente, debido a que el grupo con 8 % de sustitución presentó una ligera recuperación respecto al grupo con 4 %, aunque sin superar al concreto patrón. Por esta razón, la relación se evaluó posteriormente mediante modelos de regresión lineal y cuadrática.

4.6.2.2. Modelo de regresión lineal simple

En primer lugar, se evaluó un modelo de regresión lineal simple, con la finalidad de determinar si el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo permite explicar la variación de la resistencia a la compresión a los 28 días. El modelo lineal adopta la siguiente expresión:

$$Y = [\beta_0 + \beta_1 X] \quad (57)$$

Donde:

(Y) = resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

(X) = porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo.

(β_0) = intercepto del modelo.

(β_1) = pendiente del modelo.

Tabla 45

Resumen del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 200

Modelo	R	R ²	R ² ajustado	Error estándar de estimación	Sig.
Lineal simple	0.709	0.503	0.467	8.201	0.002

El modelo de regresión lineal simple fue estadísticamente significativo, $F(1, 14) = 14.158$, $p = 0.002$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.503$ y un R^2 ajustado = 0.467. Estos resultados indican que el modelo lineal representa el 50.3 % de la variabilidad observada en la resistencia a la compresión a los 28 días en función del porcentaje de sustitución. El signo

negativo de la relación evidencia una tendencia general descendente dentro de los niveles evaluados.

Tabla 46

Coefficientes del modelo de regresión lineal simple - Tamiz N.º 200

Modelo	B	Error estándar	t	Sig.
Constante	274.225	3.431	79.934	< 0.001
% de filler calizo	-1.725	0.458	-3.763	0.002

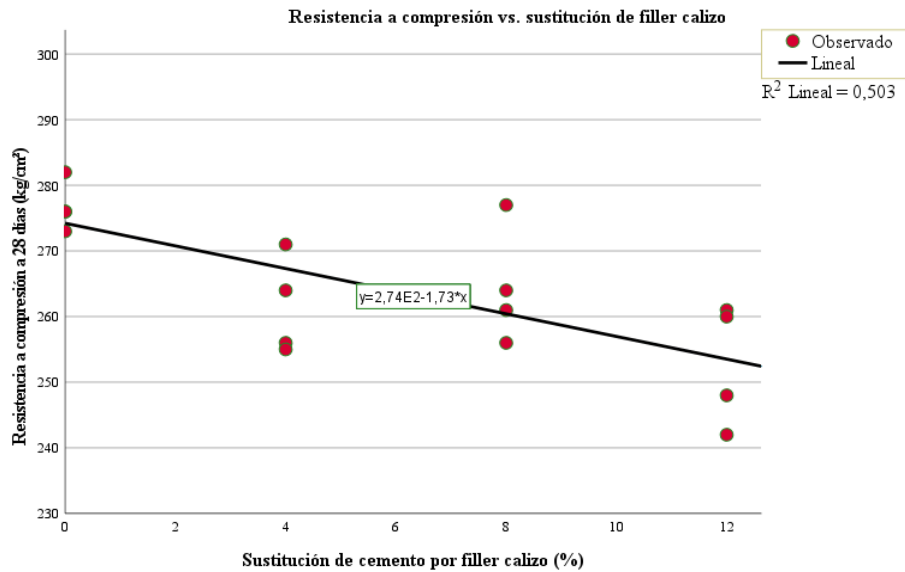
A partir de los coeficientes obtenidos, la ecuación del modelo lineal fue:

$$Y = [274.225 - 1.725X] \quad (58)$$

La pendiente fue negativa y estadísticamente significativa ($B = -1.725$; $p = 0.002$), lo que indica que, dentro del modelo lineal ajustado y del intervalo experimental evaluado, por cada incremento de un punto porcentual en la sustitución de cemento por filler calizo, la resistencia estimada disminuye aproximadamente 1.725 kg/cm². Este resultado describe la tendencia lineal general observada, sin implicar que todos los niveles experimentales presenten una disminución estrictamente sucesiva.

Figura 41

Diagrama de dispersión y línea de tendencia lineal entre el porcentaje de filler calizo y la resistencia a la compresión a los 28 días - tamiz N.º 200.



El diagrama de dispersión muestra gráficamente la tendencia general descendente de la resistencia a la compresión conforme aumenta el porcentaje de sustitución. La línea ajustada mediante la ecuación $Y = 274.225 - 1.725X$ presentó $R^2 = 0.503$. No obstante, la dispersión de los resultados evidencia que la relación no fue estrictamente lineal, particularmente por la ligera recuperación observada con 8 % de sustitución respecto al nivel de 4 %.

4.6.2.3. Modelo de regresión cuadrática

Además del modelo lineal, se evaluó un modelo de regresión cuadrática, debido a que los resultados descriptivos muestran una ligera recuperación de resistencia en el grupo con 8 % de sustitución respecto al grupo con 4 %. El modelo cuadrático permite verificar si existe una tendencia curvilínea en la relación entre porcentaje de filler calizo y resistencia a la compresión.

El modelo cuadrático adopta la siguiente forma:

$$Y = [\beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2] \quad (59)$$

Donde:

(Y) = resistencia a la compresión a los 28 días.

(X) = porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo.

(X²) = porcentaje de sustitución elevado al cuadrado.

Tabla 47

Resumen del modelo de regresión cuadrática — Tamiz N.º 200

Modelo	R	R²	R² ajustado	Error estándar de estimación	Sig.
Cuadrático	0.713	0.509	0.434	8.455	0.010

El modelo de regresión cuadrática fue estadísticamente significativo en términos globales, $F(2, 13) = 6.746$, $p = 0.010$, y presentó $R^2 = 0.509$. Sin embargo, su R^2 ajustado fue 0.434, inferior al obtenido con el modelo lineal simple (R^2 ajustado = 0.467). Asimismo, el incremento de R^2 respecto al modelo lineal fue reducido, de 0.503 a 0.509. Por ello, la significancia global del modelo no debe interpretarse por sí sola como evidencia de un comportamiento curvilíneo significativo.

Tabla 48

ANOVA del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 200

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	964.450	2	482.225	6.746	0.010
Residuo	929.300	13	71.485	-	-
Total	1893.750	15	-	-	-

El ANOVA del modelo cuadrático mostró significancia estadística global, $F(2, 13) = 6.746$, $p = 0.010$. No obstante, para determinar si la incorporación del término cuadrático

representa una curvatura estadísticamente relevante, fue necesario examinar individualmente sus coeficientes, los cuales se presentan en la Tabla 49.

Tabla 49

Coefficientes del modelo de regresión cuadrática - Tamiz N.º 200

Modelo	B	Error estándar	Beta	t	Sig.	IC 95 % inferior	IC 95 % superior
Constante	275.100	4.120	-	66.766	< 0.001	263.198	284.002
% de filler calizo	-2.381	1.654	-0.979	-1.439	0.174	-5.955	1.193
% de filler calizo ²	0.055	0.132	0.281	0.414	0.686	-0.231	0.340

A partir de los coeficientes obtenidos, la ecuación del modelo cuadrático fue:

$$Y = [275.100 - 2.381X + 0.055X^2] \quad (60)$$

El término cuadrático presentó un coeficiente B = 0.055 con p = 0.686, por lo que no resultó estadísticamente significativo. En consecuencia, no se encontró evidencia suficiente para afirmar que la incorporación del término X² represente una curvatura relevante de la resistencia en función del porcentaje de sustitución. Por tanto, a diferencia de lo observado para el filler pasante por tamiz N.º 140, en el caso del tamiz N.º 200 el modelo cuadrático no permitió establecer un porcentaje óptimo matemático sustentado estadísticamente.

Tabla 50

Comparación de modelos de regresión - Tamiz N.º 200 entre modelo lineal y modelo cuadrático

Modelo	Ecuación	R ²	R ² ajustado	Sig.
Lineal simple	(Y = 274.225 - 1.725X)	0.503	0.467	0.002
Cuadrático	(Y = 275.100 - 2.381X + 0.055X ²)	0.509	0.434	0.010

La comparación entre ambos modelos muestra que el modelo cuadrático presentó un R^2 apenas superior al modelo lineal (0.509 frente a 0.503); sin embargo, su R^2 ajustado fue menor (0.434 frente a 0.467) y el término cuadrático no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.686$). En consecuencia, el modelo lineal simple se considera más adecuado y parsimonioso para representar la tendencia general observada en el filler calizo pasante por tamiz N.º 200. Bajo este modelo, la relación entre el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión se caracteriza por una tendencia predominantemente descendente dentro del intervalo experimental evaluado.

- Interpretación técnica del modelo para tamiz N.º 200

Los resultados de correlación y regresión indican que el filler calizo pasante por tamiz N.º 200 no evidenció una mejora de la resistencia a la compresión respecto al concreto patrón a los 28 días. A diferencia de lo observado con el filler pasante por tamiz N.º 140, en este caso ningún porcentaje de sustitución superó al concreto patrón.

La resistencia media del concreto patrón fue de 276.75 kg/cm², mientras que los grupos con 4 %, 8 % y 12 % de sustitución alcanzaron valores de 261.50 kg/cm², 264.50 kg/cm² y 252.75 kg/cm², respectivamente. Si bien todos estos valores superaron el f'_c de diseño de 210 kg/cm², las mezclas con filler calizo pasante por tamiz N.º 200 mostraron una reducción respecto al concreto patrón.

En términos técnicos, el comportamiento puede estar asociado con el efecto conjunto del porcentaje de sustitución, la mayor finura del filler y la demanda de agua registrada durante el ajuste de la trabajabilidad. Para las mezclas con filler pasante por tamiz N.º 200, la cantidad de agua complementaria aumentó conforme se incrementó el porcentaje de sustitución, alcanzando 1.900 L, 2.400 L y 2.650 L por tanda para 4 %, 8 % y 12 %, respectivamente, frente a 1.550 L en la mezcla patrón. Esta mayor cantidad de agua complementaria incorporada pudo

contribuir a limitar el efecto favorable esperado de la mayor finura del filler y a reducir la resistencia obtenida a los 28 días.

En consecuencia, para el filler calizo pasante por tamiz N.º 200, el modelo lineal simple representa mejor la tendencia general observada, mostrando una asociación descendente entre el porcentaje de sustitución y la resistencia a la compresión. Aunque el grupo con 8 % presentó una ligera recuperación respecto al 4 %, ninguno de los tratamientos con filler superó al concreto patrón. En este sentido, el comportamiento del filler pasante por tamiz N.º 200 fue menos favorable que el observado para el filler pasante por tamiz N.º 140.

Tabla 51

Comparación del desempeño de las dosificaciones evaluadas a los 28 días

Grupo	TP (μm)	% Filler	$\bar{x}$ 28d (kg/cm ²)	% f'c diseño	Δ vs patrón	Probetas < 210 kg/cm ² a 28 días	Recomendación
G1	140	0 %	278.50	132.6 %	-	0/4	Referencia
G2	140	4 %	274.25	130.6 %	-1.5 %	0/4	Aceptable
G3	140	8 %	285.00	135.7 %	+2.3 %	0/4	Mayor resistencia media observada
G4	140	12 %	244.00	116.2 %	-12.4 %	0/4	No recomendado
G1	200	0 %	276.75	131.8 %	-	0/4	Referencia
G2	200	4 %	261.50	124.5 %	-5.5 %	0/4	Aceptable
G3	200	8 %	264.50	126.0 %	-4.4 %	0/4	Aceptable
G4	200	12 %	252.75	120.4 %	-8.7 %	0/4	No recomendado

4.7. Contrastación de hipótesis

La contrastación de hipótesis se desarrolló mediante el método hipotético-deductivo declarado en el apartado 3.1.3, confrontando las hipótesis formuladas en el apartado 3.4 con la evidencia experimental y estadística obtenida en los apartados 4.1 a 4.6. Las hipótesis de naturaleza inferencial se evaluaron mediante análisis de varianza de uno y dos factores, complementados, según correspondió, con comparaciones múltiples mediante Tukey HSD y comparaciones por pares con ajuste de Bonferroni, adoptándose un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Para el objetivo específico c, el efecto de la edad de curado se evaluó mediante el ANOVA factorial Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado, previa verificación de la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, y posteriormente se realizaron comparaciones por pares entre 7, 14 y 28 días con ajuste de Bonferroni. El objetivo específico a, de naturaleza descriptiva-composicional, fue evaluado mediante la caracterización mineralógica obtenida por difracción de rayos X, sin requerir una prueba inferencial. En los contrastes estadísticos se aplicó la siguiente regla de decisión: se rechaza H_0 cuando $p < \alpha = 0.05$; en caso contrario, no se rechaza H_0 .

Hipótesis General (*Objetivo general*)

- **H_0 :** La sustitución parcial del cemento por filler calizo no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- **H_1 :** La sustitución parcial del cemento por filler calizo influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en función del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula.

Resultado: El ANOVA de dos factores con interacción (Tabla 35), correspondiente al diseño factorial 4×2 a los 28 días, mostró un efecto estadísticamente significativo del porcentaje de sustitución, $F(3, 24) = 22.797$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.740$; del tamaño de partícula, $F(1, 24) = 5.659$, $p = 0.026$, $\eta^2p = 0.191$; y de la interacción entre ambos factores, $F(3, 24) =$

5.367, $p = 0.006$, $\eta^2p = 0.402$. La interacción encontrada muestra que el efecto del porcentaje de sustitución sobre la resistencia cambió de acuerdo con el tamaño de partícula evaluado.

Decisión estadística: Debido a que los efectos del porcentaje de sustitución, tamaño de partícula e interacción presentaron valores de $p < 0.05$, se rechaza H_0 . Por tanto, la evidencia experimental respalda la hipótesis general de que la sustitución parcial del cemento por filler calizo influye significativamente en la resistencia a la compresión en función del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula.

- **Conclusión:** La sustitución parcial de cemento por filler calizo influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, siendo el porcentaje de sustitución el factor de mayor efecto ($\eta^2p = 0.740$), modulado por el tamaño de partícula ($\eta^2p = 0.191$) y por su interacción ($\eta^2p = 0.402$), lo que exige interpretar ambos factores de forma conjunta y no aislada.

Resultado del Objetivo Específico (a) (*Composición mineralógica del filler calizo*)

Resultado: La caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X determinó que la muestra de filler calizo procedente de la cantera Chuyabamba estuvo constituida por 98.654 % de calcita (CaCO_3) y 1.346 % de cuarzo (SiO_2). En consecuencia, la calcita constituyó ampliamente la fase mineralógica predominante de la muestra analizada.

Interpretación: Como el objetivo específico a tuvo un carácter descriptivo, orientado a identificar la composición mineralógica del filler calizo, no fue necesario plantear ni contrastar una hipótesis inferencial ni aplicar pruebas de significancia. Los resultados obtenidos mediante DRX permitieron responder directamente a dicho objetivo al identificar las fases mineralógicas presentes en el material analizado.

Conclusión: El filler calizo utilizado en la investigación presentó una composición mineralógica predominantemente constituida por calcita (CaCO_3), con 98.654 %, mientras que el cuarzo (SiO_2) representó 1.346 %.

Hipótesis Específica 2 — Influencia del porcentaje de sustitución y tamaño de partícula a los 28 días (*Objetivo específico b*)

- **H₀:** La sustitución parcial del cemento por filler calizo en porcentajes de 4 %, 8 % y 12 %, considerando el tamaño de partícula, no influye significativamente en la resistencia a la compresión a los 28 días.
- **H₁:** La sustitución parcial del cemento por filler calizo en porcentajes de 4 %, 8 % y 12 %, considerando el tamaño de partícula, influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.

Resultado: A los 28 días, el ANOVA de un factor evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de sustitución para $TP < 106 \mu\text{m}$, $F(3, 12) = 21.139$, $p < 0.001$, y para $TP < 75 \mu\text{m}$, $F(3, 12) = 6.647$, $p = 0.007$. Complementariamente, el ANOVA de dos factores con interacción (Tabla 35) mostró efectos significativos del porcentaje de sustitución, $F(3, 24) = 22.797$, $p < 0.001$; del tamaño de partícula, $F(1, 24) = 5.659$, $p = 0.026$; y de la interacción entre ambos factores, $F(3, 24) = 5.367$, $p = 0.006$.

Decisión estadística: Los resultados obtenidos presentan valores de $p < 0.05$, por lo que se rechaza H_0 . La evidencia experimental respalda la Hipótesis Específica 2.

- **Conclusión:** Los resultados mostraron que tanto el porcentaje de sustitución como el tamaño de partícula se relacionaron de manera significativa con la resistencia a la compresión a los 28 días. También se observó una interacción significativa entre ambos factores, lo que nos dice que el efecto del porcentaje de sustitución varió según la fracción granulométrica considerada.

Hipótesis Específica 3 — Resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días (*Objetivo específico c*)

- **H₀:** No existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días,

considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.

- **H₁:** Existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.

Resultado: Para evaluar inferencialmente el efecto de la edad de curado se aplicó un ANOVA factorial considerando como factores el grupo de evaluación y la edad de curado. Previamente, la prueba de Levene no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los grupos, $F(23, 72) = 1.512$, $p = 0.095$. El análisis factorial mostró un efecto estadísticamente significativo de la edad de curado sobre la resistencia a la compresión, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.893$ (Tabla 36). Asimismo, la interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado resultó significativa, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.384$, indicando que la magnitud de la evolución de la resistencia con la edad presentó diferencias entre los grupos evaluados.

Las medias marginales estimadas fueron 210.281 kg/cm^2 a los 7 días, 235.656 kg/cm^2 a los 14 días y 267.156 kg/cm^2 a los 28 días. Las comparaciones por pares con ajuste de Bonferroni evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre 7 y 14 días (diferencia media = 25.375 kg/cm^2 ; $p < 0.001$), entre 7 y 28 días (diferencia media = 56.875 kg/cm^2 ; $p < 0.001$) y entre 14 y 28 días (diferencia media = 31.500 kg/cm^2 ; $p < 0.001$) (Tabla 37).

Decisión estadística: Debido a que el efecto de la edad de curado presentó un valor de $p < 0.001$ y las comparaciones por pares mediante Bonferroni resultaron significativas entre las tres edades evaluadas, se rechaza H_0 . En consecuencia, la evidencia experimental respalda la Hipótesis Específica 3.

- **Conclusión:** La resistencia a la compresión presentó diferencias estadísticamente significativas entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, observándose un incremento de las medias marginales estimadas conforme avanzó el periodo de curado. Los mayores valores se registraron a los 28 días. No obstante, la interacción significativa entre el grupo de evaluación y la edad de curado evidencia que la magnitud de este incremento no fue uniforme para todos los grupos evaluados.

Hipótesis Específica 4 — Comportamiento de los porcentajes de sustitución evaluados
(Objetivo específico d)

- **H₀:** Ninguna de las condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas presenta una resistencia media a la compresión estadísticamente diferente respecto al concreto patrón $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- **H₁:** Entre las condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas, existe al menos una que presenta una resistencia media a la compresión estadísticamente diferente respecto al concreto patrón $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Resultado: A los 28 días, las comparaciones múltiples mediante Tukey HSD evidenciaron diferencias estadísticamente significativas respecto al concreto patrón en determinados niveles de sustitución. Para la fracción TP < 106 μm , el grupo G4-140, correspondiente al 12 % de sustitución, presentó una resistencia media de 244.00 kg/cm^2 y difirió significativamente del concreto patrón G1-140, cuya media fue de 278.50 kg/cm^2 ($p < 0.001$). Para la fracción TP < 75 μm , el grupo G4-200, correspondiente al 12 % de sustitución, registró una resistencia media de 252.75 kg/cm^2 y también presentó una diferencia estadísticamente significativa respecto al concreto patrón G1-200, cuya media fue de 276.75 kg/cm^2 ($p = 0.004$).

De las condiciones analizadas, G3-140, correspondiente al 8 % de sustitución con TP < 106 μm , presentó la mayor resistencia media a los 28 días, alcanzando 285.00 kg/cm^2 . Este

resultado superó en 6.50 kg/cm², equivalente a 2.33 %, al concreto patrón G1-140; no obstante, la prueba de Tukey HSD mostró que esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0.660$). Por tanto, el 8 % se identifica únicamente como el porcentaje de mayor resistencia media observada dentro de los niveles ensayados para esta fracción, sin afirmar una superioridad estadística respecto al concreto patrón.

Complementariamente, el modelo de regresión cuadrática correspondiente a $TP < 106 \mu\text{m}$ presentó $R^2 = 0.652$ y estimó matemáticamente un punto máximo próximo a 3.98 % de sustitución. Este porcentaje no fue evaluado experimentalmente, por lo que no constituye una dosificación comprobada. Para $TP < 75 \mu\text{m}$, el término cuadrático no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.686$), por lo que no se estableció un máximo matemático estadísticamente sustentado mediante dicho modelo.

Decisión estadística: Debido a que se identificaron condiciones de sustitución que presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto a sus respectivos concretos patrón, se rechaza H_0 . En consecuencia, la evidencia experimental respalda la Hipótesis Específica 4 en cuanto a la existencia de diferencias entre determinadas condiciones de sustitución y el concreto patrón.

- **Conclusión:** Entre los porcentajes evaluados, el 8 % de sustitución con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 ($TP < 106 \mu\text{m}$) presentó la mayor resistencia media observada a los 28 días, con 285.00 kg/cm². No obstante, su diferencia respecto al concreto patrón no fue estadísticamente significativa ($p = 0.660$), por lo que no corresponde definirlo como un porcentaje óptimo ni afirmar superioridad estadística. Las mezclas con 12 % de sustitución mostraron disminuciones significativas en la resistencia frente a sus respectivos concretos de control en ambas fracciones granulométricas. Por otro lado, el valor de 3.98 % se obtuvo únicamente a partir del

ajuste del modelo cuadrático, por lo que debe considerarse una estimación matemática que necesita comprobarse experimentalmente mediante dosificaciones intermedias.

Síntesis de la contrastación de hipótesis

La contrastación de las hipótesis permitió establecer los siguientes resultados a partir de la evidencia experimental y estadística obtenida:

- **Hipótesis General:** se rechaza H_0 ; el porcentaje de sustitución, el tamaño de partícula y la interacción entre ambos presentaron efectos estadísticamente significativos sobre la resistencia a la compresión a los 28 días, con valores de $p < 0.05$.
- **Objetivo específico (a):** La caracterización mediante difracción de rayos X determinó que la muestra de filler calizo estuvo constituida predominantemente por calcita (CaCO_3), con 98.654 %, mientras que el cuarzo (SiO_2) representó 1.346 %. Debido a la naturaleza descriptiva-composicional de este objetivo, no correspondió formular ni contrastar una hipótesis inferencial ni aplicar una prueba de significancia estadística.
- **Hipótesis Específica 2:** se rechaza H_0 ; el porcentaje de sustitución y el tamaño de partícula estuvieron significativamente asociados con la resistencia a la compresión a los 28 días, identificándose además una interacción estadísticamente significativa entre ambos factores.
- **Hipótesis Específica 3:** se rechaza H_0 ; la edad de curado presentó un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. Asimismo, las comparaciones por pares con ajuste de Bonferroni evidenciaron diferencias significativas entre 7 y 14 días, 7 y 28 días, y 14 y 28 días ($p < 0.001$ en todos los casos). La interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado también resultó significativa, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, indicando que la magnitud de la evolución de la resistencia con la edad varió entre los grupos evaluados.
- **Hipótesis Específica 4:** Se rechazó H_0 , ya que algunas de las condiciones evaluadas presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto al concreto patrón.

Desde el análisis descriptivo, la mezcla con 8 % de sustitución y $TP < 106 \mu m$ alcanzó la mayor resistencia media, con 285.00 kg/cm^2 ; sin embargo, la comparación con el control G1-140 no mostró una diferencia significativa ($p = 0.660$). Por ello, esta dosificación se considera únicamente como la condición con mayor resistencia media dentro de los niveles ensayados, sin que pueda afirmarse como un porcentaje óptimo demostrado estadísticamente. De forma adicional, el ajuste cuadrático estimó un máximo matemático de 3.98 %, valor que no fue evaluado experimentalmente y que requiere ser comprobado mediante ensayos específicos.

4.8. Discusión

Los resultados muestran que la sustitución parcial de filler calizo produjo variaciones en la resistencia a la compresión del concreto diseñado para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, aunque estas no siguieron el mismo comportamiento en todas las condiciones estudiadas. A los 28 días, el análisis factorial identificó efectos significativos tanto para el porcentaje de sustitución como para el tamaño de partícula, además de una interacción significativa entre ambos factores. Si bien todas las mezclas superaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 , no todas presentaron un desempeño superior al concreto patrón. Por esta razón, los resultados deben analizarse considerando de manera conjunta la proporción de filler incorporada, la fracción granulométrica empleada y las condiciones bajo las cuales se elaboraron las mezclas.

Para interpretar los resultados se diferenció entre la evidencia obtenida directamente en esta investigación y las explicaciones propuestas en estudios previos. En el trabajo se midieron experimentalmente la resistencia compresiva frente a cargas axiales, la composición mineralógica del filler calizo, las propiedades de los agregados, la cantidad de agua incorporada y el slump de las mezclas. Los procesos como el empaquetamiento de partículas, la nucleación, la aglomeración, la porosidad, la zona de transición interfacial y los cambios microestructurales

no fueron evaluados de manera directa. Es por eso que su mención en la discusión corresponde únicamente a posibles mecanismos explicativos respaldados por la literatura científica.

Respecto al efecto de la edad de curado, el análisis factorial evidenció diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión entre las edades evaluadas, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. Las medias marginales estimadas aumentaron de 210.281 kg/cm² a los 7 días a 235.656 kg/cm² a los 14 días y 267.156 kg/cm² a los 28 días; asimismo, las comparaciones por pares mediante el ajuste de Bonferroni mostraron diferencias significativas entre 7 y 14 días, 7 y 28 días, y 14 y 28 días ($p < 0.001$ en todos los casos). Este comportamiento es coherente con el desarrollo progresivo de la resistencia del concreto asociado con el avance de las reacciones de hidratación del cemento y la formación continua de productos hidratados, particularmente C-S-H, mecanismos descritos en las bases teóricas de la investigación. Sin embargo, la interacción significativa Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.384$, demuestra que la magnitud del incremento de resistencia con el tiempo no fue uniforme entre todos los grupos. Por tanto, aunque se identificó una tendencia general de aumento de resistencia con la edad, la evolución específica dependió de la condición experimental evaluada y debe interpretarse considerando conjuntamente la dosificación, la fracción granulométrica y las condiciones particulares de elaboración de las mezclas.

Para el filler calizo pasante por tamiz N.º 140, la respuesta de la resistencia a la compresión presentó un comportamiento no lineal. A los 28 días, el concreto patrón alcanzó 278.50 kg/cm², mientras que el grupo con 8 % de sustitución registró la mayor resistencia media, con 285.00 kg/cm²; al incrementar la sustitución a 12 %, la resistencia disminuyó hasta 244.00 kg/cm². El coeficiente de Pearson mostró una relación negativa y significativa entre las variables ($r = -0.604$; $p = 0.013$). Por su parte, Spearman también indicó una asociación negativa, aunque esta no alcanzó significancia estadística ($\rho = -0.467$; $p = 0.068$). Esta

diferencia entre ambos coeficientes sugiere que la respuesta observada no siguió una tendencia monótonica estricta conforme aumentó el porcentaje de sustitución. El modelo cuadrático presentó un mejor ajuste que el modelo lineal, con $R^2 = 0.652$ frente a $R^2 = 0.365$, y estimó matemáticamente un máximo en 3.98 % de sustitución. No obstante, este porcentaje no fue evaluado de forma experimental. Por ello, debe diferenciarse del 8 % de sustitución, que fue la dosificación ensayada que alcanzó la mayor resistencia media entre los niveles considerados en el estudio.

Desde el punto de vista de los mecanismos reportados en la literatura, una posible interpretación del comportamiento observado se relaciona con el equilibrio entre los efectos de relleno, nucleación y dilución. En sistemas cementicios con contenidos moderados de filler calizo, las partículas finas pueden contribuir al llenado de vacíos y proporcionar superficies para la nucleación de productos de hidratación; asimismo, el carbonato de calcio puede presentar interacciones limitadas con las fases aluminato del cemento. En contraste, al aumentar el porcentaje de sustitución se reduce la cantidad de cemento disponible en la mezcla, por lo que el efecto de dilución puede adquirir mayor relevancia. No obstante, en la presente investigación no se realizaron ensayos de microestructura, porosidad, cinética de hidratación ni formación de carboaluminatos; por tanto, estos mecanismos se plantean como interpretaciones sustentadas en la literatura y no como fenómenos comprobados directamente en las mezclas evaluadas.

Estos resultados presentan una tendencia semejante a la reportada por Wang et al. (2024), quienes observaron un incremento inicial y una posterior reducción de la resistencia conforme aumentó el contenido de polvo calizo, con el mejor desempeño alrededor del 10 %. Li (2024) reportó igualmente un mejor comportamiento con porcentajes moderados y una reducción al incrementar la sustitución, mientras que Zhang et al. (2023), aunque trabajaron con un sistema cementicio diferente, identificaron también un mejor desempeño alrededor de

contenidos intermedios. En conjunto, estos antecedentes muestran que el efecto del filler calizo sobre la resistencia no necesariamente aumenta de forma proporcional con su contenido y que pueden presentarse rangos de sustitución con mejor comportamiento. Las diferencias entre los porcentajes reportados por estos autores y los resultados de la presente investigación podrían relacionarse con las características de los materiales, las dosificaciones, la relación agua/cemento, la granulometría y las condiciones particulares de cada estudio.

La literatura también proporciona posibles explicaciones microestructurales para interpretar el comportamiento de las mezclas. Kępnia et al. (2021) reportaron que el empleo de polvo calizo residual puede favorecer características de la zona de transición interfacial y contribuir a una matriz más compacta. Sin embargo, en dicho antecedente el material calizo fue utilizado como sustituto del agregado fino y no del cemento, por lo que sus resultados constituyen únicamente un referente teórico para la presente investigación. Debido a que en este estudio no se realizaron análisis microscópicos ni evaluaciones directas de la zona de transición interfacial, no es posible afirmar que el mayor valor de resistencia observado con la fracción pasante por el tamiz N.º 140 haya sido causado específicamente por una mejora del empaquetamiento o de dicha zona microestructural.

El filler calizo pasante por tamiz N.º 200 presentó un comportamiento diferente al observado con el tamiz N.º 140. A los 28 días, ningún porcentaje de sustitución superó la resistencia media del concreto patrón, que alcanzó 276.75 kg/cm²; las mezclas con 4 %, 8 % y 12 % registraron 261.50, 264.50 y 252.75 kg/cm², respectivamente. Tanto Pearson ($r = -0.709$; $p = 0.002$) como Spearman ($\rho = -0.651$; $p = 0.006$) mostraron asociaciones negativas y estadísticamente significativas entre el porcentaje de sustitución y la resistencia. No obstante, la tendencia experimental no fue estrictamente decreciente, debido a la ligera recuperación observada con 8 % respecto al 4 %. El modelo lineal presentó $R^2 = 0.503$ y se consideró más adecuado que el modelo cuadrático, cuyo término X^2 no resultó estadísticamente significativo

($p = 0.686$). En consecuencia, para esta fracción se identificó una tendencia general descendente dentro del intervalo evaluado, sin evidencia estadística suficiente para establecer un óptimo cuadrático interior.

Este resultado evidencia que una mayor finura del filler no necesariamente produce un incremento de la resistencia a la compresión. Durante la preparación de las mezclas se registró una mayor demanda de agua conforme aumentó el porcentaje de sustitución, siendo este efecto más pronunciado para el filler pasante por el tamiz N.º 200. La mezcla patrón requirió 1.550 L de agua complementaria por tanda de cuatro probetas; mientras que, para el tamiz N.º 200, las mezclas con 4 %, 8 % y 12 % requirieron 1.900, 2.400 y 2.650 L, respectivamente. En comparación, para el tamiz N.º 140 se utilizaron 1.700, 1.950 y 2.150 L para los mismos porcentajes de sustitución. Estos registros evidencian que la fracción de mayor finura presentó una mayor demanda de agua para alcanzar el asentamiento establecido entre 3" y 4".

La mayor demanda de agua observada en las mezclas con filler pasante por tamiz N.º 200 pudo contribuir a la reducción de la resistencia obtenida a los 28 días. De acuerdo con los mecanismos reportados en la literatura para materiales finos, una mayor finura puede asociarse con un incremento de la superficie específica y, en ausencia de un aditivo dispersante, favorecer fenómenos de aglomeración o modificaciones en el empaquetamiento de las partículas. Estas condiciones podrían incrementar la cantidad de vacíos en la pasta endurecida y reducir la compacidad de la matriz cementante. No obstante, debido a que en la presente investigación no se realizaron ensayos específicos de porosidad, microscopía o dispersión de partículas, estos mecanismos deben interpretarse como una explicación físicamente plausible sustentada en la literatura y no como fenómenos comprobados directamente en el estudio.

Esta interpretación coincide con Her et al. (2024), quienes encontraron que una mayor finura del limestone powder no siempre se traduce en incrementos de resistencia, debido a que su efecto favorable puede verse limitado cuando la reducción del cemento domina el

comportamiento mecánico. Damineli et al. (2021) señalan, en el mismo sentido, que el comportamiento de los sistemas cemento-filler no depende únicamente de la relación agua/cemento, sino también de la mineralogía, densidad, porosidad, volumen de sólidos y características físicas del filler, lo que permite plantear que el mejor desempeño observado con el tamiz N.º 140 pudo estar asociado a un equilibrio más favorable entre el efecto de relleno, la demanda de agua y la cantidad de material cementante disponible.

Asimismo, debe considerarse que la cantidad final de agua incorporada no fue constante entre las mezclas, debido al ajuste realizado para alcanzar el asentamiento establecido. Por ello, las diferencias de resistencia observadas no pueden atribuirse exclusivamente al tamaño de partícula del filler, sino al efecto conjunto del porcentaje de sustitución, la finura del material y la cantidad de agua requerida para mantener la trabajabilidad bajo las condiciones experimentales del estudio.

En cuanto a la composición mineralógica del filler calizo, el análisis mediante difracción de rayos X determinó una proporción de 98.654 % de calcita (CaCO_3) y 1.346 % de cuarzo (SiO_2). Estos valores corresponden a la cuantificación de las fases cristalinas identificadas en la muestra analizada y no deben interpretarse como una determinación de pureza química total del material. El marcado predominio de la calcita es coherente con la naturaleza caliza del filler empleado y constituye una característica mineralógica relevante para interpretar su comportamiento en sistemas cementicios. La literatura señala que el carbonato de calcio puede participar mediante mecanismos físicos de relleno y nucleación, así como mediante interacciones químicas limitadas con las fases aluminato del cemento; sin embargo, debido a que estos mecanismos no fueron medidos directamente en la presente investigación, su posible participación debe considerarse como una interpretación sustentada en antecedentes y no como un fenómeno comprobado experimentalmente en las mezclas evaluadas (Mohit et al., 2023; Her et al., 2024).

A nivel nacional, Miller La Rosa y Sigüenza Rubio (2023) identificaron el 5 % de sustitución como la dosificación de mejor desempeño para una relación agua/cemento de 0.50, mientras que los niveles de 10 % y 15 % redujeron la resistencia. Este comportamiento resulta comparable con la tendencia no lineal observada en la presente investigación; sin embargo, los porcentajes que presentaron mayor desempeño difieren entre ambos estudios, lo cual puede estar relacionado con diferencias en la relación agua/cemento y en las características de los materiales empleados. Lavarello Arteaga y Tello Díaz (2024), en morteros especiales para impresión 3D con filler calizo y microsílice, identificaron un diseño favorable cercano al 7.5 % de sustitución; la cercanía entre estos porcentajes muestra una tendencia comparable hacia un mejor comportamiento con niveles intermedios de incorporación, aunque las diferencias entre materiales y diseños experimentales impiden establecer un porcentaje óptimo generalizable. En contraste, Araujo Bravo (2023) encontró que el filler calizo mejoró el comportamiento del mortero de asentado antes del fraguado, pero redujo su resistencia a compresión respecto al mortero patrón, mientras que Gómez Flores y Quispe Herrera (2024) reportaron reducciones de resistencia a compresión y flexión al aumentar la dosificación de una combinación de cenizas volantes, caliza en polvo y arcilla calcinada. Ambos antecedentes, aunque no permiten aislar el efecto de la caliza en polvo, refuerzan que la incorporación de materiales finos como reemplazo cementante no garantiza una mejora mecánica — comportamiento que, en esta investigación, se observó principalmente con el tamiz N.º 200 y con el 12 % de sustitución.

A nivel regional, Idrogo Huamán y Benavidez Núñez (2025) evaluaron filler calizo de la cantera Curva Grande, en Chota, como reemplazo del agregado fino en mortero de junta para muros portantes, obteniendo mayores resistencias que con arena natural; ello evidencia el potencial técnico del material calizo local, aunque su estudio sustituyó agregado y no cemento. La presente investigación amplía ese conocimiento regional al evaluar la incorporación de

piedra pulverizada como sustituto parcial del cemento de la cantera Chuyabamba en concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, diferenciando además dos fracciones granulométricas, lo que permite identificar no solo la viabilidad del material calizo local, sino también el porcentaje y la fracción más convenientes para su uso como sustituto parcial del cemento. Otros antecedentes regionales en subrasantes, como Ruiz Burga (2022) y Burga Vásquez (2023), y en agregados, como Mamani Yucra (2024) —quien encontró mejores resistencias con piedra caliza triturada lavada que sin lavar—, aunque referidos a mecanismos distintos a la hidratación del cemento, refuerzan que el material calizo local posee potencial técnico siempre que se controle su porcentaje de incorporación, su granulometría y su condición física.

En conjunto, los antecedentes revisados evidencian que el comportamiento del filler calizo en materiales cementicios depende del porcentaje de sustitución, la finura, la composición del material, la cantidad de agua, el tipo de mezcla y la edad de curado. Los resultados de la presente investigación son consistentes con esta variabilidad. Para el filler calizo pasante por el tamiz N.º 140, el 8 % de sustitución presentó la mayor resistencia media observada a los 28 días, con 285.00 kg/cm^2 ; sin embargo, su diferencia respecto al concreto patrón no fue estadísticamente significativa ($p = 0.660$). De forma complementaria, el ajuste cuadrático permitió estimar un máximo matemático de 3.98 % de sustitución, pero este valor no formó parte de las dosificaciones ensayadas, por lo que su validez tendría que comprobarse mediante porcentajes intermedios antes de asignarle una interpretación experimental. Para el filler pasante por el tamiz N.º 200 se observó una reducción de la resistencia a medida que aumentó el porcentaje de sustitución. Estos resultados muestran que el comportamiento del filler calizo está condicionado tanto por la proporción incorporada como por la fracción granulométrica empleada. Entre las dosificaciones efectivamente evaluadas, el 8 % de sustitución con material pasante por el tamiz N.º 140 presentó la mayor resistencia media; no

obstante, este resultado no permite considerarlo como un porcentaje óptimo ni demostrar una superioridad estadísticamente significativa frente al concreto patrón.

Los resultados obtenidos constituyen un aporte local para evaluar el uso del filler calizo como material alternativo en la elaboración de concreto, con posibilidades de disminuir parcialmente el consumo de cemento y aprovechar los residuos generados durante el procesamiento de roca caliza en la provincia de Chota. Para ampliar y confirmar estos resultados, se recomienda que futuras investigaciones incorporen ensayos de durabilidad, absorción, permeabilidad, resistencia frente a sulfatos, porosidad y microscopía electrónica, además de un análisis económico. Estos estudios permitirían evaluar de manera más completa el comportamiento del filler calizo en concretos de uso estructural y definir criterios técnicos más sólidos para su posible aplicación en obras de la zona.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- 1) **Con relación al objetivo general**, se concluye que la sustitución parcial del cemento por filler calizo influyó significativamente en la resistencia a la compresión del concreto diseñado para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, dependiendo del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula empleado. A los 28 días, el ANOVA factorial evidenció efectos estadísticamente significativos del porcentaje de sustitución ($p < 0.001$), del tamaño de partícula ($p = 0.026$) y de la interacción entre ambos factores ($p = 0.006$). Asimismo, todas las combinaciones evaluadas alcanzaron resistencias medias superiores a 210 kg/cm^2 ; la mayor resistencia correspondió al 8 % de sustitución con filler pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200, con 285.00 kg/cm^2 , valor 2.33 % superior al concreto patrón, aunque esta diferencia no resultó estadísticamente significativa ($p = 0.660$).
- 2) **Con relación al objetivo específico a**, se determinó mediante difracción de rayos X que la muestra de filler calizo procedente de la cantera Chuyabamba presentó una composición mineralógica constituida predominantemente por calcita (CaCO_3), con 98.654 %, mientras que el cuarzo (SiO_2) representó 1.346 %. Por tanto, la calcita constituyó la fase mineralógica predominante del material analizado.
- 3) **Con relación al objetivo específico b**, se concluye que el porcentaje de sustitución y el tamaño de partícula influyeron de manera diferenciada en la resistencia a la compresión a los 28 días, identificándose además una interacción estadísticamente significativa entre ambos factores ($p = 0.006$). En la serie correspondiente al filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200, el concreto patrón, sin filler, alcanzó una resistencia media de 278.50 kg/cm^2 a los 28 días. Las mezclas con 4

%, 8 % y 12 % de sustitución alcanzaron resistencias medias de 274.25, 285.00 y 244.00 kg/cm², respectivamente. En comparación con dicho patrón, el 4 % presentó una disminución de 4.25 kg/cm², equivalente al 1.53 %; el 8 % presentó un incremento de 6.50 kg/cm², equivalente al 2.33 %; y el 12 % presentó una disminución de 34.50 kg/cm², equivalente al 12.39 %. Por tanto, la mayor resistencia media observada en esta serie correspondió al 8 % de sustitución. En la serie correspondiente al filler calizo pasante por el tamiz N.º 200, el concreto patrón, sin filler, alcanzó una resistencia media de 276.75 kg/cm² a los 28 días. Las mezclas con 4 %, 8 % y 12 % de sustitución alcanzaron resistencias medias de 261.50, 264.50 y 252.75 kg/cm², respectivamente. Estos resultados representaron disminuciones de 15.25 kg/cm² (5.51 %), 12.25 kg/cm² (4.43 %) y 24.00 kg/cm² (8.67 %) respecto a su concreto patrón. Ninguna de las mezclas con filler de esta serie superó la resistencia media del patrón. La resistencia aumentó entre el 4 % y el 8 % de sustitución y disminuyó al alcanzar el 12 %, por lo que su comportamiento no fue estrictamente decreciente. Estos resultados corresponden a las condiciones experimentales de la investigación y deben interpretarse considerando las variaciones de agua requeridas para mantener la trabajabilidad de las mezclas. La relación agua efectiva/(cemento + filler) final calculada varió de 0.686 en el concreto patrón a 0.800 en la mezcla con 12 % de filler pasante por el tamiz N.º 200. Por ello, las diferencias de resistencia observadas deben analizarse considerando conjuntamente la sustitución del cemento, la fracción granulométrica y la variación del contenido de agua.

- 4) **Con relación al objetivo específico c**, se concluye que la edad de curado presentó un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, $F(2, 72) = 299.496$, $p < 0.001$, $\eta^2p = 0.893$. Las medias marginales estimadas de resistencia a la compresión, que resumen el conjunto de grupos incluidos

en el análisis para cada edad, fueron de 210.281 kg/cm² a los 7 días, 235.656 kg/cm² a los 14 días y 267.156 kg/cm² a los 28 días. Las diferencias entre estas medias fueron de 25.375 kg/cm² entre los 7 y 14 días, de 31.500 kg/cm² entre los 14 y 28 días y de 56.875 kg/cm² entre los 7 y 28 días, con valores mayores en las edades posteriores. Las comparaciones por pares mediante el ajuste de Bonferroni evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre 7 y 14 días, 7 y 28 días, y 14 y 28 días ($p < 0.001$ en todos los casos). Asimismo, la interacción Grupo de evaluación $\times$ Edad de curado resultó estadísticamente significativa, $F(14, 72) = 3.208$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.384$, evidenciando que, aunque la resistencia aumentó con la edad de curado, la magnitud de dicho incremento no fue uniforme entre los grupos evaluados.

- 5) **Con relación al objetivo específico d**, se determinó que, entre los porcentajes de sustitución efectivamente evaluados, el 8 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200 (intervalo nominal de 75–106 μm) presentó la mayor resistencia media a la compresión a los 28 días, con 285.00 kg/cm². Este valor fue 6.50 kg/cm², equivalente a 2.33 %, superior a la media del concreto patrón de 278.50 kg/cm²; sin embargo, dicha diferencia no fue estadísticamente significativa según la prueba de Tukey HSD ($p = 0.660$). Por tanto, el 8 % se identifica como el porcentaje de mayor resistencia media observada entre los niveles ensayados, sin que ello implique superioridad estadística respecto al concreto patrón ni permita considerarlo un porcentaje óptimo universal. De manera complementaria, el modelo cuadrático correspondiente a la fracción pasante por el tamiz N.º 140 y retenida en el tamiz N.º 200 que estimó un máximo matemático cercano al 3.98 % de sustitución, valor que no fue evaluado experimentalmente y requiere verificación mediante dosificaciones intermedias. Para la fracción pasante por el tamiz N.º 200 no se identificó un máximo cuadrático estadísticamente sustentado.

Los alcances de esta investigación se restringen al análisis de la resistencia a la compresión bajo las condiciones experimentales consideradas. No se evaluaron aspectos relacionados con durabilidad, desempeño estructural a escala real, costos, emisiones de CO₂ ni huella de carbono. En consecuencia, los resultados obtenidos no deben extenderse a estas variables ni utilizarse para afirmar beneficios adicionales que no hayan sido comprobados mediante estudios específicos.

5.2. Recomendaciones

- 1) **Con relación al objetivo general**, Se recomienda que el uso de filler calizo como sustituto parcial del cemento en concretos con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ sea verificado previamente mediante mezclas de prueba y ensayos de control. Esta evaluación debe considerar de manera conjunta el porcentaje de sustitución, la fracción granulométrica empleada y la cantidad de agua necesaria para conservar la trabajabilidad. Por otro lado, antes de trasladar estos resultados a condiciones de obra, es necesario validarlos con los materiales, proporciones, procedimientos de mezclado, condiciones de curado y controles de calidad propios de cada aplicación.
- 2) **Con relación al objetivo específico a**, se recomienda caracterizar previamente el filler calizo procedente de otras fuentes o canteras antes de emplearlo como sustituto parcial del cemento, debido a que sus características pueden variar según el material de origen. En futuras investigaciones, la caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X puede complementarse con ensayos físicos y químicos que permitan ampliar el conocimiento de las propiedades del material y establecer un mayor control sobre su utilización.
- 3) **Con relación al objetivo específico b**, se recomienda considerar el 8 % de sustitución con filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el tamiz N.º 200 como un

nivel experimental de referencia para nuevas evaluaciones, debido a que alcanzó la mayor resistencia media entre las combinaciones ensayadas; sin embargo, este resultado no debe interpretarse como una dosificación universal ni como estadísticamente superior al concreto patrón. Asimismo, para el filler pasante por tamiz N.º 200 se recomienda evaluar condiciones de mezclado que permitan controlar su mayor demanda de agua, incluyendo el estudio de aditivos reductores de agua o dispersantes, con la finalidad de diferenciar con mayor precisión el efecto del tamaño de partícula sobre la resistencia a la compresión.

- 4) **Con relación al objetivo específico c**, se recomienda ampliar la evaluación de la resistencia a la compresión a edades posteriores a los 28 días, tales como 56 y 90 días, principalmente en las mezclas con mayores porcentajes de sustitución, con la finalidad de determinar si el desarrollo tardío de la resistencia continúa. Asimismo, deben mantenerse condiciones uniformes y debidamente registradas de dosificación, mezclado, asentamiento, elaboración y curado de las probetas para facilitar una comparación adecuada entre edades.
- 5) **Con relación al objetivo específico d**, se recomienda desarrollar nuevas investigaciones empleando porcentajes intermedios de sustitución, particularmente dentro del intervalo comprendido entre 3 % y 8 %, incluyendo niveles próximos al 3.98 % estimado por el modelo cuadrático, con la finalidad de verificar experimentalmente la ubicación del máximo matemático y precisar el rango de sustitución de mayor desempeño. Estas evaluaciones deberían considerar múltiples tandas independientes para cada condición experimental y procurar un control más uniforme de las condiciones de trabajabilidad y del agua incorporada, a fin de fortalecer la estimación estadística del porcentaje de sustitución de mayor desempeño.

REFERENCIAS

- Araujo Bravo, C. O. (2023). *Influencia del filler calizo en las propiedades mecánicas del mortero de asentado para ladrillos, Trujillo 2023 [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/133846>
- Barajas Martínez, Á. E., Cerón Carballo, J. E., Pérez Isidro, E., Lizárraga Mendiola, L. G., Caballero Garatache, O., & López León, L. D. (2024). Evaluation of abrasion of gravel with rubber aggregate. *Dialnet*, 13(25). <https://doi.org/10.29057/icbi.v13i25.12887>
- Bilo, F., Cirelli, P., & Borgese, L. (2024). Elemental analysis of particulate matter by X-ray fluorescence methods: A green approach to air quality monitoring. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117427>
- Burga Vásquez, J. C. (2023). *Mejoramiento de subrasante arcillosa con la finalidad de incrementar propiedades físico-mecánicas adicionando polvo de piedra caliza, Chota–Cajamarca, 2023 [Tesis de grado, Universidad Nacional Federico Villarreal]*. Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/8312>
- Bustamante Chávez, Y. I. (2024). *Resistencia a la compresión y flexión de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de fibra de botella reciclada con diferentes proporciones – Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7152>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). Applied research and experimental development in strengthening the competences of the 21st century society. *Tecnura*, 27(75). <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Cemex. (2023). *CEMEX LATAM Holdings*. <https://www.cemexlatam.com/es/soluciones-construccion/portafolio-productos/cemento/fundamentos>

- Centurión Vargas, M. A. (2022). *Determinación de la resistencia del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con agregados reciclados de vías, en la ciudad de Cajamarca, 2021 [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5368>
- Choure, A., Dehariya, N., & Kushram, A. (2022). A Study on Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Research in Engineering and Science*, 10, 14-16. <https://www.ijres.org/papers/Volume-10/Issue-3/Ser-7/D10031416.pdf>
- Colunche Bustamante, J. L. (2025). *Sustitución parcial del agregado fino por residuo zarandeado de roca triturada para mejorar la resistencia del concreto, Chota – 2022 [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]*. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/97>
- Condori, J. (2024). El concreto : Definición, Composición, Propiedades - (1) Tecnología del concreto. <https://www.libreingenieriacivil.com/2021/08/manual-para-construir-zapatas.html>
- Damineli, B. L., Pileggi, R. G., Lagerblad, B., & John, V. M. (2021). Effects of filler mineralogy on the compressive strength of cementitious mortars. *Construction and Building Materials*, 299, 124363. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124363>
- Díaz Palacios, R., Romellón Cerino, M. J., Rodríguez Jiménez, C., López Acopa, N. d., & Vázquez González, M. B. (2024). Mortero sustentable a base de cal (CaO), polvo de piedra y polietileno de alta densidad HDPE. *REVISTA IPSUMTEC*, 7(2), 143-152. <https://doi.org/10.61117/ipsumtec.v7i2.319>
- Fuentes Espinoza, J. L. (2025). *Incidencia del almidón de maíz en las propiedades físicas y mecánicas del concreto con $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, en pavimentos rígidos [Tesis de título*

- profesional, Universidad Peruana Los Andes*]. Repositorio de la Universidad Peruana Los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/10554>
- Garcia Vasquez, M. A. (2020). *Influencia de la adición de caucho granulado en 5%, 10% y 15% en la resistencia a compresión y flexión del concreto para la utilización en obras de ingeniería, Lima 2020 [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/25034>
- Gomez Flores, P. D., & Quispe Herrera, I. Y. (2024). *Influencia de cenizas volantes, polvo de caliza y arcilla de caolinita en las propiedades del concreto estructural, en edificaciones, Puno 2023. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/138168>
- Hadi Mohamed, M. M., Martel Carranza, C. P., Huayta Meza, F. T., Rojas León, C. R., & Arias Gonzáles, J. L. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- Haque Mahi, S., Ashrabi Ridoy, T., Ahmed Nibir, F., & Shopon Sheikh, M. (2025). Limestone Powder in Concrete Mixes: A Review of Mechanical Enhancements. 2(1). <https://doi.org/10.70028/sgm.v2i1.25>
- Harmandeep, S., & Lovneesh, S. (2023). Effect of Limestone Waste Powder and Marble Waste over the Strength Properties of the Conventional Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1110(1), 012077. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1110/1/012077>
- Hasan Saikot, S. (2023). *Determination of Tensile Strength of a given specimen using UTM (25KN)*. <https://www.researchgate.net/publication/373679769>

- Her, S.-W., Yang, K.-H., Bae, S.-C., Kwon, S.-J., & Wang, X.-Y. (2024). Effect of particle size distribution and content of limestone powder on compressive response of high-early-strength cement mortars. *Journal of Building Engineering*, 97, 110964. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110964>
- Herget, C., Proske, T., Rezvani, M., & Graubner, C. A. (2025). Limestone powder for the cement reduction – approach for the creditability using k-value concept and decrease of CO₂ emissions. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/21650373.2025.2529995>
- Idrogo Huamán, Y. J. (2025). *Producción de mortero de junta para muros portantes sustituyendo el agregado fino por Filler Calizo, Chota. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]*. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/845>
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). *NTP 339.126:2019 Agregados. Métodos para la reducción de las muestras de campo a tamaños de muestras de ensayo.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 339.034:2021. Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). *NTP 339.183:2021. Concreto. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2024). *NTP 334.090:2024 Cementos. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos.*
- John, E., & Lothenbach, B. (2023). Cement hydration mechanisms through time – a review. *Journal of Materials Science*, 58, 9805–9833. <https://doi.org/10.1007/s10853-023-08651-9>

- Kępnia, M., Woyciechowski, P., & Franus, W. (2021). Transition Zone Enhancement with Waste Limestone Powder as a Reason for Concrete Compressive Strength Increase. *Materials*, 14(23), 7254. <https://doi.org/10.3390/ma14237254>
- Lavagna, L., & Nisticò, R. (2023). An Insight into the Chemistry of Cement—A Review. *Applied Sciences*, 13(1), 203. <https://doi.org/10.3390/app13010203>
- Lavarello Arteaga, S. E., & Tello Diaz, J. D. (2024). *Propuesta de morteros especiales a reología modificada para la construcción de viviendas con el sistema de impresión 3D en la ciudad de Lima Metropolitana [Para optar el título profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://doi.org/10.19083/tesis/673188>
- Li, C. (2024). Study on compressive strength and sulfate corrosion resistance of limestone powder and waste glass powder mixed concrete. *Materials Research Express*, 11(2). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad1ef6>
- López Yépez, L., Duran Herrera, A., & González Aviña, J. (2022). Development status and applications of concrete technology. *Ciencia Nicolaita* (85), 33. <https://doi.org/10.35830/cn.vi85.619>
- Luan, C., Zhou, Y., Liu, Y., Ren, Z., Wang, J., Yuan, L., . . . Huang, Y. (2022). Effects of nano-SiO₂, nano-CaCO₃ and nano-TiO₂ on properties and microstructure of the high content calcium silicate phase cement (HCSC). *Construction and Building Materials*, 314, 125377. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125377>
- Mamani Yucra, B. Y. (2024). *Influencia del uso de la piedra caliza triturada en las propiedades mecánicas del concreto para su producción en la región de Puno [Tesis para optar título profesional, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]*. Repositorio de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. <https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2120>

- Marchewka, A., Ziolkowski, P., & García Galán, S. (2025). Real-time prediction of early concrete compressive strength using AI and hydration monitoring. *Scientific Reports*, 15, 15463. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97060-w>
- Miller La Rosa, M. J., & Sigüenza Rubio, L. D. (2023). *Influencia del filler calizo como material cementante en la resistencia a la compresión del concreto Trujillo - 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio de la Universidad Privada del Norte, Trujillo. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33133>
- Ministerio de Energía y Minas. (Setiembre de 2025). *Boletín estadístico minero: Setiembre 2025*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/7407583-boletin-estadistico-minero-setiembre-2025>
- Mohit, M., Haftbaradaran, H., & Tajmir Riahi, H. (2023). Investigating the ternary cement containing Portland cement, ceramic waste powder, and limestone. *Construction and Building Materials*, 369. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130596>
- Navarro Ferrer, F. (2022). Cementos alternativos al cemento Portland. <https://addi.ehu.es/handle/10810/61001>
- Núñez Aguilar, D. G., Ortiz Loayza, R. R., & Veloz Miño, R. M. (2025). Cementos ecoeficientes. Sinergia entre aditivos de alto desempeño y puzolanas no convencionales. *Cemento Hormigón*. N°. 1029, 2025. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10367326>
- Ruiz Burga, F. Y. (2023). *Evaluación de la incorporación de polvo de piedra chancada en la subrasante deteriorada por deformación, carretera Chota – Shitacucho*. [Tesis para optar título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/337>

- Ruiz Huaraz, C. B., & Valenzuela Ramos, M. R. (2022). *Metodología de investigación (Primera edición)*. Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo (UNAT) -Fondo Editorial. <https://doi.org/10.56224/EdiUnat.4>
- Salinas Villegas, E. X., Vélez Niacato, A. M., Espín Lagos, S. M., & Freire Romero, D. R. (2023). Fresh concrete and its impact on its physical and mechanical properties. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 5098-5110. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.959>
- Sánchez de Rojas, M. I., Pajares, I., Frías, M., Barbara, J., Rodríguez, O., & Ferreido, S. (2009). Filler calizo y su empleo en hormigones autocompactantes. *Cemento Hormigón*.(932), 4–15. <http://hdl.handle.net/10261/38941>
- Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2024). *Propiedades del concreto fresco y endurecido*. Chiclayo.
- Tešić, K., Marinković, S., & Savić, A. (2021). Influence of cement replacement with limestone filler on the properties of concrete. *Building Materials and Structures*, 64(3), 165-170. <https://doi.org/10.5937/GRMK2103165T>
- Tovar Herazo, J. E. (2022). *Estudio de los cambios en la estructura cristalina de la Perovskita compleja YBaCaCuO mediante la técnica de difracción de rayos X. [Tesis de pregrado, Universidad de Sucre]*. Repositorio de la Universidad de Sucre. <https://repositorio.unisucre.edu.co/handle/001/1684>
- Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., & Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723–9762. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658

- Vulcano, O., Montani, L., & Irassar, E. F. (2025). Cementos ternarios filler calcáreo y puzolana natural. *Simpósio Brasileiro De Ciência Do Cimento (SBCC)*, 2(1). <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbcc/article/view/6946/5309>
- Wang, W., & Yue, Q. (2023). The Time Variation Law of Concrete Compressive Strength: A Review. *Applied Sciences*, 13(8), 4947. <https://doi.org/10.3390/app13084947>
- Wang, Y., Zhang, W., Lou, G., & Yao, T. (2024). Effect of limestone powder on mechanical properties of concrete based on Griffith's microcracking theory. *Construction and Building Materials*, 449, 138413. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.138413>
- Ye, S., Feng, P., & Liu, J. (2024). Dissolution and early hydration of tetracalcium aluminoferrite (C4AF) in water and in aqueous sulfate solutions. *Cement and Concrete Research*, 186, 107676. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2024.107676>
- Zeng, H., & Li, Y. (2024). Effect of waste stone powder on compressive strength and pore structure of concrete in extreme low temperature and complex environment. *Journal of Building Engineering*, 95, 110108. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110108>
- Zhang, Y., Yang, B., Gu, X., Han, D., & Wang, Q. (2023). Improving the performance of ultra-high performance concrete containing lithium slag by incorporating limestone powder. *Journal of Building Engineering*, 72, 106610. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106610>

ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Título: Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota.

Tesista(s): Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables e indicadores			Metodología
Problema General	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variable I: Sustitución parcial de cemento por filler calizo			Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Experimental factorial 4 x 2 Población: Muestras de concreto con distintas proporciones de filler calizo. Muestra: 96 especímenes de concreto, elaborados con sustitución parcial de cemento por filler calizo al 0 %, 4 %, 8 % y 12 %, considerando dos tamaños de partícula (tamices N.º 140 y N.º 200) y edades de curado de 7, 14 y 28 días. Instrumentos: Prensa hidráulica, formato de recolección de datos de los ensayos de laboratorio.
¿De qué manera la sustitución parcial de cemento por filler calizo influye en la resistencia a la compresión del concreto F'c=210 kg/cm², considerando diferentes porcentajes de sustitución y tamaño de partícula?	Evaluar la resistencia a la compresión del concreto F'c = 210 kg/cm² mediante diferentes porcentajes de sustitución parcial de cemento por filler calizo y tamaño de partícula, Chota.	La sustitución parcial del cemento por filler calizo influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto F'c = 210 kg/cm², en función del porcentaje de sustitución y del tamaño de partícula.	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
			Composición mineralógica	Contenido de CaCO3 (%)- Pureza mineral	% de CaCO3	
			Porcentaje de sustitución	Porcentajes de reemplazo (0%, 4%, 8%, 12%)	% de reemplazo de cemento	
			Variable II: Tamaño de partícula			
			Finura	Tamaño de partícula (µm)	Micrómetros (µm)	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable D: Resistencia a la compresión del concreto			
¿Cuál es la composición mineralógica del filler calizo utilizado en el estudio, determinada mediante difracción de rayos X?	Determinar la composición mineralógica del filler calizo mediante el ensayo de difracción de rayos X.	No aplica. El objetivo específico a corresponde a una caracterización descriptiva de la composición mineralógica del filler calizo mediante difracción de rayos X, por lo que no se formuló una hipótesis inferencial.	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
¿Cómo influye la sustitución del cemento por filler calizo en proporciones de 4%, 8% y 12%, considerando el tamaño de partícula, en la resistencia a la compresión del concreto F'c = 210 kg/cm² a los 28 días?	Analizar la influencia del porcentaje de sustitución del cemento por filler calizo de 4%, 8%, 12% y tamaño de partícula en la resistencia a la compresión del concreto F'c=210 kg/cm² a 28 días.	La sustitución parcial del cemento por filler calizo en porcentajes de 4%, 8% y 12%, considerando el tamaño de partícula, influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto F'c = 210 kg/cm² a los 28 días.	Edad de curado	Carga máxima soportada (kgf)	kg/cm² o Mpa	
¿Existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas?	Analizar las diferencias en la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.	Existen diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión del concreto f'c = 210 kg/cm² entre las edades de curado de 7, 14 y 28 días, considerando el concreto patrón y las diferentes condiciones de sustitución de cemento por filler calizo evaluadas.	Resistencia desarrollada	Área transversal de la probeta (cm²)		
¿Qué porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo permite obtener la mayor resistencia a compresión en un concreto diseñado para F'c = 210 kg/cm²?	Determinar el porcentaje de sustitución de cemento por filler calizo que presenta la mayor resistencia a la compresión del concreto diseñado para f'c = 210 kg/cm² entre los niveles evaluados.	Entre los porcentajes de sustitución de cemento por filler calizo evaluados, existe al menos una condición que presenta una resistencia media a la compresión diferente respecto al concreto patrón f'c = 210 kg/cm².	Comportamiento mecánico	Resistencia promedio (kg/cm² o MPa) a 7, 14 y 28		

Anexo B . Panel fotográfico

Fotografía 1. Muestreo de agregado fino (arena natural) en la cantera El Arenal, Conchán.



Fotografía 3. Determinación del material más fino que pasa por el tamiz N.º 200 (75 μ m) mediante lavado.



Fotografía 2. Recolección de la muestra de agregado fino en la cantera El Arenal, Conchán.



Fotografía 4. Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino.



Fotografía 5. Ensayo para la determinación del contenido de humedad del agregado fino.



Fotografía 7. Determinación del peso unitario del agregado fino



Fotografía 6. Ensayo para la determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino.



Fotografía 8. Eliminación del aire atrapado durante el ensayo de peso específico del agregado fino.



Fotografía 9. Muestreo del agregado grueso en la cantera Chuyabamba.



Fotografía 11. Ensayo de análisis granulométrico del agregado grueso.



Fotografía 10. Muestreo del filler calizo en la cantera Chuyabamba.



Fotografía 12. Ensayo para la determinación del contenido de humedad del agregado grueso.



Fotografía 13. Ensayo para la determinación del peso unitario compactado del agregado grueso.



Fotografía 14. Ensayo para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.



Fotografía 15. Ensayo de resistencia al desgaste por abrasión e impacto del agregado grueso mediante la máquina de Los Ángeles.



Fotografía 16. Secado de la muestra de filler calizo en estufa.



Fotografía 17. Enfriamiento del filler calizo a temperatura ambiente después del secado en estufa.



Fotografía 18. Tamizado del filler calizo para la obtención de las fracciones granulométricas evaluadas.



Fotografía 19. Disposición de los materiales conforme a la dosificación establecida para la elaboración del concreto.



Fotografía 20. Incorporación de los materiales en la mezcladora durante el proceso de elaboración del concreto.



Fotografía 25. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días del concreto patrón.



Fotografía 26. Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días del concreto con 4 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (intervalo nominal de 75–106 μm).



Fotografía 27. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días del concreto con 12 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (intervalo nominal de 75–106 μm).



Fotografía 28. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días del concreto con 4 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 200 (TP < 75 μm).



Fotografía 29. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días del concreto con 8 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 200 (TP < 75 μm).



Fotografía 30. Ensayo de resistencia a la compresión a los 14 días del concreto con 12 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 200 (TP < 75 μm).



Fotografía 31. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto patrón.



Fotografía 32. Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días del concreto con 4 % de sustitución de cemento por filler calizo pasante por el tamiz N.º 140 y retenido en el N.º 200 (intervalo nominal de 75–106 μm).



Anexo C. *Resultados de ensayos de laboratorio*



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

“ Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

Colpa Matara, 28 de enero del 2026

CARTA N°25-2026-UNACH-CFCI-ENCHV

Señores:

Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado.

Tesistas.

Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Presente.

Asunto : Autorización para uso de laboratorio externo.

Referencia : FUT N°051-2026: Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado.

Tengo a bien dirigirme al despacho de su digno cargo, para expresarle mi saludo cordial, y manifestarle que cuenta con la autorización para realizar sus ensayos de propiedades físico mecánicas de los agregados, diseño de mezcla, preparación de especímenes, curado y resistencia a la compresión en el laboratorio “GSE Laboratorio Ingeniería & Construcción S.A.C” ubicado en la ciudad de Chota, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa

Sin otro particular, me despido de usted no sin antes reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez
Coordinador
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de Chota



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

“ Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

Colpa Matara, 28 de enero del 2026

CARTA N°26-2026-UNACH-CFCI-ENCHV

Señores:

Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado.

Tesistas.

Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Presente.

Asunto : Autorización para uso de laboratorio externo.

Referencia : FUT N°051-2026: Edwin Omar Díaz Torres y Jolibert Jussef Rimarachín Delgado.

Tengo a bien dirigirme al despacho de su digno cargo, para expresarle mi saludo cordial, y manifestarle que cuenta con la autorización para realizar su ensayo de composición mineralógica de filler calizo, en el laboratorio “Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C” ubicado en la ciudad de Lima, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa

Sin otro particular, me despido de usted no sin antes reiterarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez
Coordinador
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de Chota

CEMENTO TIPO I “ESTRUCTURAL”



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES



Saco regular
42.5 kg



A granel



Big Bag

*En cumplimiento de la Norma Metrológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.



ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

***Tipo I** se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el **cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



NTP 334.009
ASTM C 150
Cemento Portland



DS 001-2022 PRODUCE
Cemento Hidráulico
utilizado en Edificaciones
y Construcciones
en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1 2 3 4 5

*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES QUE PUEDES ALCANZAR POR USO DEL PRODUCTO

Este producto puede contribuir a obtener puntos en las siguientes certificaciones de construcción sostenible:

LEED®



- Tiene Declaración Ambiental de Producto de Tipo III, validada por un tercero.
- Certificación ISO 14001.

Con estas características el cemento Tipo I puede contribuir a alcanzar 1 punto en la categoría de materiales y recursos de la certificación LEED.

Bono Mi Vivienda Sostenible



- Cumple con los requerimientos del Bono Mi Vivienda Sostenible del Fondo Mi Vivienda para Eco Materiales, **hasta el grado 3.**

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbcpe**



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	< 3.0
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	< 2.5 - 2.95 >
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	< 3.3
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	< 1.2

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire en Mortero	Máximo	12	%	NTP 334.048	< 7 - 10 >
Finura					
Superficie específica	Mínimo	260	m ² /kg	NTP 334.002	>= 380
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	< 0.20
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 24.1 (>= 3500)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 30.3 (>= 4400)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 37.9 (>= 5500)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	< 110 - 150 >
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	< 230 - 260 >
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	< 0.010

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.





Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por CEMENTOS PACASMAYO S.A.A., en la Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

Manufactured by CEMENTOS PACASMAYO S.A.A. in the Panamericana Norte Km 666 Pacasmayo, La Libertad, Perú

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria

Decreto Supremo No 001 -2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General.

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General
SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado : CSR -CER1016291
Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18
Approval Date:

Fecha de Renovación:
Renewal Date:

Fecha Última Modificación:
Last Modification Date:

Fecha de Vencimiento: 2029-08-17
Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accredited by:



Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia

F-PS-628
Versión 00





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according to ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Calle La Colonia Urb. El Vivero 150 Santiago de Surco - Lima - Lima identificada con número de NIT 20419387658.

Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Calle La Colonia Urb. El Vivero 150 Santiago de Surco - Lima - Lima identified with NIT number 20419387658.

Fabricado en las plantas descritas en el anexo:

"PLANTAS DE FABRICACIÓN CUBIERTAS POR EL ALCANCE DEL CERTIFICADO"

Manufactured in described plants on the annex:

"MANUFACTURING PLANTS COVERS FOR CERTIFICATE SCOPE"

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:

The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009 (2023)

Cementos Pórtland. Requisitos

Portland cement. Requirements

SECTOR ICS: 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-0019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-0019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSC - CER1016270

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18 **Fecha Última Modificación:** 2025-09-10

Approval Date: 2023-08-18 **Last Modification Date:** 2025-09-10

Fecha de Renovación: 2029-08-17 **Fecha de Vencimiento:** 2029-08-17

Renewal Date: 2029-08-17 **Expiration Date:** 2029-08-17

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo



Este certificado es propiedad de ICONTEC ubicado en la Calle 26N° 69 - 76.
Edificio Elemento, torre 4, pisos 9 y 10. Bogotá D.C., Colombia.

F-PS-0628
Versión 01





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according to ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** en la Calle La Colonia Urb. El Vivero 150 Santiago de
Surco - Lima - Lima identificada con número de NIT 20419387658.

Manufactured by **CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.** in the Calle La Colonia Urb. El Vivero 150 Santiago
de Surco - Lima - Lima identified with NIT number 20419387658.

Fabricado en las plantas descritas en el anexo:

"PLANTAS DE FABRICACIÓN CUBIERTAS POR EL ALCANCE DEL CERTIFICADO"

Manufactured in described plants on the annex:

"MANUFACTURING PLANTS COVERS FOR CERTIFICATE SCOPE"

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:

The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

ASTM C150/C150M-24 (2024)

Especificaciones estándar para cemento portland

standard specification for portland cement

SECTOR ICS: 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-0019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-0019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado: CSC - CER1016284

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18 **Fecha Última Modificación:** 2025-09-10

Approval Date: 2023-08-18 **Last Modification Date:** 2025-09-10

Fecha de Renovación: 2029-08-17 **Fecha de Vencimiento:** 2029-08-17

Renewal Date: 2029-08-17 **Expiration Date:** 2029-08-17

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo



Este certificado es propiedad de ICONTEC ubicado en la Calle 26N° 69 - 76.
Edificio Elemento, torre 4, pisos 9 y 10. Bogotá D.C., Colombia.

F-PS-0628
Versión 01





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO HIDRÁULICO

Fabricado por CEMENTOS SELVA S.A.C. , en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martín, Perú.

Manufactured by CEMENTO S SELVA S.A.C. , en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin Vargas, Rioja, San Martín, Perú.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

Decreto Supremo N° 001-2022

Decreto supremo que aprueba el Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones
y Construcciones en General

Supreme Decree that approves the Technical Regulation on Hydraulic Cement used in Buildings and Construction in General

SECTOR ICS 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC.
This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.
Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado.

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate.

Certificado : CSR -CER1016302
Certificate

Fecha de Aprobación:	2023-08-18	Fecha Última Modificación:	
Approval Date:		Last Modification Date:	
Fecha de Renovación:		Fecha de Vencimiento:	2029-08-17
Renewal Date:		Expiration Date:	

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

ICONTEC es un organismo de Certificación acreditado por:
ICONTEC is a certification body accredited by:



Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo

F-PS-628
Versión 00

Este certificado es propiedad de ICONTEC y debe ser devuelto cuando sea solicitado.
ICONTEC carrera 37 nro. 52 - 95, Bogotá D.C., Colombia





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according to ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS SELVA S.A.C.** en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elías Soplin
Vargas, Rioja, San Martín, Perú. identificada con número de NIT 20489174023.

Manufactured by **CEMENTOS SELVA S.A.C.** in the Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elías Soplin
Vargas, Rioja, San Martín, Perú. identified with NIT number 20489174023.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

NTP 334.009 (2023)

Cementos Pórtland

Portland cement

SECTOR ICS: 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-0019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-0019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado CSC -CER1016287

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18 **Fecha Última Modificación:** 2025-09-17

Approval Date: Last Modification Date:

Fecha de Renovación: **Fecha de Vencimiento:** 2029-08-17

Renewal Date: Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo



Este certificado es propiedad de ICONTEC ubicado en la Calle 26N° 69 - 76.
Edificio Elemento, torre 4, pisos 9 y 10. Bogotá D.C., Colombia.

F-PS-0628
Versión 01





Esquema de certificación 5

Otorga el certificado de conformidad de producto ICONTEC (Esquema de certificación 5 según ISO/IEC 17067) para:
It grants the certificate of conformity product ICONTEC (Certification Scheme 5 according to ISO/IEC 17067) for:

CEMENTO PORTLAND

Fabricado por **CEMENTOS SELVA S.A.C.** en la Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin
Vargas, Rioja, San Martín, Perú. identificada con número de NIT 20489174023.

Manufactured by **CEMENTOS SELVA S.A.C.** in the Carretera Fernando Belaunde Terry Km 468, Elias Soplin
Vargas, Rioja, San Martin, Perú. identified with NIT number 20489174023.

El derecho del uso del certificado de conformidad de producto se otorga con el referencial:
The right to use the certificate of conformity of product is granted with the Audit Criteria:

ASTM C150/C150M-24 (2024)

Especificaciones estándar para cemento portland.

standard specification for portland cement
SECTOR ICS: 91.100.10

Este certificado de conformidad de producto está sujeto a que la empresa y el producto cumplan permanentemente con los requisitos establecidos en el referencial y en el documento "R-PS-0019 Reglamento para la certificación de producto tangible", lo cual será verificado por ICONTEC

This certificate of conformity of product is subject to the company's and product's permanent fulfillment of the requirements set forth in the audit criteria and the "R-PS-0019 Reglamento para la Certificación de producto tangible" document, which will be verified by ICONTEC.

Las referencias autorizadas para ostentar el certificado de conformidad de producto se incluyen en documento anexo que es parte integral del presente certificado

The references authorized to hold the certificate of conformity of product are included in annexed document and it is integral part of this certificate

Certificado CSC -CER1016294

Certificate

Fecha de Aprobación: 2023-08-18 Fecha Última Modificación: 2025-09-17

Approval Date: Last Modification Date:

Fecha de Renovación: Fecha de Vencimiento: 2029-08-17

Renewal Date: Expiration Date:

La autenticidad del certificado y su alcance se puede consultar al correo electrónico: cliente@icontec.org

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo



Este certificado es propiedad de ICONTEC ubicado en la Calle 26N° 69 - 76.
Edificio Elemento, torre 4, pisos 9 y 10. Bogotá D.C., Colombia.

F-PS-0628
Versión 01



ANEXO N° 0054 - 2026

EL PRESENTE **ANEXO** ES EMITIDO POR **SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC** QUIEN ASEGURA HABER ANALIZADO LA MUESTRA PROPORCIONADA POR NUESTRO CLIENTE A QUIEN SE IDENTIFICA POSTERIORMENTE.

Informe de Ensayo IE-2025-0434

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR
RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF
1.2 RUC o DNI : 72373210 - 71193476
1.3 Dirección : JR. GREGORIO MALCA N° 868 - JR. GLICERIO VILLANUEVA
N°335

2. DATOS DE LA MUESTRA

- 2.1 Producto : CALIZA
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2026-01-29
2.5 Periodo de Ensayo : 2026-01-29 al 2026-02-11
2.6 Fecha de Emisión : 2026-02-16
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de Cotización : COT-105540-SL26

3. INFORMACIÓN ADICIONAL

3.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA

Código de Muestra	Descripción de Muestra
S-0592	Muestra de filler calizo para composición mineralógica ^(c) PROYECTO: Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f_c = 210$ kg/cm ² mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota ^(c)

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

3.2. INFORMACIÓN ADICIONAL

Tabla N°1: CARACTERÍSTICAS DEL DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X

Equipo:	DIFRACTÓMETRO D8 Endeavor
Tubo Co	(35kV, 40mA)
KAlfa1:	1.78897 Å
KAlfa2:	1.79285 Å
Filtro:	Kbeta: Fe
Detector:	LynxEye-2
Rango de medida:	desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 70^\circ$
Identificación:	Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD) PDF-2 - 2014.
Cuantificación:	Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database)

FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

INFORME DE ENSAYO

IE-2026-0434

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR
RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF
1.2 RUC o DNI : 72373210 - 71193476
1.3 Dirección : JR. GREGORIO MALCA N° 868 - JR. GLICERIO VILLANUEVA
N°335

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : CALIZA
2.2 Muestreado por : CLIENTE ^(c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2026-01-29
2.5 Periodo de Ensayo : 2026-01-29 al 2026-02-11
2.6 Fecha de Emisión : 2026-02-16
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-105540-SL26

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Ensayo de Difracción de Rayos X Composición Química por Fases	UNE-EN 13925-3:2006 Ensayos no destructivos. Difracción de rayos X aplicada a materiales policristalinos y amorfos. Parte 3: Instrumentos

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA: Muestra de filler calizo para composición mineralógica ^(c)

PROYECTO: Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
mediante sustitución parcial de cemento por filler calizo, Chota ^(c)

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

- Equipo Utilizado: DIFRACTÓMETRO D8 Advance
- Posición inicial [$^{\circ}2\theta$]: 4
- Posición Final [$^{\circ}2\theta$]: 70
- Tamaño de paso [$^{\circ}2\theta$]: 0.0220
- Material del ánodo: Co
- Tipo de longitud de onda prevista: K-Alpha

Tabla N°1: CONCENTRACIÓN DE LAS FASES CRISTALINAS EN LA MUESTRA

Nombre del componente identificado	Fórmula Química	Unidad	Resultados
Calcita	CaCO ₃	%	98.654
Cuarzo	SiO ₂	%	1.346

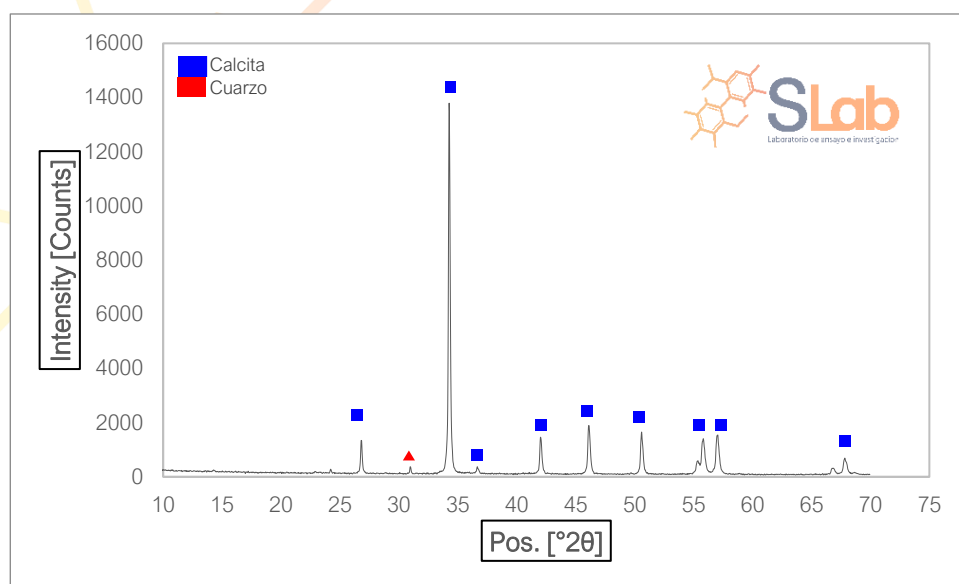


Figura N°1: DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA Y FASES CRISTALINAS IDENTIFICADAS.

Leyenda

^(c) Información suministrada por el cliente.

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

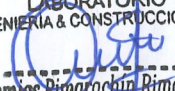




"GSE LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN S.A.C" LABORATORIO DE SUELOS,
CONCRETO Y PAVIMENTOS

ENSAYOS FÍSICOS Y MECÁNICOS DE LOS AGREGADOS

(Agregado Fino y Agregado
Grueso)

LABORATORIO
INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870

Dirección: Jr. Anaximandro Vega N° 865 – Chota – Cajamarca

Cel: 930 866 995 - 939 225 167

RUC: 20605442235 – Email: gselaboratorio2019@gmail.com



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM², MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CONCHAN

TESISTAS : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF

CONTACTO : 941 351 524

DISEÑOS DE CONCRETO : Fc - 210 Kg/Cm²

CODIGO DE MUESTRA : M-01

TAMAÑO MAX. : 3/8"

MATERIAL : ARENA NATURAL

ESTRUCTURA : DIFERENTES ESTRUCTURAS

REALIZADO POR : D.T.E - R.D.J

APROBADO POR : G.R.R

FECHA DE MUESTREO : 2026-02-15

FECHA DE RECEPCIÓN : 2026-02-16

FECHA DE ENSAYO : 2026-02-16

FECHA DE EMISION : 2026-03-03

COORDENADAS : -

MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LABORATORIO DEL CONTENIDO DE AGUA (HUMEDAD) DEL SUELO Y LA ROCA EN MASA (ASTM D 2216-19)

TARRO		65
TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	1699,9
TARRO + SUELO SECO	(g)	1568,0
AGUA	(g)	131,9
MASA DEL TARRO	(g)	99,9
MASA DEL SUELO SECO	(g)	1468,1
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	9,0

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CHUYABAMBA

CODIGO DE MUESTRA : M-02

TAMAÑO MAX. : 1 1/2"

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA

HUMEDAD NATURAL AGREGADO GRUESO

TARRO		157
TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	4249,0
TARRO + SUELO SECO	(g)	4226,0
AGUA	(g)	23,0
MASA DEL TARRO	(g)	248,0
MASA DEL SUELO SECO	(g)	3978,0
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0,6

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM², MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CONCHAN

TESISTAS : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF

CONTACTO : 941 351 524

DISEÑOS DE CONCRETO : Fc - 210 Kg/Cm²

CODIGO DE MUESTRA : M-01

TAMAÑO MAX. : 3/8"

MATERIAL : ARENA NATURAL

ESTRUCTURA : DIFERENTES ESTRUCTURAS

REALIZADO POR : D.T.E - R.D.J

APROBADO POR : G.R.R

FECHA DE MUESTREO : 2026-02-15

FECHA DE RECEPCIÓN : 2026-02-16

FECHA DE ENSAYO : 2026-02-17

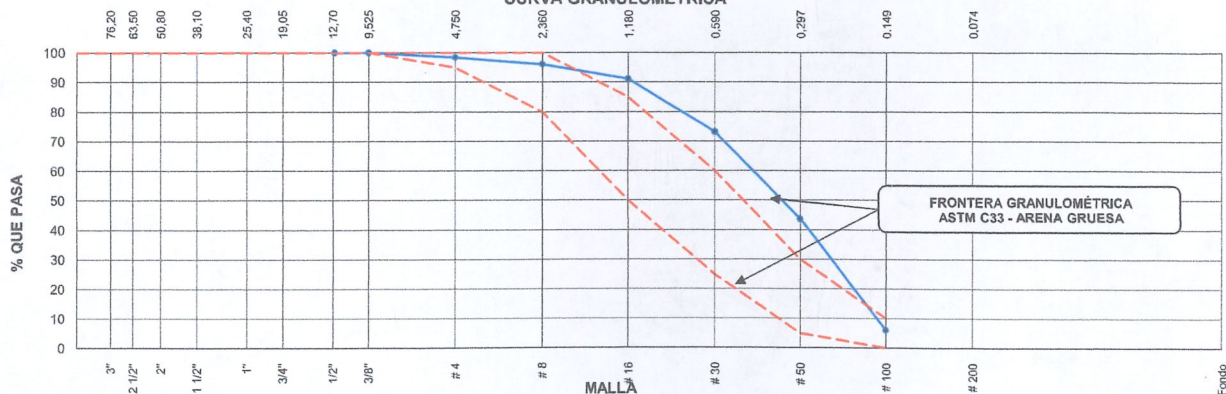
FECHA DE EMISIÓN : 2026-03-03

COORDENADAS : -

AGREGADO FINO ASTM C33/C33M - 18 - ARENA GRUESA

Malla	Masa Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100,00 mm				100,00	100,00
3 1/2"	90,00 mm				100,00	100,00
3"	75,00 mm				100,00	100,00
2 1/2"	63,00 mm				100,00	100,00
2"	50,00 mm				100,00	100,00
1 1/2"	37,50 mm				100,00	100,00
1"	25,00 mm				100,00	100,00
3/4"	19,00 mm				100,00	100,00
1/2"	12,50 mm				100,00	100,00
3/8"	9,50 mm			100,00	100,00	100,00
# 4	4,75 mm	39,7	1,55	98,45	95,00	100,00
# 8	2,36 mm	60,7	2,37	96,07	80,00	100,00
# 16	1,18 mm	124,8	4,88	91,19	50,00	85,00
# 30	600 µm	458,9	17,94	73,25	25,00	60,00
# 50	300 µm	757,2	29,61	43,65	5,00	30,00
# 100	150 µm	960,0	37,54	93,89	0,00	10,00
Fondo	-	156,3	6,11	100,00	-	-
					MF	1,91
					TMN	—

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:



LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 26787



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM², MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CONCHAN

TESISTAS : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF

CONTACTO : 941 351 524

DISEÑOS DE CONCRETO : Fc - 210 Kg/Cm²

CODIGO DE MUESTRA : M-01

TAMAÑO MAX. : 3/8"

MATERIAL : ARENA NATURAL

ESTRUCTURA : DIFERENTES ESTRUCTURAS

REALIZADO POR : D.T.E - R.D.J

APROBADO POR : G.R.R

FECHA DE MUESTREO : 2026-02-15

FECHA DE RECEPCIÓN : 2026-02-16

FECHA DE ENSAYO : 2026-02-18

FECHA DE EMISIÓN : 2026-03-03

COORDENADAS : -

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO) E ÍNDICE DE HUECOS EN LOS ÁRIDOS

ASTM C 29/C 29M - 97

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
MASA DEL MATERIAL + MOLDE	g	6654	6668	6723
MASA DEL MOLDE	g	2538	2538	2538
MASA DEL MATERIAL SUELTO	g	4116	4130	4185
VOLUMEN DE MOLDE	cm ³	2844	2844	2844
MASA UNITARIO SUELTO	g/m ³	1447	1452	1472
PROMEDIO		1.457	g/M ³	

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
MASA DEL MATERIAL + MOLDE	g	6940	6931	6961
MASA DEL MOLDE	g	2538	2538	2538
MASA DEL MATERIAL SUELTO	g	4402	4393	4423
VOLUMEN DE MOLDE	cm ³	2844	2844	2844
MASA UNITARIO SUELTO	g/m ³	1548	1545	1555
PROMEDIO		1.549	g/M ³	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.P. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".		
UBICACIÓN DE LA MUESTRA	:	CANTERA CONCHAN		
TESISTAS	:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	REALIZADO POR :	D.T.E - R.D.J
CONTACTO	:	941 351 524	APROBADO POR:	G.R.R
DISEÑOS DE CONCRETO	:	Fc - 210 Kg/Cm2	FECHA DE MUESTREO:	2026-02-15
CODIGO DE MUESTRA	:	M-01	FECHA DE RECEPCIÓN:	2026-02-16
TAMAÑO MAX.	:	3/8"	FECHA DE ENSAYO:	2026-02-18
MATERIAL	:	ARENA NATURAL	FECHA DE EMISION:	2026-03-03
ESTRUCTURA	:	DIFERENTES ESTRUCTURAS	COORDENADAS:	-

Método Estándar para determinar la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción de Agregado Fino

ASTM C 128 - 15

IDENTIFICACIÓN		1
A	Masa Mat. Sat. Sup. Seca (SSS) (g)	500,00
B	Masa Frasco + agua (g)	1330,00
C	Masa Frasco + agua + muestra SSS (g)	1633,60
D	Masa del Mat. Seco (g)	494,50
Pe Bulk (Base seca) o Peso específico de masa = $D/(B+A-C)$		2,52 2,518
Pe Bulk (Base Saturada) o Peso específico SSS = $A/(B+A-C)$		2,55 2,546
Pe Aparente (Base seca) o Peso específico aparente = $D/(B+D-C)$		2,59 2,590
% Absorción = $100*((A-D)/D)$		1,11 1,112

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$, MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CHUYABAMBA

REALIZADO POR : D.T.E - R.D.J

TESISTAS : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF

APROBADO POR : G.R.R

CONTACTO : 941 351 524

FECHA DE MUESTREO: 2026-02-15

DISEÑOS DE CONCRETO : $F_c - 210 \text{ Kg/CM}^2$

FECHA DE RECEPCIÓN: 2026-02-16

CODIGO DE MUESTRA : M-02

FECHA DE ENSAYO: 2026-02-19

TAMAÑO MAX. : 1 1/2"

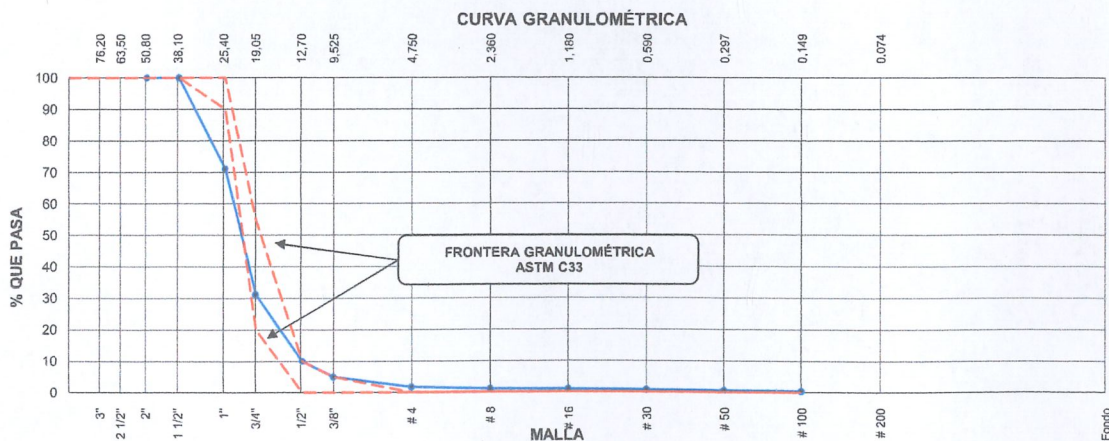
FECHA DE EMISIÓN: 2026-03-03

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA

COORDENADAS: -

ESTRUCTURA : DIFERENTES ESTRUCTURAS

AGREGADO GRUESO ASTM C33/C33M - 18 - HUSO # 5							
Malla		Masa Retenido g	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado que pasa	ASTM "LIM INF"	ASTM "LIM SUP"
4"	100,00 mm	-----	-----	-----	-----	100,00	100,00
3 1/2"	90,00 mm					100,00	100,00
3"	75,00 mm					100,00	100,00
2 1/2"	63,00 mm					100,00	100,00
2"	50,00 mm					100,00	100,00
1 1/2"	37,50 mm	0	0	0	100	100,00	100,00
1"	25,00 mm	11301	29	29	71	90,00	100,00
3/4"	19,00 mm	15653	40	69	31	20,00	55,00
1/2"	12,50 mm	8338	21	90	10	0,00	10,00
3/8"	9,50 mm	1964	5	95	5	0,00	5,00
# 4	4,75 mm	1282	3	98	2	0,00	0,00
# 8	2,36 mm	227	0,58	98,91	1,09	0,00	0,00
# 16	1,18 mm	74,00	0,19	99,09	0,91	0,00	0,00
# 30	600 μm	66,00	0,17	99,26	0,74	0,00	0,00
# 50	300 μm	49,00	0,13	99,39	0,61	0,00	0,00
# 100	150 μm	86,00	0,22	99,61	0,39	0,00	0,00
Fondo	-	154,00	0,39	100,00	0,00	-	-
						MF	7,61
						TMN	1"



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:



LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.I.F. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO : "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM², MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".

UBICACIÓN DE LA MUESTRA : CANTERA CHUYABAMBA

TESISTAS : DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF

CONTACTO : 941 351 524

DISEÑOS DE CONCRETO : Fc - 210 Kg/Cm²

CODIGO DE MUESTRA : M-02

TAMAÑO MAX. : 1 1/2"

MATERIAL : PIEDRA CHANCADA

ESTRUCTURA : DIFERENTES ESTRUCTURAS

REALIZADO POR : D.T.E - R.D.J

APROBADO POR : G.R.R

FECHA DE MUESTREO : 2026-02-15

FECHA DE RECEPCIÓN : 2026-02-16

FECHA DE ENSAYO : 2026-02-20

FECHA DE EMISIÓN : 2026-03-03

COORDENADAS : -

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD APARENTE (PESO UNITARIO) E ÍNDICE DE HUECOS EN LOS ÁRIDOS

ASTM C 29/C 29M - 97

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
MASA DEL MATERIAL + MOLDE	g	26590	26686	26560
MASA DEL MOLDE	g	6624	6624	6624
MASA DEL MATERIAL SUELTO	g	19966	20062	19936
VOLUMEN DE MOLDE	cm ³	14022	14022	14022
MASA UNITARIO SUELTO	g/m ³	1,424	1,431	1,422
PROMEDIO		1,425 g/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO GRUESO

DESCRIPCION	UND.	ENSAYOS		
NUMERO DE ENSAYOS		01	02	03
MASA DEL MATERIAL + MOLDE	g	28350	28546	28362
MASA DEL MOLDE	g	6624	6624	6624
MASA DEL MATERIAL SUELTO	g	21726	21922	21738
VOLUMEN DE MOLDE	cm ³	14022	14022	14022
MASA UNITARIO SUELTO	g/m ³	1549	1563	1550
PROMEDIO		1.554 g/m ³		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".		
UBICACIÓN DE LA MUESTRA	:	CANTERA CHUYABAMBA		
TESISTAS	:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	REALIZADO POR :	D.T.E - R.D.J
CONTACTO	:	941 351 524	APROBADO POR:	G.R.R
DISEÑOS DE CONCRETO	:	Fc - 210 Kg/Cm ²	FECHA DE MUESTREO:	2026-02-15
CODIGO DE MUESTRA	:	M-02	FECHA DE RECEPCIÓN:	2026-02-16
TAMAÑO MAX.	:	1 1/2"	FECHA DE ENSAYO:	2026-02-20
MATERIAL	:	PIEDRA CHANCADA	FECHA DE EMISION:	2026-03-03
ESTRUCTURA	:	DIFERENTES ESTRUCTURAS	COORDENADAS:	-

Método Estándar para determinar la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción de Agregado Grueso

ASTM C 127 - 15

DATOS		A
1	Masa de la muestra sss (g)	4171,0
2	Masa de la muestra sss sumergida (g)	2612,2
3	Masa de la muestra secada al horno (g)	4139,7

RESULTADOS		1	RESULTADOS
MASA ESPECIFICO DE MASA	(g)	2,656	2,656
MASA ESPECIFICO DE MASA S.S.S	(g)	2,676	2,676
MASA ESPECIFICO APARENTE	(g)	2,710	2,710
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	(%)	0,8	0,76

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Ceremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

IE-2026-01

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

DATOS DE PROYECTO

PROYECTO	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM², MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA".		
UBICACIÓN DE LA MUESTRA	CANTERA CHUYABAMBA		
TESISTAS	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	REALIZADO POR :	D.T.E - R.D.J
CONTACTO	941 351 524	APROBADO POR:	G.R.R
DISEÑOS DE CONCRETO	Fc - 210 Kg/Cm2	FECHA DE MUESTREO:	2026-02-15
CODIGO DE MUESTRA	M-02	FECHA DE RECEPCIÓN:	2026-02-16
TAMAÑO MAX.	1 1/2"	FECHA DE ENSAYO:	2026-02-21
MATERIAL	PIEDRA CHANCADA	FECHA DE EMISION:	2026-03-03
ESTRUCTURA	DIFERENTES ESTRUCTURAS	COORDENADAS:	-

RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO DE PEQUEÑO TAMAÑO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA LOS ÁNGELES

ASTM C 131 / C131 M -20

TAMIZ PASA - RETIENE	GRADACIÓN			
	"A"	B	C	D
1 1/2" - 1"	1250			
1" - 3/4"	1250			
3/4" - 1/2"	1250			
1/2" - 3/8"	1250			
3/8" - 1/4"	-----			
1/4" - N° 4				
N° 4 - N° 8				
PESO TOTAL	5.000			
MATERIAL RETENIDO TAMIZ N° 12	3.699			
MATERIAL PASA TAMIZ N° 12	1.301			
N° DE ESFERAS	12			
MASA DE LAS ESFERAS (g)	5000 ± 25			
PORCENTAJE DE DESGASTE	26,0			

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, POSTERIORMENTE TRANSPORTADAS A LABORATORIO GSE

Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

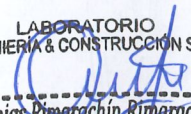
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO

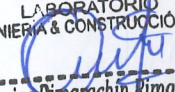


DISEÑO PATRON

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$TP = 140 \text{ mm}$$

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Kimarachin Kimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

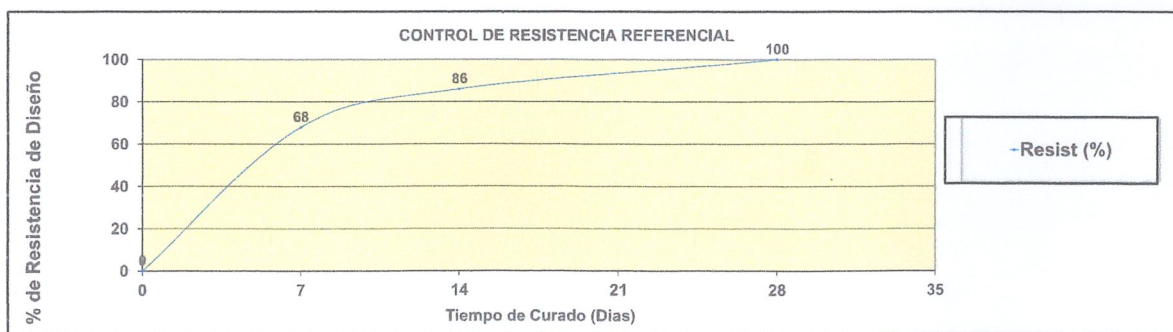
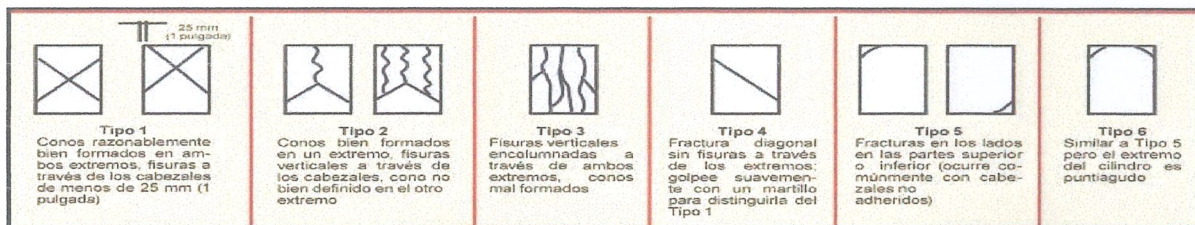
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'c = 210$ KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-17
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-17

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL					TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg/cm ²						
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DÍAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)								
MP-01	DISEÑO PATRON F'c = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,84	306,57	12554	2	424,60	43296	18346	236	210	112,4%
MP-02	DISEÑO PATRON F'c = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	153,67	306,57	13034	5	386,23	39384	18546	212	210	101,1%
MP-03	DISEÑO PATRON F'c = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,61	306,48	12865	2	417,45	42567	18291	233	210	110,8%
MP-04	DISEÑO PATRON F'c = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,37	305,39	12216	2	385,15	39274	18234	215	210	102,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

Ceremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

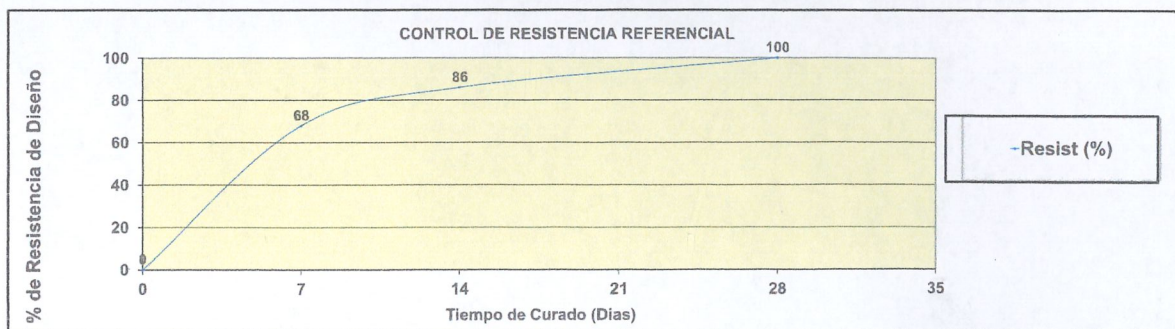
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-01
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-01

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kg/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg/cm ²	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
MP-05	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	149,03	301,50	12210	2	454,17	46312	17444	265	210	126,4%
MP-06	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	153,47	301,50	12989	5	463,40	47253	18499	255	210	121,6%
MP-07	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	152,98	303,05	12867	5	449,76	45862	18381	250	210	118,8%
MP-08	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	152,27	304,87	12859	5	450,22	45909	18210	252	210	120,0%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

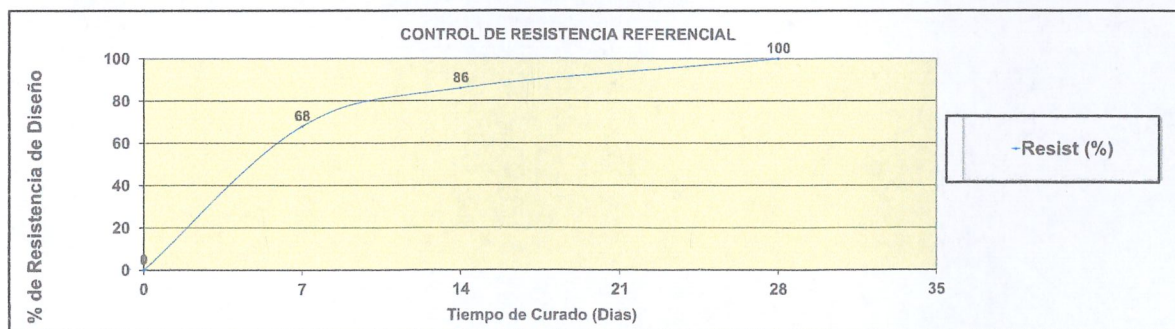
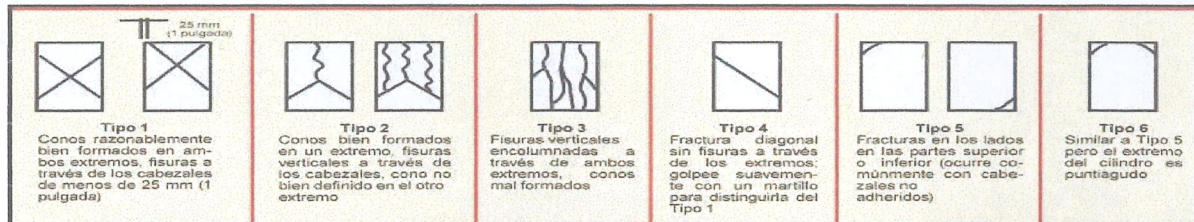
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-31
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-31

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (KG)	ÁREA (mm²)	RESISTENCIA Kgf/Cm²	f'c (Kgf/cm²)	f'c
					(mm)	(mm)								(Kg)
MP-09	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,90	302,99	12645	5	484,06	49360	18361	269	210	128,0%
MP-10	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	149,02	302,99	12046	4	499,36	50920	17441	292	210	139,0%
MP-11	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,42	305,45	12823	5	483,15	49267	18246	270	210	128,6%
MP-12	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	149,37	298,98	12019	2	486,88	49647	17523	283	210	134,9%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

Ceremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.P. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO



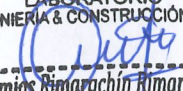
DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\% \text{ FILLER}$

CALIZO

TP = 140 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

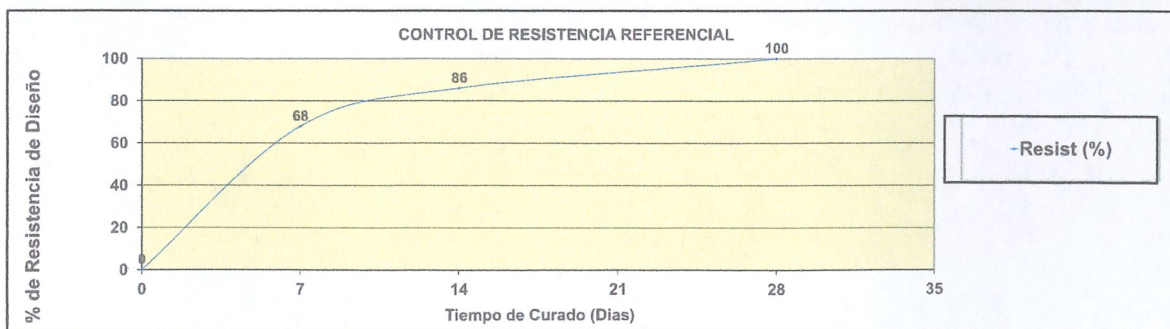
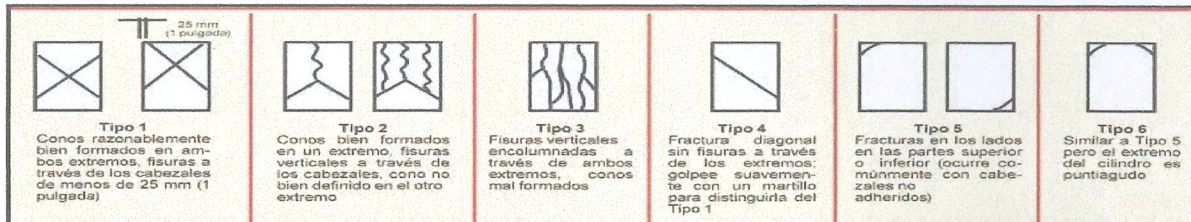
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $f'c = 210$ KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-17
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-17

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL					TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm ²						
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/Cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)								
G1-01	DISEÑO F'c = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	153,77	309,27	13120	5	401,63	40954	18570	221	210	105,0%
G1-02	DISEÑO F'c = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	151,05	309,27	12481	2	413,24	42138	17919	235	210	112,0%
G1-03	DISEÑO F'c = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,72	307,15	12929	5	413,41	42155	18317	230	210	109,6%
G1-04	DISEÑO F'c = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,60	305,42	12876	2	386,85	39447	18288	216	210	102,7%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 287870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

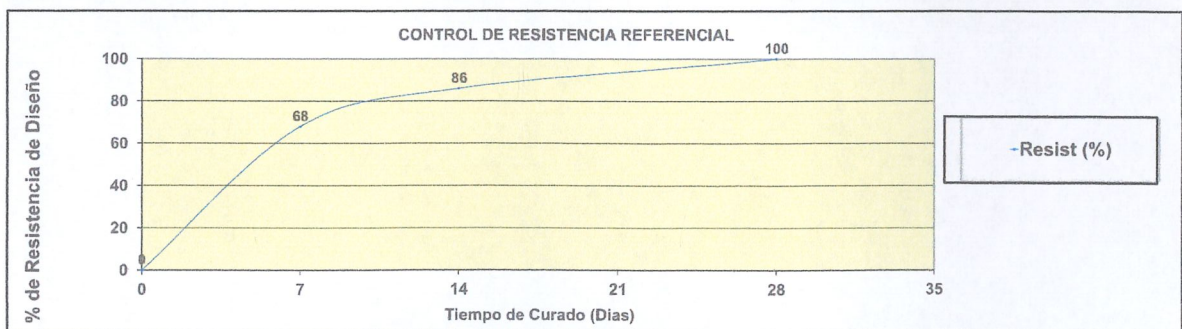
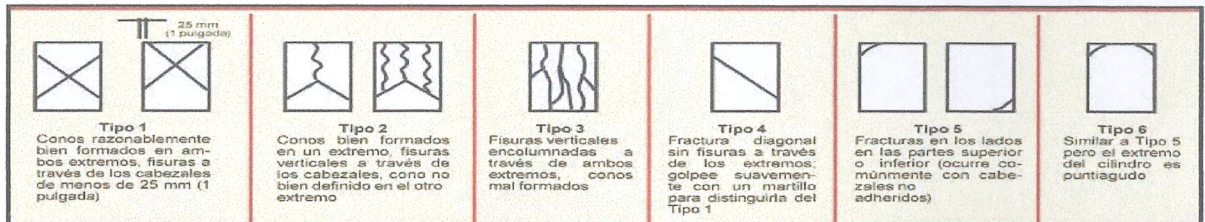
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'c = 210$ KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-01
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-01

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL					TIPO DE MEZCLA		$F'c - 210 \text{ Kg/cm}^2$						
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	$f'c$ (Kg/cm ²)	$f'c$
					(mm)	(mm)	(Kg)		(KN)	(Kg)	(mm ²)	Kgf/Cm ²		(%)
G1-05	DISEÑO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\%$ FILLER CALIZO TP= 140 μm	2026-03-18	14	2026-04-01	152,88	306,04	13092	5	418,06	42630	18357	232	210	110,6%
G1-06	DISEÑO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\%$ FILLER CALIZO TP= 140 μm	2026-03-18	14	2026-04-01	152,23	306,04	12907	5	441,82	45052	18201	248	210	117,9%
G1-07	DISEÑO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\%$ FILLER CALIZO TP= 140 μm	2026-03-18	14	2026-04-01	153,11	304,79	12906	2	446,12	45491	18413	247	210	117,6%
G1-08	DISEÑO $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\%$ FILLER CALIZO TP= 140 μm	2026-03-18	14	2026-04-01	149,43	299,98	12176	5	436,21	44480	17538	254	210	120,8%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

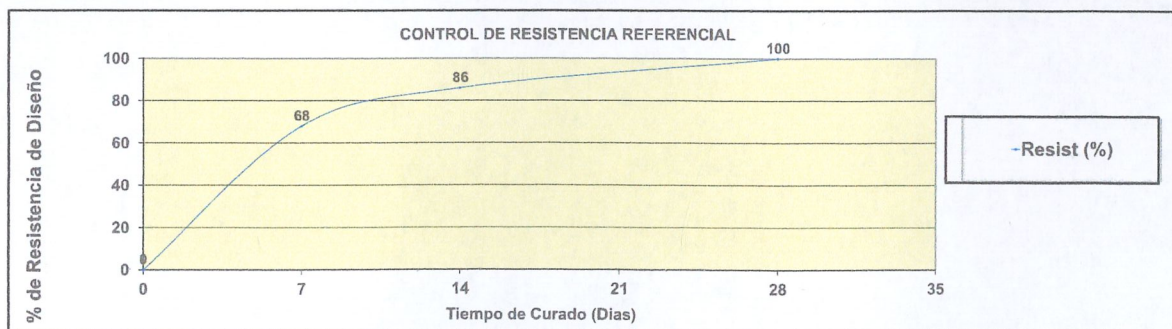
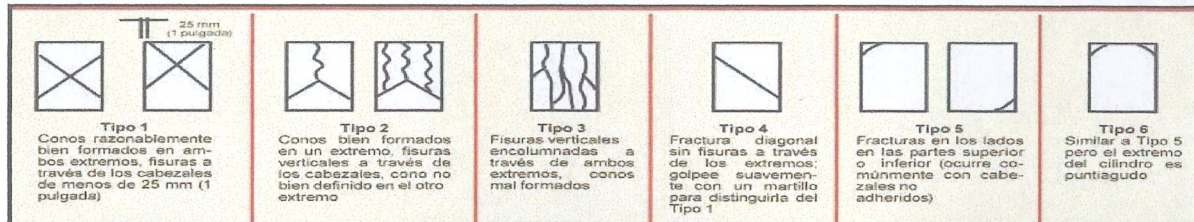
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-31
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-31

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (**)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	F'c (Kgf/cm²)	f'c
					(mm)	(mm)			(Kg)	(KN)	(Kg)	(mm²)		
G1-09	DISEÑO F'c = 210 kg/cm² + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	148,98	300,58	12794	2	459,76	46882	17432	269	210	128,1%
G1-10	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	151,76	300,58	12076	2	489,22	49886	18089	276	210	131,3%
G1-11	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,69	303,55	12174	3	488,84	49847	18310	272	210	129,6%
G1-12	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	149,93	300,54	12936	5	484,14	49368	17654	280	210	133,2%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO



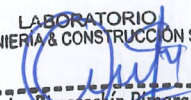
DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 8\% \text{ FILLER}$

CALIZO

TP = 140 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremías Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

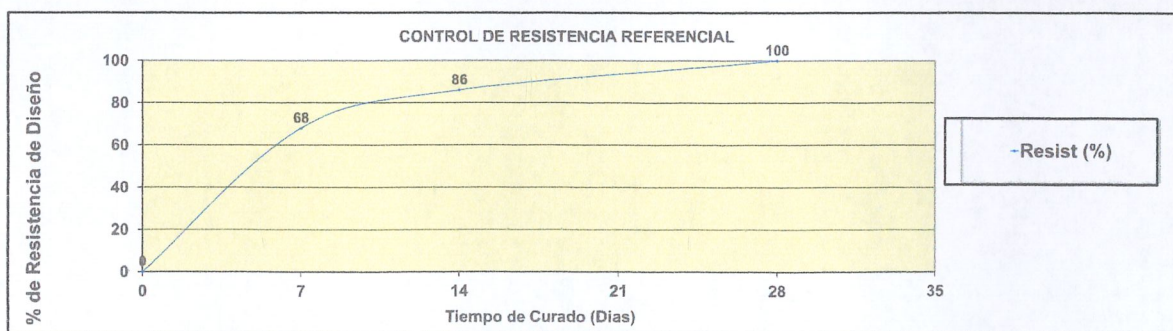
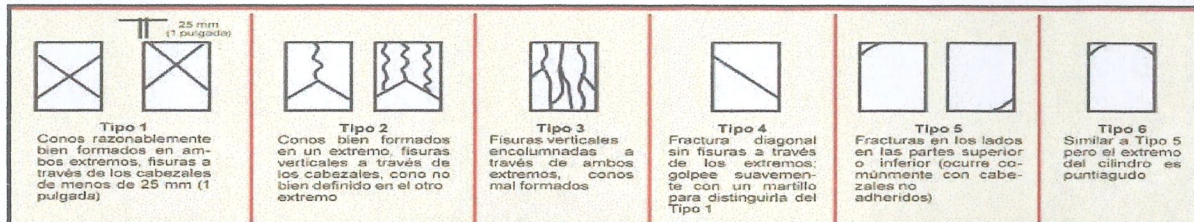
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-17
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-17

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DÍAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)			(Kg)	(KN)	(Kg)	(mm ²)		
G2-01	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	148,68	304,06	12255	2	376,15	38356	17361	221	210	105,2%
G2-02	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,77	304,06	12877	5	343,41	35018	18330	191	210	91,0%
G2-03	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,61	307,75	12961	2	362,74	36989	18291	202	210	96,3%
G2-04	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLFR CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	149,06	303,46	12226	5	373,31	38066	17451	218	210	103,9%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

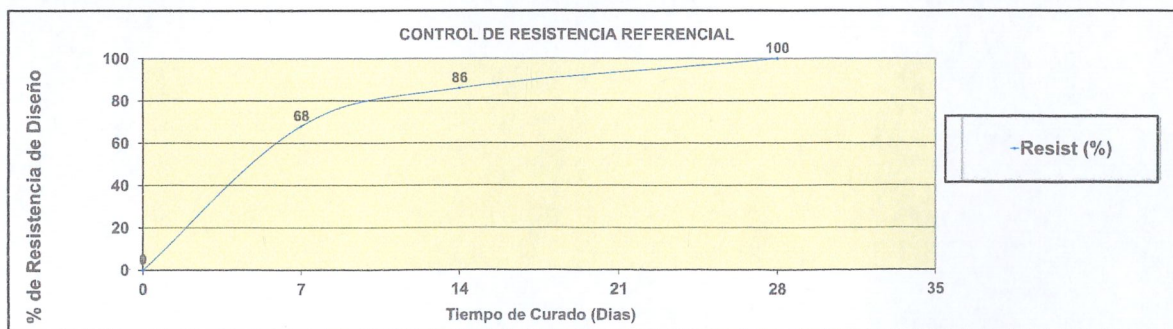
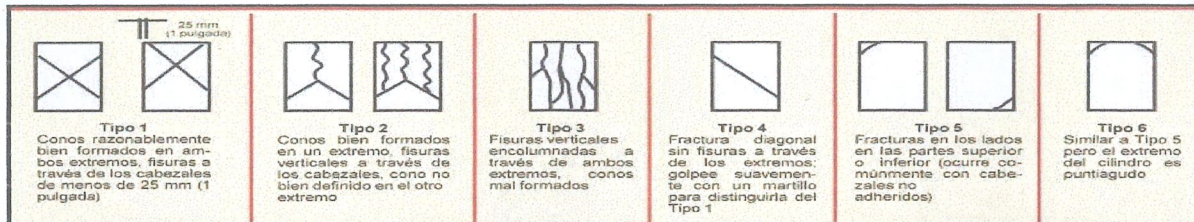
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-01
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-01

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm²)	RESISTENCIA Kgf/Cm²	f'c (Kgf/cm²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)								
G2-05	DISEÑO F'C = 210 kg/cm² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	148,81	300,63	12083	5	424,27	43263	17391	249	210	118,5%
G2-06	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	150,49	300,63	12406	2	418,14	42638	17787	240	210	114,1%
G2-07	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	149,00	302,15	12174	3	417,00	42521	17436	244	210	116,1%
G2-08	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	150,55	301,87	12260	2	389,47	39714	17802	223	210	106,2%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremías Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

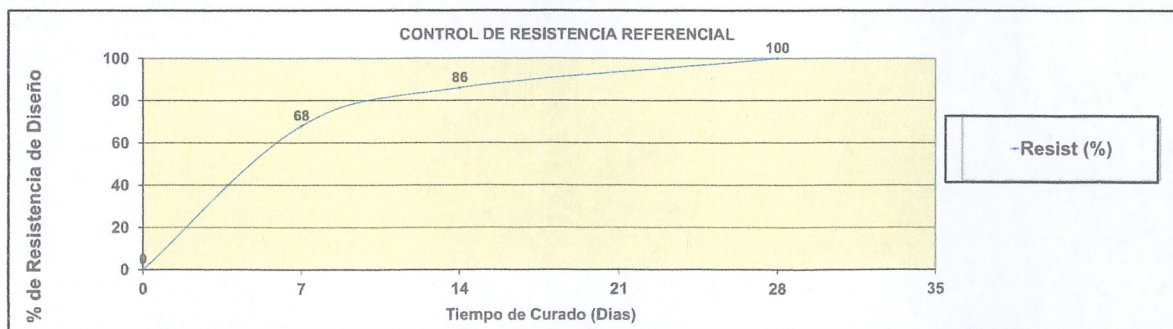
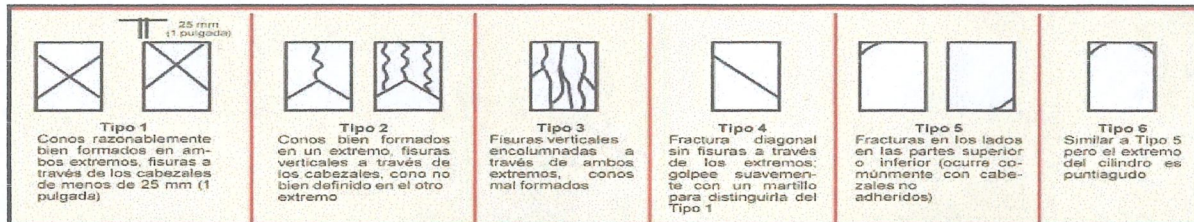
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-31
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-31

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kgf/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/Cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	
													f'c (%)	
G2-09	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	149,54	301,66	12369	3	500,08	50993	17564	290	210	138,3%
G2-10	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	153,28	301,66	13039	4	503,08	51299	18453	278	210	132,4%
G2-11	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,37	306,10	12979	2	521,16	53143	18233	291	210	138,8%
G2-12	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,70	304,19	12900	4	503,82	51375	18314	281	210	133,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267670

FIN DE DOCUMENTO

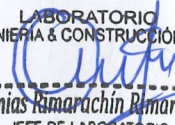


DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 12\% \text{ FILLER}$
CALIZO

TP = 140 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Ramarachin Ramarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.F. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

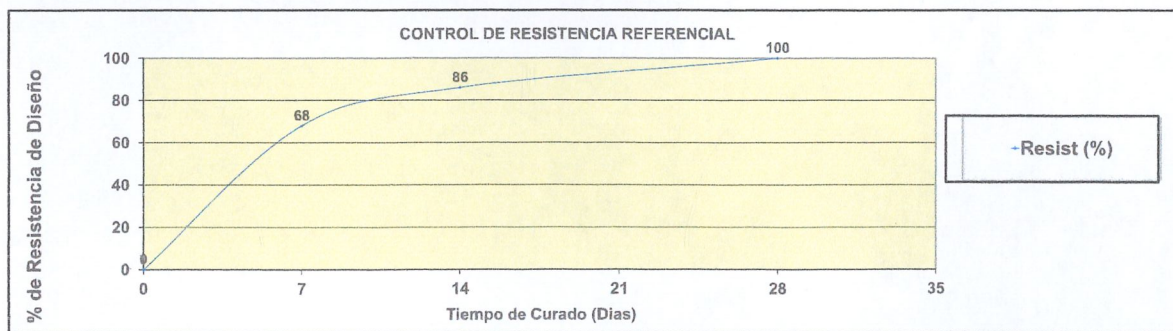
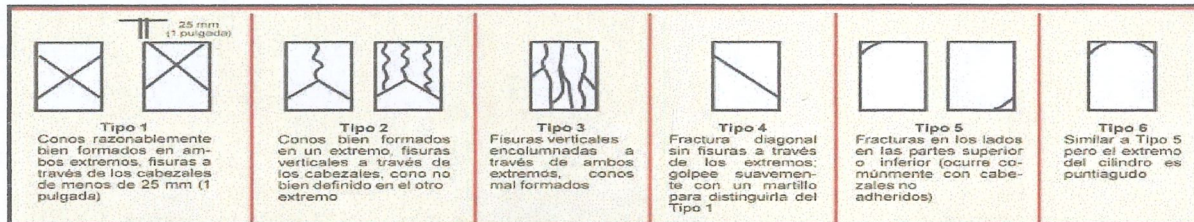
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-17
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-17

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kg/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg/cm ²	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
G3-01	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	149,41	303,28	12070	5	291,78	29753	17533	170	210	80,8%
G3-02	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	152,56	303,28	12903	5	279,71	28522	18280	156	210	74,3%
G3-03	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	149,61	303,94	12261	5	280,98	28652	17579	163	210	77,6%
G3-04	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-10	7	2026-03-17	149,36	304,10	12273	2	295,66	30148	17521	172	210	81,9%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

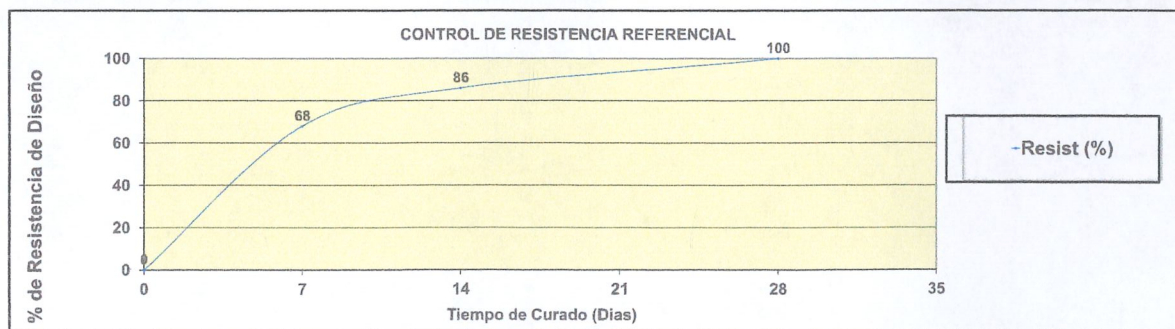
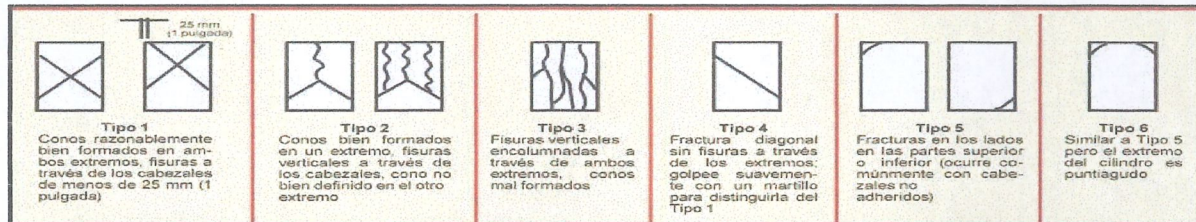
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR Y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-01
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-01

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kgf/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	f'c (%)
G3-05	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	152,56	304,65	12795	5	331,78	33832	18279	185	210	88,1%
G3-06	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	153,15	304,65	12906	5	342,78	34953	18421	190	210	90,4%
G3-07	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	150,69	301,70	12359	5	322,00	32834	17834	184	210	87,7%
G3-08	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-18	14	2026-04-01	151,73	303,93	12751	5	315,66	32188	18082	178	210	84,8%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin-Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

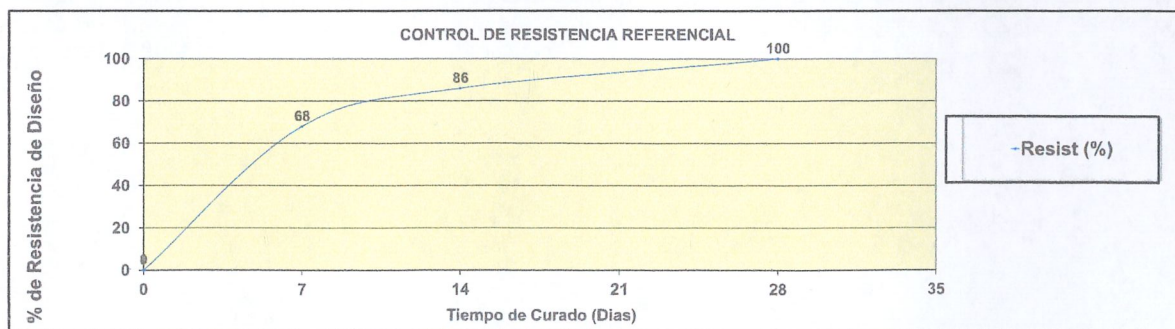
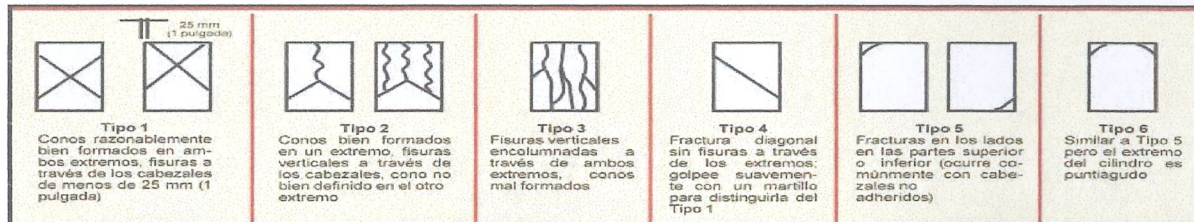
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-31
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-31

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kgf/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/Cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	f'c (%)
G3-09	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,65	305,61	12898	5	433,95	44250	18302	242	210	115,1%
G3-10	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	148,71	305,61	12041	2	434,68	44324	17370	255	210	121,5%
G3-11	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	152,74	305,56	12719	3	436,18	44477	18324	243	210	115,6%
G3-12	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 140 um	2026-03-03	28	2026-03-31	150,96	302,27	12458	3	413,85	42200	17898	236	210	112,3%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO

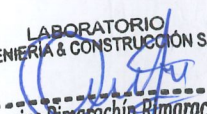


DISEÑO PATRON

$$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$TP = 200 \text{ mm}$$

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremías Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

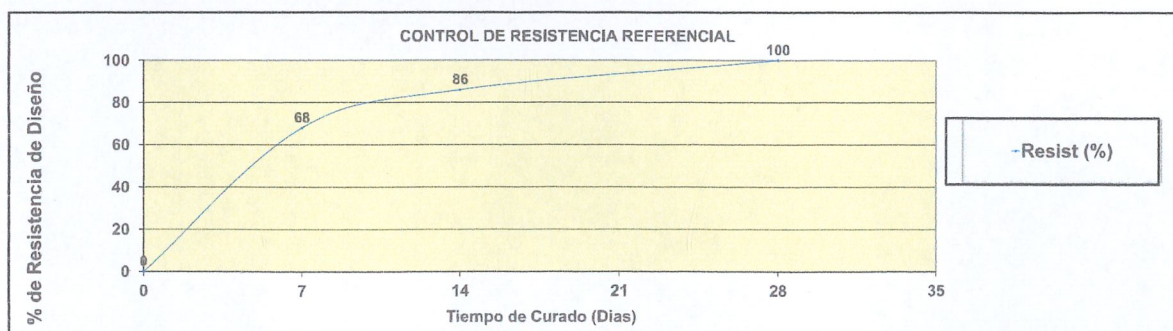
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'c = 210$ KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-19
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-19

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		$F'c - 210 \text{ Kg/cm}^2$					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg/cm ²	$f'c$ (Kg/cm ²)	
													$f'c$ (%)	
MP-01	DISEÑO PATRON $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,11	305,08	12888	2	425,43	43381	18172	239	210	113,7%
MP-02	DISEÑO PATRON $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,86	305,08	12828	5	406,26	41426	18351	226	210	107,5%
MP-03	DISEÑO PATRON $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	151,37	302,58	12485	2	396,87	40469	17996	225	210	107,1%
MP-04	DISEÑO PATRON $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	149,48	301,56	12258	3	415,79	42398	17550	242	210	115,0%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

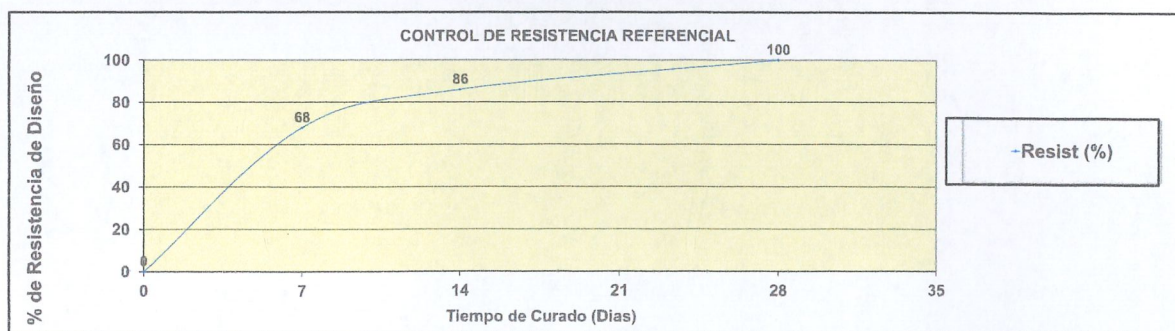
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-03
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-03

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kgf/cm²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)			(Kg)	(KN)	(Kg)	(mm²)		
MP-05	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	148,78	300,37	12150	2	451,63	46053	17385	265	210	126,1%
MP-06	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	150,81	300,37	12325	3	452,06	46097	17864	258	210	122,9%
MP-07	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	149,38	299,36	12137	3	429,51	43797	17525	250	210	119,0%
MP-08	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm2 TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	148,86	299,33	12067	2	464,32	47347	17403	272	210	129,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

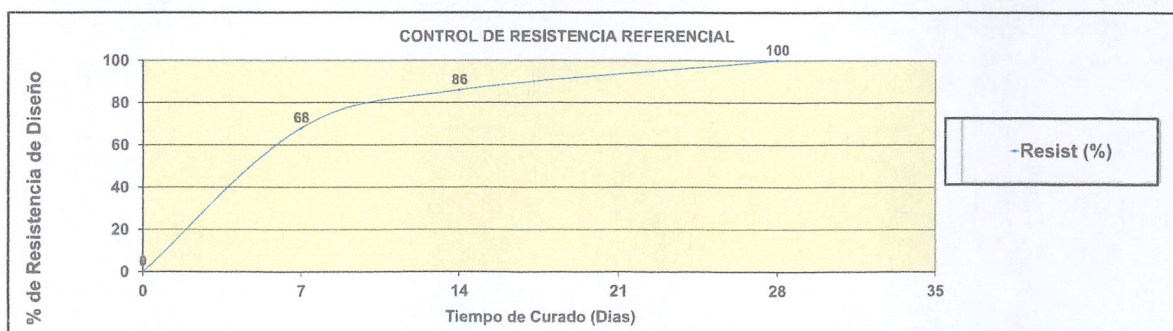
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR Y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-02
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-02

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kgf/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DÍAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/Cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	
													f'c (%)	
MP-09	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,99	306,19	12952	2	496,79	50658	18382	276	210	131,2%
MP-10	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,77	306,19	12942	2	491,21	50089	18331	273	210	130,1%
MP-11	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	153,12	303,73	12855	5	499,25	50909	18414	276	210	131,6%
MP-12	DISEÑO PATRON F'C = 210 kg/cm ² TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	149,10	299,94	12199	3	483,13	49265	17459	282	210	134,4%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachín Rimarachín
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.P. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO

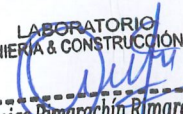


DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 4\% \text{ FILLER}$
CALIZO

TP = 200 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

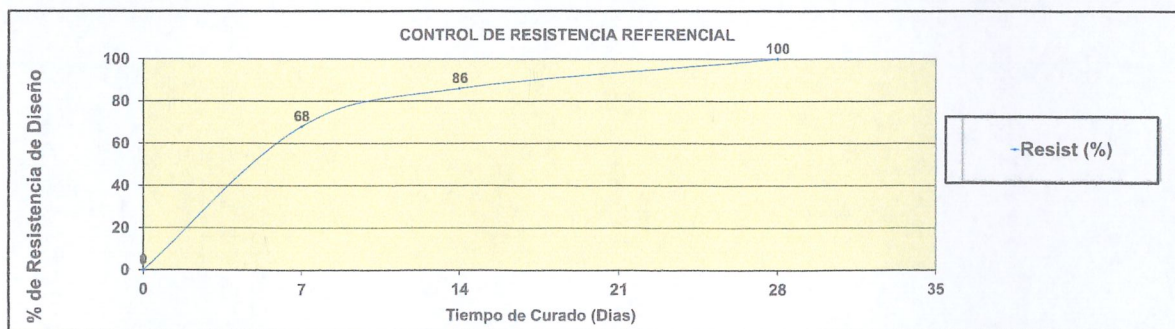
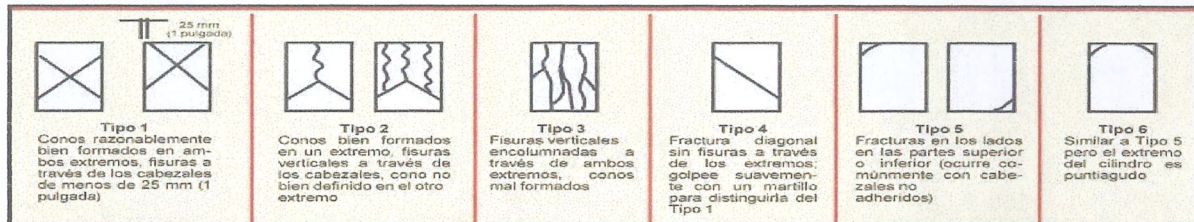
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-19
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-19

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg ^f /cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg ^f /Cm ²	f'c (Kg ^f /cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)								
G1-01	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	153,17	305,64	12910	5	363,20	37036	18427	201	210	95,7%
G1-02	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,88	305,64	12933	5	411,61	41972	18356	229	210	108,9%
G1-03	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,95	307,48	12987	5	399,12	40698	18373	222	210	105,5%
G1-04	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLFR CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,35	306,63	12918	5	379,56	38704	18230	212	210	101,1%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

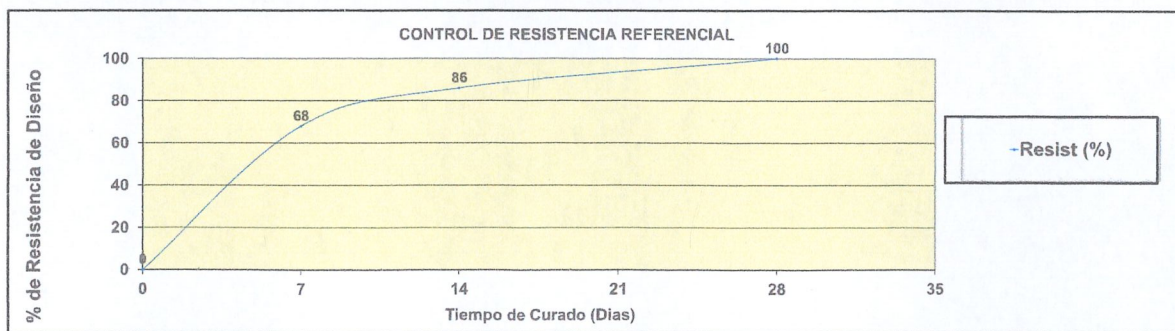
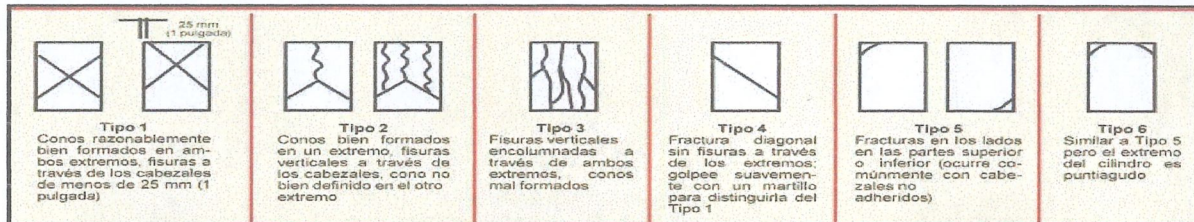
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-03
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-03

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kgf/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DÍAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kgf/Cm ²	f'c (Kgf/cm ²)	
													f'c (%)	
G1-05	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	152,65	305,28	12904	2	420,77	42906	18301	234	210	111,6%
G1-06	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	152,66	305,28	12861	2	439,60	44826	18303	245	210	116,6%
G1-07	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	150,36	300,90	12399	5	421,03	42932	17756	242	210	115,1%
G1-08	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	150,69	301,69	12468	5	417,48	42570	17834	239	210	113,7%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE
LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. C.P. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

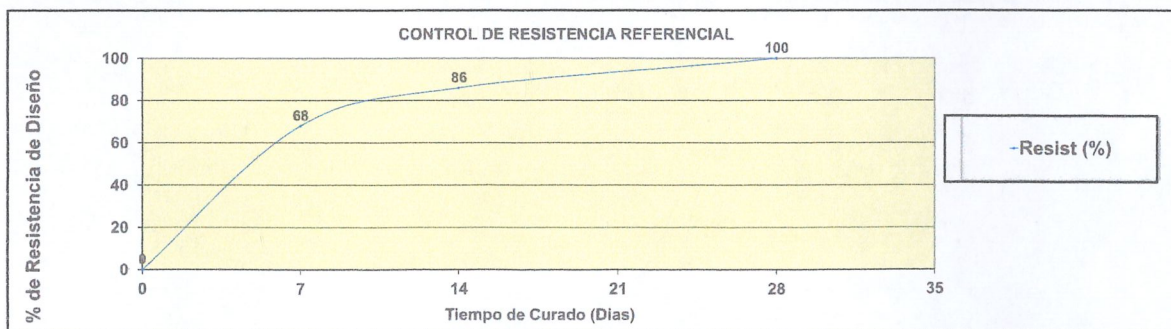
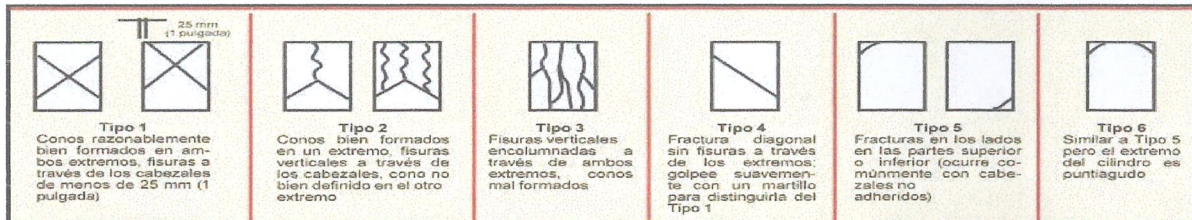
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-02
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-02

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg ^f /cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kg ^f /cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)	(Kg)		(KN)	(Kg)	(mm ²)	Kg ^f /Cm ²		
G1-09	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,22	305,95	12794	2	457,06	46606	18198	256	210	122,0%
G1-10	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	149,12	305,95	12076	2	463,71	47285	17465	271	210	128,9%
G1-11	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	148,85	302,24	12174	5	435,84	44443	17402	255	210	121,6%
G1-12	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 4% FILLFR CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,72	307,17	12936	5	473,71	48304	18317	264	210	125,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CH. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO



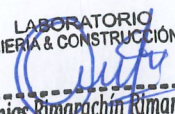
DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 8\% \text{ FILLER}$

CALIZO

TP = 200 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG./CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

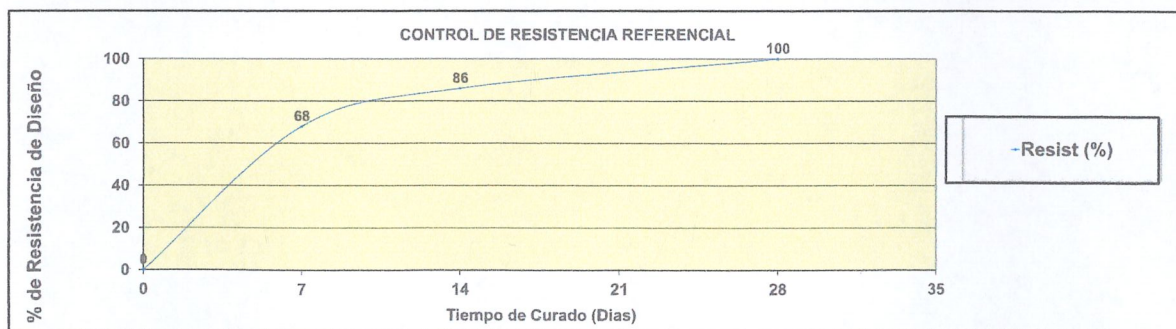
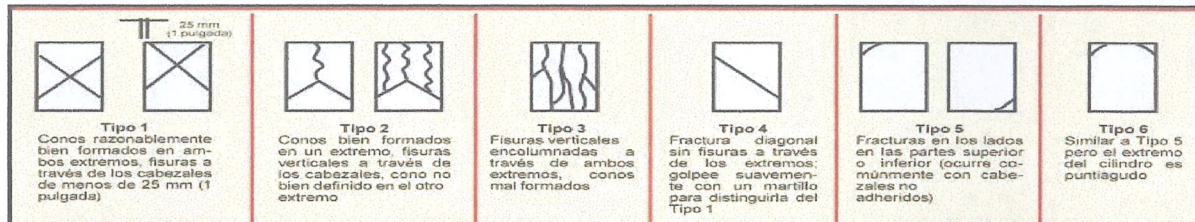
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-19
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-19

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kg/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO (mm)	ALTURA (mm)	MASA (Kg)	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg/cm ²	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
G2-01	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	149,50	301,10	12075	5	376,64	38406	17554	219	210	104,2%
G2-02	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	149,22	301,10	12110	2	384,19	39176	17489	224	210	106,7%
G2-03	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	151,78	307,11	12901	2	379,87	38735	18094	214	210	101,9%
G2-04	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,56	308,53	13079	2	354,09	36107	18281	198	210	94,1%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremías Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

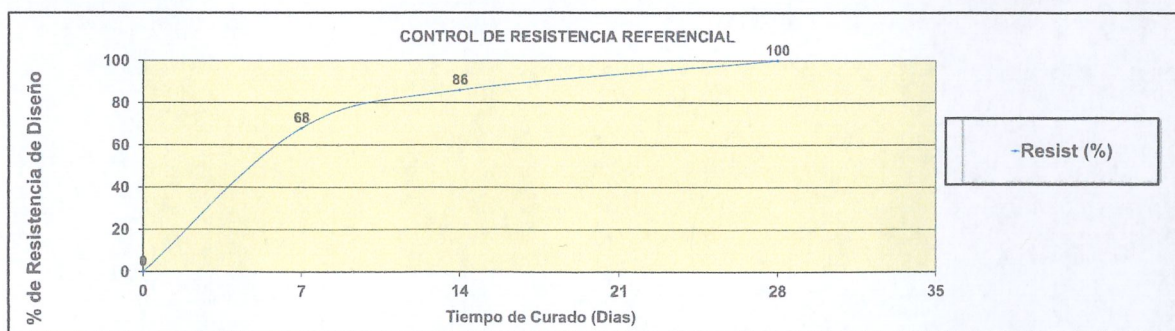
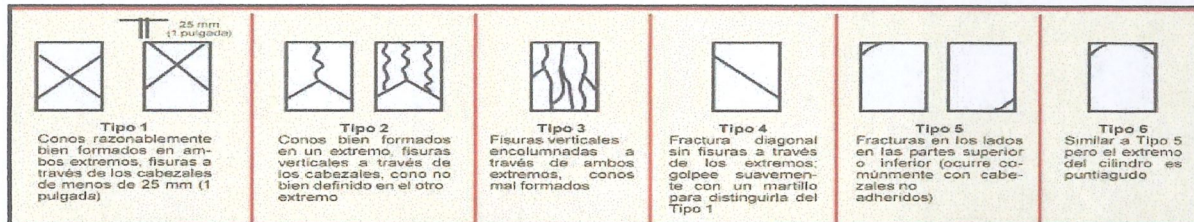
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO $F'c = 210$ KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-03
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-03

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg $\bar{f}$ /cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kg $\bar{f}$ /cm ²)	f'c
					(mm)	(mm)								(Kg)
G2-05	DISEÑO F'c = 210 kg/cm ² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 μ m	2026-03-20	14	2026-04-03	153,25	305,70	12897	5	435,77	44435	18446	241	210	114,7%
G2-06	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 μ m	2026-03-20	14	2026-04-03	152,37	305,70	12804	2	412,94	42107	18233	231	210	110,0%
G2-07	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 μ m	2026-03-20	14	2026-04-03	148,82	301,42	12076	3	404,90	41288	17394	237	210	113,0%
G2-08	DISEÑO F'c = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 μ m	2026-03-20	14	2026-04-03	152,58	301,81	12819	2	419,99	42826	18285	234	210	111,5%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

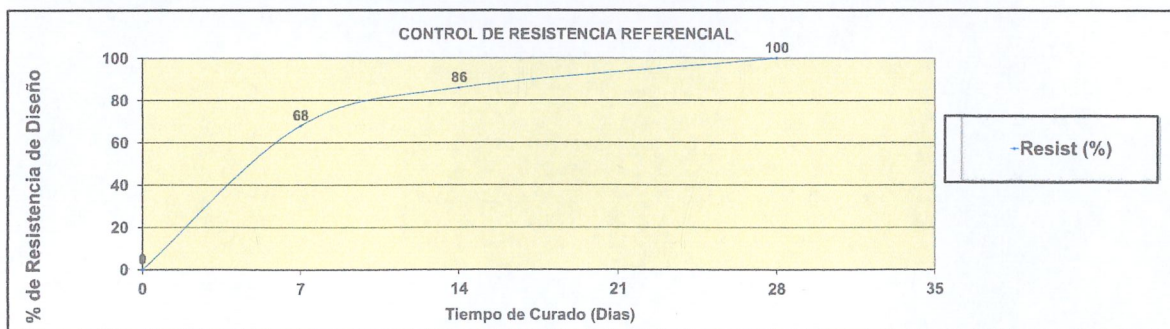
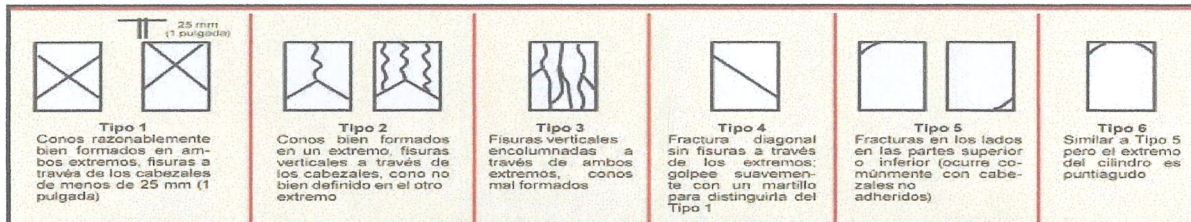
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-02
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-02

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kg/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kg/cm²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)			(Kg)	(KN)	(Kg)	(mm²)		
G2-09	DISEÑO F'C = 210 kg/cm² + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,49	309,01	12944	5	459,05	46809	18263	256	210	122,1%
G2-10	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,60	309,01	12917	5	496,19	50596	18289	277	210	131,7%
G2-11	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	150,78	303,64	12421	2	461,73	47083	17857	264	210	125,6%
G2-12	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 8% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,63	305,97	12908	5	467,45	47666	18296	261	210	124,1%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

GSE LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870

FIN DE DOCUMENTO

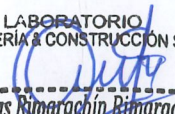


DISEÑO

$F'C = 210 \text{ kg/cm}^2 + 12\% \text{ FILLER}$
CALIZO

TP = 200 mm

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

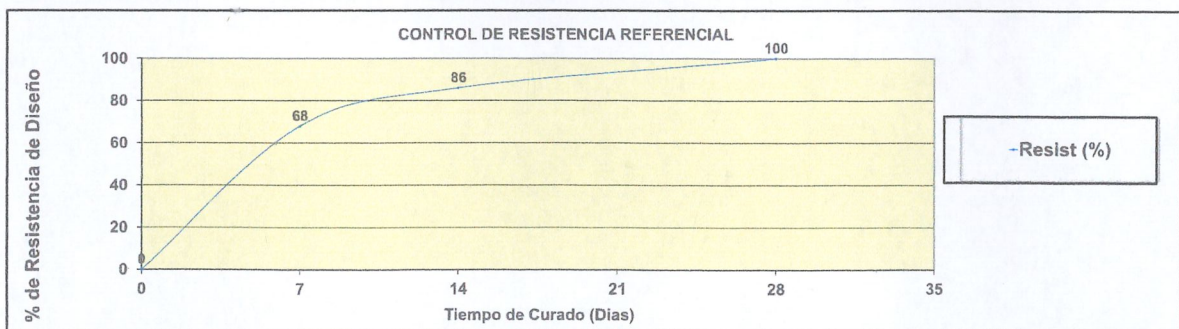
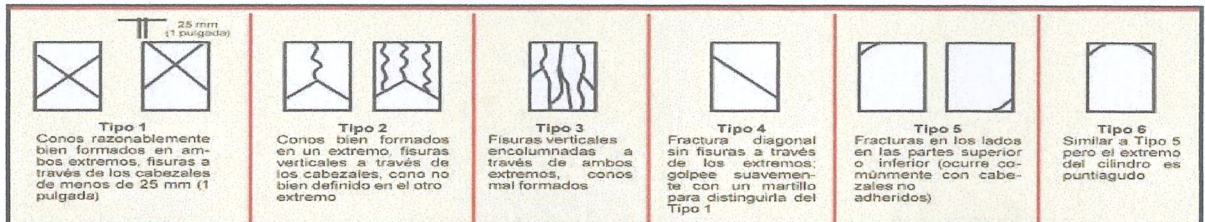
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR Y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-03-19
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-03-19

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kg/cm ²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DÍAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA	CARGA	ÁREA	RESISTENCIA	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)			(KN)	(Kg)	(mm ²)	Kgf/cm ²		
G3-01	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	150,64	302,27	12411	2	302,85	30882	17823	173	210	82,5%
G3-02	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	150,65	302,27	12399	2	352,81	35976	17824	202	210	96,1%
G3-03	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	152,83	304,88	12931	5	375,22	38261	18345	209	210	99,3%
G3-04	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-12	7	2026-03-19	148,40	301,51	12124	6	344,04	35082	17296	203	210	96,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC

Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CH. N° 267870



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

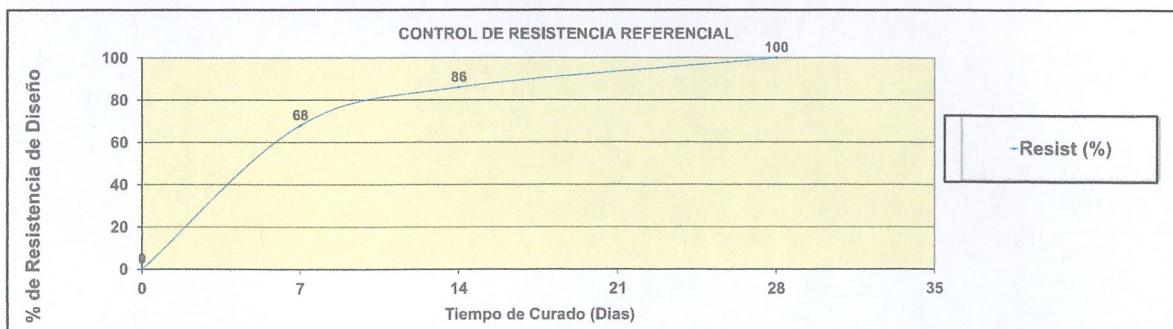
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-03
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-03

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL						TIPO DE MEZCLA		F'c - 210 Kgf/cm²					
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm²)	RESISTENCIA Kgf/Cm²	f'c (Kgf/cm²)	f'c
					(mm)	(mm)								(Kg)
G3-05	DISEÑO F'C = 210 kg/cm² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	146,97	300,34	12842	2	356,56	36358	16966	214	210	102,1%
G3-06	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	147,76	300,34	12829	5	368,81	37608	17148	219	210	104,4%
G3-07	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	147,88	298,62	12829	3	397,62	40545	17175	236	210	112,4%
G3-08	DISEÑO F'C = 210 kg/cm2 + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-20	14	2026-04-03	146,52	299,41	12801	5	377,18	38461	16861	228	210	108,6%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC
GSE
Geremias Rimarachin Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CIP N° 267970



INFORME DE ENSAYO

"GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCION SAC" - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS DE CONCRETO CILÍNDRICO

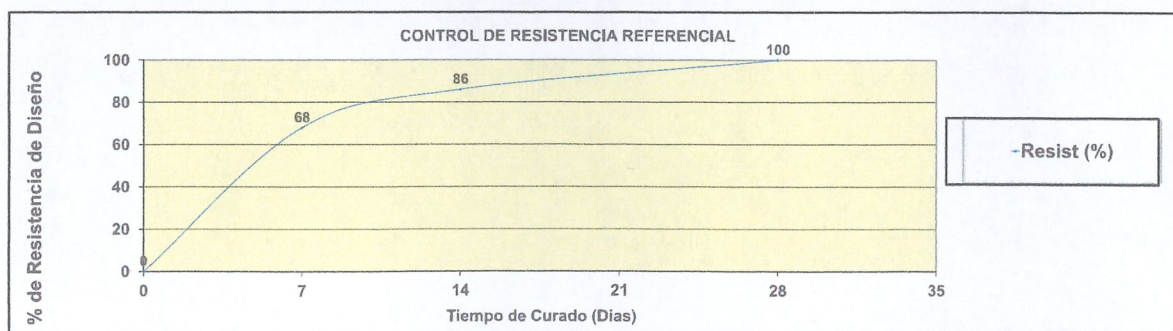
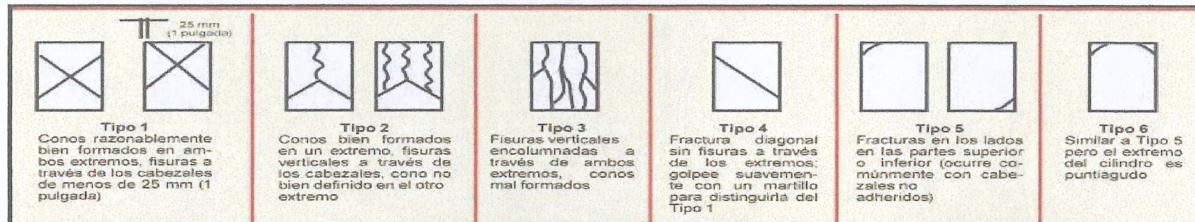
ASTM C39M - 24

SOLICITANTE:	DÍAZ TORRES, EDWIN OMAR Y RIMARACHÍN DELGADO, JÓLIBERT JUSSEF	PROYECTO:	"EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO F'C = 210 KG/CM ² , MEDIANTE SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR FILLER CALIZO, CHOTA"	Fecha de Recepción:	2026-04-02
CONTACTO:	CEL: 941 351 524			Fecha de Emisión:	2026-04-02

CODIGO DE MUESTRA	CONCRETO CONVENCIONAL					TIPO DE MEZCLA		F'C - 210 Kg/cm ²						
	ELEMENTO - ESTRUCTURA (*)	FECHA DE MUESTREO (*)	DIAS (*)	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO	ALTURA	MASA	TIPO DE ROTURA	CARGA (KN)	CARGA (Kg)	ÁREA (mm ²)	RESISTENCIA Kg/cm ²	f'c (Kg/cm ²)	f'c (%)
					(mm)	(mm)								
G3-09	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	152,60	308,81	13007	5	434,69	44325	18290	242	210	115,4%
G3-10	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	149,47	308,81	12231	3	448,42	45725	17546	261	210	124,1%
G3-11	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	150,78	304,46	12577	3	434,11	44266	17855	248	210	118,1%
G3-12	DISEÑO F'C = 210 kg/cm ² + 12% FILLER CALIZO TP= 200 um	2026-03-05	28	2026-04-02	148,74	304,48	12218	3	443,61	45235	17377	260	210	124,0%

(*) Información proporcionada por el solicitante.

TIPO DE ROTURA



Los resultados se relacionan solamente con las muestras sometidas a ensayo.

Sin la aprobación del laboratorio GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C no se debe reproducir el informe de ensayo de manera parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.

El laboratorio no es responsable de la información suministrada por el cliente.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Las actividades de laboratorio se llevarán a cabo de manera imparcial y confidencial.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin-Rimarachin
JEFE DE LABORATORIO
INGENIERO CIVIL REG. CP. N° 257470

FIN DE DOCUMENTO