



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



INFORME N° 26-2024-UNACH/UI/MAST

A : **Mg. Ing. Jefferson Ruiz Cachi.**
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

ASUNTO : Constancia de Originalidad de Turnitin de CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE.

FECHA : Colpa Matara, 07 de agosto del 2024.

REFERENCIA: i) Envío de tesis en digital en su versión final
ii) Carta N° 19-2024-JRC / Conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.
iii) INFORME N° 003-2024-UNACH/CEBN-JE / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.
iv) INFORME N° 007-2024-DGCD-EPIC-UNACH / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: “**SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F’C 350 KG/CM2, CHOTA**”, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil **CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL
R.A.S. N° 15752

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 07 de agosto del 2024.

C.O. N° 26-2024-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe 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: **“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F’C 350 KG/CM2, CHOTA”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 20% excluyendo citas, bibliografía y fuentes que tengan menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c 350 KG/CM2, CHOTA

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1 %
11	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Ana León-Velez, Vanessa Guillén-Mena. "Energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador", Ambiente Construído, 2020 Publicación	<1 %
19	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

20	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
21	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
22	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
25	Rafael Calabuig Pastor. "Efecto de la adición de cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de hormigones con altos contenidos en cenizas volantes silíceas.", Universitat Politecnica de Valencia, 2015 Publicación	<1 %
26	Submitted to University of Puerto Rico-Mayaguez Trabajo del estudiante	<1 %
27	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	FRANCISCO JAVIER BENITO SAORÍN. "Propiedades mecánicas y retracción de hormigones autocompactantes fabricados	<1 %

con escorias siderúrgicas de alto horno.",
Universitat Politecnica de Valencia, 2014

Publicación

29	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
31	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Dumfries and Galloway College Trabajo del estudiante	<1 %
35	Ariel Rey Villca Pozo. "Utilización de geopolímero para la mejora de las propiedades en morteros cal-puzolana y su empleo en países en desarrollo.", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1 %
36	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	Submitted to Submitted on 1691687177060 Trabajo del estudiante	<1 %

38

Luís Vicente García Ballester. "PROPIEDADES MECÁNICAS Y REOLÓGICAS DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES SOMETIDOS A CARGA A EDADES MUY TEMPRANAS Y TEMPRANAS", Universitat Politecnica de Valencia, 2016

Publicación

<1 %

39

Submitted to Universidad Nacional de Trujillo

Trabajo del estudiante

<1 %

40

repositorio.ucss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

41

Mauro Mitsuuchi Tashima. "Producción y caracterización de materiales cementantes a partir del Silicoaluminato Cálcico Vítreo (VCAS)", Universitat Politecnica de Valencia, 2012

Publicación

<1 %

42

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

43

Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

<1 %

44

Chamila Gunasekara, Malindu Sandanayake, Zhiyuan Zhou, David W. Law, Sujeeva Setunge. "Effect of nano-silica addition into high volume fly ash-hydrated lime blended

<1 %

concrete", Construction and Building Materials, 2020

Publicación

45

Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes

Trabajo del estudiante

<1 %

46

Juan Cosa Martínez. "Utilización de mezclas de residuos para la obtención de cementos de activación alcalina: aplicación en morteros y suelos estabilizados", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publicación

<1 %

47

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

48

Luisa Paulina Viera Arroba. "Factibilidad constructiva de viviendas con muros portantes de fardos de paja energéticamente eficientes y sismo resistentes en la zona andina del Ecuador", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

<1 %

49

Jesús Alexander Estrada, Alexander López González, Daniel Hernández Cruz, Joseph Elí Mandujano Zavala et al. "Desempeño de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes", Revista ALCONPAT, 2022

Publicación

<1 %

50

José Luis Moro. "El proyecto constructivo en arquitectura – del principio al detalle", Springer Science and Business Media LLC, 2023

Publicación

<1 %

51

"Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2021", Springer Science and Business Media LLC, 2021

Publicación

<1 %

52

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

53

Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas

Trabajo del estudiante

<1 %

54

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

<1 %

55

Submitted to uni

Trabajo del estudiante

<1 %

56

Oladis Troconis de Rincón, Valentina Millano, Wilfredo Suarez, Luis Navarro, Antonio De Turris, Roque Amesty. "Evaluación del efecto de la arcilla de desecho de un proceso de producción de polioles como sustituto parcial del cemento en concreto armado", Revista ALCONPAT, 2021

Publicación

<1 %

57

Peter A. Adesina, Festus A. Olutoge.

"Structural properties of sustainable concrete developed using rice husk ash and hydrated lime", Journal of Building Engineering, 2019

Publicación

<1 %

58

Submitted to Universidad Ricardo Palma

Trabajo del estudiante

<1 %

59

Submitted to unasam

Trabajo del estudiante

<1 %

60

"Materiales sustentables y reciclados en la construcción", Omnia Publisher SL, 2015

Publicación

<1 %

61

Armando Nicolás Moreno, Marco Antonio García Lobato, Felipe Avalos Bemolte, Elia Martha Múzquiz Ramos. "Residuos de mármol en materiales para la construcción: una revisión del uso del polvo de mármol en morteros, concretos y ladrillos", Revista ALCONPAT, 2022

Publicación

<1 %

62

Loredana Contrafatto. "Volcanic ash", Elsevier BV, 2022

Publicación

<1 %

63

O. A. Cabrera, L. P. Traversa, N. F. Ortega.

"Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo", Materiales de Construcción, 2011

<1 %

64

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA
ELABORAR UN CONCRETO F'C 350 KG/CM², CHOTA
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

Asesor:

Dr. Ing. MARTHA GLADYS HUAMÁN TANTA

Chota – Perú

2024



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Irigoín Bustamante Clever Wilson

Código del alumno: **2017052021**

Correo electrónico: 2017052021@unach.edu.pe

Teléfono: 921792630

DNI: 76041884

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C 350 KG/CM², CHOTA

5. FACULTAD DE: CIENCIAS DE LA INGENIERÍA.

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Dr. Ing. Huamán Tanta Martha Gladys

Teléfono: 976995865

Correo electrónico: mghuamant@unach.edu.pe

D.N.I.: 26641956

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA: Clever Wilson Irigoín Bustamante

DNI: 76041884

Chota, 12 de setiembre del 2024

**SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y
40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C 350
KG/CM2, CHOTA**

POR:

CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

**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



**Mg. Ing. Jefferson Ruiz Cachi
PRESIDENTE**



Dr. Ing. Claudia Emilia Benavidez Núñez

SECRETARIO



Mg. Ing. Donald Gorki Collantes Delgado

VOCAL



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

Los miembros del jurado de tesis que suscriben, reunidos en el segundo piso de la oficina de Incuba de la UNACH, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por el Bachiller: **Clever Wilson Irigoín Bustamante**, denominado: “**SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F’C 350 KG/CM². CHOTA**”; escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado con mención honrosa

CON EL CALIFICATIVO (*)

Quince (15).

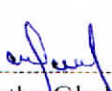
En consecuencia, se le declara **EXPEDITO** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo., en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 02 de setiembre del 2024


Mg. Jefferson Ruiz Cachi
PRESIDENTE


Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
SECRETARIO


Mg. Donald Gorki Collantes Delgado
VOCAL


Dra. Martha Gladys Huamán Tanta
ASESORA

(*) 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: **“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F’C 350 KG/CM² CHOTA”**: presentado por el Bachiller: **Clever Wilson Irigoin Bustamante**, sustentada el día 02 de setiembre del 2024, por Resolución de Coordinación N°242-2024-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 09 de setiembre del 2024



Mg. Jefferson Ruiz Cachi
PRESIDENTE



Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
SECRETARIO



Mg. Donald Gorki Collantes Delgado
VOCAL



Dra. Martha Gladys Huamán Tanta
ASESORA

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a nuestro Padre Celestial, por haberme permitido estudiar esta hermosa carrera y su bendición sobre mi persona, hizo posible que este gran anhelo fuera posible.

A mis padres Felipe Irigoín y Fredesmila Bustamante, a mi hermana Edit Irigoín, a mis abuelos German y Rafaela, quienes desde el cielo sé que siempre está velando por mi bienestar, compañeros de facultad y a toda mi familia por haberme brindado su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, a Dios, y a toda mi familia por todo su apoyo brindado en toda esta etapa. A mis docentes de la escuela profesional, a mi asesora Dr. Ing. Martha Gladys Huamán Tanta y al Mg. Ing. Dante Hartman Cieza león, por su orientación brindada. A mis compañeros Yoner Idrogo, Robert Díaz por su apoyo en esta etapa universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Planteamiento del problema	14
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación	18
1.4. Delimitación de la investigación	21
1.5. Limitaciones	23
1.6. Objetivos	23
1.6.1. Objetivo general.....	23
1.6.2. Objetivos específicos	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes	25
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	25
2.1.2. Antecedentes nacionales	33
2.1.3. Antecedentes regionales	36
2.2. Bases teórico – científicas	37
2.2.1. Desarrollo sostenible en la construcción: Reemplazo del cemento por cal en la producción de concreto.....	37
2.2.2. Comportamiento de la cal hidratada en la mezcla de concreto	40
2.2.3. Uso de la cal para resistencias altas a compresión del concreto.....	41
2.2.4. Rigidización del concreto a edades tempranas y su relación al utilizar cal.....	42
2.2.5. Comportamiento físico de la cal en una mezcla de concreto.....	44
2.2.6. Sustitución del cemento por cal para elaborar concreto de alta resistencia.....	46
2.3. Marco conceptual	50
2.3.1. Cal.....	50
2.3.2. Cemento	56
2.3.3. Agregados	60

2.3.4. Concreto de alta resistencia	65
2.3.5. Propiedades del concreto en estado fresco	72
2.3.6. Proceso de fraguado y endurecimiento	76
2.3.7. Curado del concreto	77
2.3.8. Propiedades del concreto en estado endurecido	78
2.4. Hipótesis	82
2.5. Operacionalización de variables	82
2.5.1. Variable independiente: Sustitución del cemento por cal.....	82
2.5.2. Variable dependiente: Concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$	82
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	84
3.1. Tipo y nivel de investigación	84
3.2. Diseño de investigación	85
3.3. Métodos de investigación.....	87
3.4. Población, muestra y muestreo	88
3.4.1. Población	88
3.4.2. Muestreo	88
3.4.3. Muestra	88
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	89
3.5.1. Técnicas	89
3.5.2. Instrumentos	91
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	93
3.6.1. Proceso de obtención de los datos	93
3.6.2. Procesamiento de datos.....	127
3.6.3. Análisis de datos	127
3.7. Aspectos éticos	127
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	129
4.1. Descripción de resultados.....	129
4.1.1. Propiedades químicas y físicas de la cal.....	129
4.1.2. Diseño de mezclas para concreto de alta resistencia	135
4.1.3. Propiedades en estado fresco del concreto de alta resistencia con cal.....	142

4.1.4. Propiedades en estado endurecido del concreto de alta resistencia con cal.....	151
4.2. Discusión de resultados.....	166
4.3. Contrastación de hipótesis.....	179
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	185
5.1. Conclusiones	185
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	187
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	189
CAPÍTULO VII. ANEXOS	202
Anexo A. Matriz de consistencia.....	202
Anexo B. Panel fotográfico	203
Anexo C. Ficha técnica del cemento	222
Anexo D. Ensayos físico químicos de la cal	223
Anexo E. Ensayos al agregado fino y grueso	224
Anexo F. Diseño de mezclas	225
Anexo G. Ensayo preliminar de resistencia del concreto con aditivo y sin aditivo	226
Anexo H. Propiedades del concreto	227

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuantificación del Consumo Energético y Emisiones de CO ₂ Durante la Producción de Cemento	39
Tabla 2 Comparación de la Cal y el Cemento.....	54
Tabla 3 Requisitos que Debe Cumplir la Cal para su Uso en Construcción	55
Tabla 4. Clasificación de los Agregados	60
Tabla 5 Límites de Porcentaje que Pasa, Agregado Fino	61
Tabla 6 Límites de Porcentaje que Pasa, Agregado Grueso Huso #467	61
Tabla 7. Componentes del Concreto	65
Tabla 8 Volumen de Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Concreto	68
Tabla 9 Slump Recomendado para Concretos de Alta Resistencia Con y Sin Superplastificante	68
Tabla 10 Requerimientos Aproximados de Agua de Mezclado y de Contenido de Aire para Diferentes Slump y Tamaños Máximos de Agregados	68
Tabla 11 Relación Agua/Cemento y Resistencia a la Compresión del Concreto.....	69
Tabla 12 Matriz de operacionalización de variables en estudio.....	83
Tabla 13 Tipo de Investigación según Criterios.....	85
Tabla 14 Resumen del Cálculo Muestral DOE	88
Tabla 15 Número de Probetas para Pruebas a Compresión.....	88
Tabla 16 Fuentes, Técnicas e Instrumentos para Recolectar Datos	92
Tabla 17 Grado de Segregación	118
Tabla 18 Intensidad de Eflorescencia según Porcentaje de Área Afectada.....	124
Tabla 19 Propiedades Químicas de la Cal de Bambamarca	130
Tabla 20 Propiedades Físicas de la Cal de Bambamarca	133
Tabla 21 Propiedades Físicas de los Agregados.....	137
Tabla 22 Proporción de Mezcla Base del Concreto F'c 350 kg/cm ²	140
Tabla 23 Proporción de Mezcla del Cemento y Cal para un Concreto F'c 350 kg/cm ²	141
Tabla 24 Propiedades en Estado Fresco del Concreto F'c 350 kg/cm ² con Cal	142
Tabla 25 Propiedades en Estado Endurecido del Concreto F'c 350 kg/cm ² con Cal	151
Tabla 26 Peso y Peso Unitario del Concreto con Cal.....	153
Tabla 27 Porcentaje de Absorción en el Concreto con Cal	156
Tabla 28 Porcentaje de Superficie Afectada por Eflorescencia en el Concreto con Cal.....	158
Tabla 29 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal.....	162
Tabla 30 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 7 Días.....	163
Tabla 31 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 14 Días.....	164

Tabla 32 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 28 Días.....	165
Tabla 33 Análisis de Varianza del Efecto del Porcentaje de Cal en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto	180
Tabla 34 Prueba t-student del Concreto con Cal como Sustituto del Cemento.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Segregación en Elementos Estructurales de Edificaciones Locales	16
Figura 2 Dimensiones del Desarrollo Sostenible	37
Figura 3 Representación Esquemática de los Tipos de Cal y los Campos de Aplicación.....	50
Figura 4 Ciclo de la Cal Aérea.....	51
Figura 5 Ciclo de Producción y Uso de la Cal	53
Figura 6 Tipos de Cementos Utilizados en la Industria de la Construcción	56
Figura 7 Proceso de Producción del Cemento	58
Figura 8. Gráfica de Gradaciones del Agregado.....	62
Figura 9. Estados de Saturación de los Agregados	63
Figura 10. Máquina de Abrasión de los Ángeles	64
Figura 11 Propiedades del Concreto en Estado Fresco	72
Figura 12 Resistencia a la Penetración de una Pasta de Concreto	76
Figura 13 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido	78
Figura 14 Caracterización de la Resistencia a Compresión del Concreto.....	79
Figura 15 Módulo de Elasticidad del Concreto.....	81
Figura 16 Diseño de Investigación Experimental	86
Figura 17 Ubicación de la Cantera Conchán.....	94
Figura 18 Vista Satelital de la Cantera Conchán.....	94
Figura 19 Ubicación de la Cantera Chuyabamba.....	95
Figura 20 Vista Satelital de la Cantera Chuyabamba.....	95
Figura 21 Ubicación de la Planta Procesadora de Cal, “Inversiones 3MB SRL”	96
Figura 22 Vista Satelital de la Calera “Inversiones 3MB SRL”	96
Figura 23 Ensayos Físicos en las Muestras de Cal Hidratada de Bambamarca	105
Figura 24 Ensayos Físicos Mecánicos de los Agregados.....	109
Figura 25. Molde de Ensayo para Asentamiento	114
Figura 26. Asentamientos Referenciales.....	114
Figura 27 Detalle del Molde Tipo Columna	116
Figura 28 Ensayo de Segregación Estática en el Concreto	118
Figura 29 Preparación y Curado de Probetas de Concreto.....	120
Figura 30 Probetas para Ensayo de Eflorescencia	124
Figura 31 Formas de Falla en Probetas de Concreto.....	126
Figura 32 Prueba a Compresión en Probetas de Concreto con Cal.....	126
Figura 33 Tipos de Densidades de la Cal de Bambamarca	133
Figura 34 Peso Unitario y Compactado de la Cal de Bambamarca	134

Figura 35 Porcentaje de Absorción de la Cal de Bambamarca	134
Figura 36 Curva de Distribución del Agregado Fino	138
Figura 37 Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso.....	138
Figura 38 Propiedades Físicas de la Arena de Conchán	139
Figura 39 Propiedades Físicas de la Grava de la Cantera Chuyabamba	139
Figura 40 <i>Peso unitario de la Mezcla de Concreto con Cal</i>	144
Figura 41 Segregación de la Mezcla de Concreto con Cal.....	145
Figura 42 Temperatura de la Mezcla de Concreto con Cal.....	146
Figura 43 Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto con Cal.....	148
Figura 44 Slump de la Mezcla de Concreto con Cal.....	149
Figura 45 Correlación entre Slump y Contenido de Aire de la Mezcla de Concreto con Cal..	150
Figura 46 Correlación entre Slump y Segregación de la Mezcla de Concreto con Cal	150
Figura 47 Peso del Concreto Endurecido con Cal.....	154
Figura 48 Comparación del Peso Unitario Suelto del Concreto Endurecido con Cal.....	154
Figura 49 Porcentaje de Absorción en el Concreto con Cal	156
Figura 50 Porcentaje de Superficie Afectada por Eflorescencia en el Concreto con Cal	158
Figura 51 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal	162
Figura 52 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 7 Días	163
Figura 53 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 14 Días	164
Figura 54 Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 28 Días	165
Figura 55 Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Segregación del Concreto	180
Figura 56 Regresión entre el Porcentaje de Cal y el peso del Concreto	181
Figura 57 Regresión entre el Porcentaje de Cal y el Slump del Concreto	181
Figura 58 Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Eflorescencia del Concreto	182
Figura 59 Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Absorción del Concreto	182
Figura 60 Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Segregación del Concreto	183
Figura 61 ANOM Normal de Dos Factores: Resistencia a Compresión en Relación con el Porcentaje de Cal y Tiempo de Curado.....	183

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo evaluar el comportamiento físico mecánico al sustituir el cemento por cal hidratada al 10, 20, 30 y 40% para elaborar un concreto $f'c = 350$ kg/cm² en la provincia de Chota. La muestra consistió en 45 probetas de concreto producidas con diferentes porcentajes de cal como sustituto parcial del cemento que, se curaron a los 7, 14 y 28 días. Inicialmente se analizó la cal hidratada verificando que, cumple con los requisitos químicos establecidos por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016), aunque presenta un alto porcentaje de absorción; también se verificó que, los agregados cumplen con la NTP 400.037 (INACAL, 2021). Luego se diseñó la mezcla base para el concreto, y se procedió a reemplazar el cemento por cal (10, 20, 30 y 40%). Se observó que el concreto en estado fresco presenta una mayor trabajabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de cal, pero se mantiene dentro del rango plástico recomendado (3"-4"). Además, el peso unitario y segregación del concreto fresco disminuyen con el aumento de la cantidad de cal en la mezcla. También, se comprobó que la resistencia a compresión del concreto se reduce a medida que se aumenta el porcentaje de cal, pero solo las muestras con 10% de cal cumplen con la resistencia. Sin embargo, el uso de cal como reemplazo del cemento tiene beneficios en términos de reducción de absorción y eflorescencia del concreto, lo que lo hace viable para condiciones climáticas adversas. En conclusión, se encontró que un reemplazo del 10% de cal permite alcanzar la resistencia deseada (374.95 kg/cm²) y mejorar las características físicas del concreto.

Palabras clave: Reemplazo parcial, cal hidratada, resistencia a compresión, asentamiento, cemento Portland, concreto.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the physical-mechanical behavior when replacing cement with hydrated lime at 10, 20, 30 and 40% to produce a concrete $f'c = 350$ kg/cm² in the province of Chota. The sample consisted of 45 concrete specimens produced with different percentages of lime as a partial substitute for cement, which were cured at 7, 14 and 28 days. Initially, the hydrated lime was analyzed verifying that, it complies with the chemical requirements established by the UNE 459-1 standard (AENOR, 2016), although it presents a high percentage of absorption; it was also verified that, the aggregates comply with NTP 400.037 (INACAL, 2021). Then, the base mix for the concrete was designed, and the cement was replaced by lime (10, 20, 30 and 40%). It was observed that the concrete in its fresh state presents a higher workability as the percentage of lime increases, but remains within the recommended plastic range (3"-4"). In addition, the unit weight and segregation of the fresh concrete decrease with the increase of the amount of lime in the mix. Also, it was found that the compressive strength of concrete decreases as the percentage of lime increases, but only the samples with 10% lime meet the strength. However, the use of lime as a replacement for cement has benefits in terms of reduced absorption and efflorescence of concrete, making it viable for adverse climatic conditions. In conclusion, it was found that a 10% lime replacement allows achieving the desired strength (374.95 kg/cm²) and improving the physical characteristics of the concrete.

Keywords: Partial replacement, hydrated lime, compressive strength, slump, Portland cement, concrete.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La construcción es una de las actividades humanas que ejerce mayor presión sobre el medio ambiente, ya que debe proporcionar cada vez más espacio a una población en crecimiento (Walker, 2021). La demanda global y la urbanización han contribuido al consumo de grandes cantidades de concreto (Zeyad et al., 2020), en los últimos años, el concreto de alta resistencia ha llamado la atención debido a su mayor durabilidad y capacidad mecánica que, el concreto convencional (Ghareeb et al., 2022), además de que, según Zeyad et al. (2019a) requiere mínimo espesor para secciones, reduciendo la masa de la estructura, lo que, puede beneficiar económicamente al propietario.

En Perú la norma E.060 (MVCS, 2009) rige las obras de concreto simple y armado, donde se sugiere el uso de concreto de buena calidad, no obstante, el f'_c de diseño dependerá de la envergadura del proyecto, actualmente en el país, proyectos como puentes, túneles, muros de corte, cimientos, edificios de gran altura, entre otros vienen sustituyendo el concreto convencional 21 MPa, por concreto de mayores resistencias 28, 35, 42 MPa, y otros, denominados como concretos de alta resistencia.

Por lo tanto, la construcción de estructuras pesadas requiere una mayor demanda de concreto de alta resistencia (Zeyad et al., 2019b), pero el concreto de alta resistencia suele producirse con un alto contenido de cemento Portland y una baja relación agua-cemento, aditivos reductores de agua, como superplastificante y, opcionalmente, escoria o humo de sílice (Nawy, 1996). Siendo así, el cemento mezclado se ha convertido en un requisito clave para la producción de concreto

de alto rendimiento, ya que mejora la sostenibilidad de los edificios al reducir la huella de carbono para promover la sostenibilidad de los edificios (Al-Fadala et al., 2017). En este contexto, los investigadores han desarrollado alternativas de remplazo para el cemento Portland para reducir su consumo (Samimi et al., 2017); y la cal es uno de estos materiales alternativos (Ghareeb et al., 2022).

Chota, limita por el este con Bambamarca, lugar donde se encuentra gran cantidad de empresas productoras de cal, por la amplia demanda del producto en la región de Cajamarca. Según Chávez et al. (2018) el 40% de la demanda es cubierta por los productores artesanales. Los productores artesanales de la región cubren el 40% de la demanda. La planta procesadora de cal “Inversiones 3MB SRL” es una de las empresas con mayor producción diaria de cal, donde dicho material podría ser utilizado como uno de los componentes de producción del concreto, para mejorar sus propiedades físico mecánicas, evitando así algunos problemas la observada en la composición.

El problema observado, en el medio local, es que, al producir concreto muchas veces las pastas no logran una adhesión uniforme y se dan procesos de segregación, con claras repercusiones en la durabilidad del concreto, este proceso se puede dar por diversas causas pero entre ellas destaca la falta de adhesión de la mezcla, es decir sus componentes no se adhieren bien, en cambio cuando se utiliza un compuesto más fino este ocupa los vacíos y evita este fenómeno, garantizando así, la resistencia mecánica, por ello, para evitar la segregación, autores como Bentz et al. (2015), Ghareeb et al. (2022) y otros, recomiendan la adición de cal o su uso como sucedáneo parcial del cemento en la producción de concreto, dando como, resultado un concreto con mejores características físicas y mecánicas, que, si bien económicamente no representaría una diferencia significativa en costos por

m³, si el cálculo se establece en el total de una edificación ya se podría hablar de un ahorro, considerando que, la cal se obtiene del contexto local, mientras que, el cemento es traído de fábricas lo que acrecienta su costo de compra, pero este mínimo ahorro en costos no representa el fundamento del estudio, sino que, el fundamento de la investigación, es verificar si, los beneficios del concreto con cal referidos en los antecedentes son reales, y si a través del uso de la cal, se puede elaborar concreto f'c 350 kg/cm², que por sus características físico mecánicas logre evitar las fallas patológicas que, se pueden distinguir en algunas de las construcciones locales, tales como segregación, porosidad, baja resistencia, rasgos de humedad, entre otros.

Figura 1

Segregación en Elementos Estructurales de Edificaciones Locales



Además, según la Municipalidad Distrital de Chota (MPCH, 2018), Chota está en constante progreso y desarrollo, lo que, se evidencia en su infraestructura urbana, no obstante, se plantea el desarrollo de múltiples proyectos de envergadura en los próximos años, proyectos que, requerirán de concreto de mayor resistencia que, el convencional $f'c$ 21 MPa, por tanto, se necesitará concreto con $f'c$ 35 MPa.

En tal contexto, se sospecha que, la cal podría aportar mayor consistencia a la mezcla de concreto $f'c$ 35 kg/cm², logrando que este material presente mayor resistencia a la segregación, absorción, eflorescencia, entre otros, porque, existen referentes nacionales e internacionales que, han logrado mejoras en el concreto al utilizar este material como adicionante o como sustituto del cemento, tal como, Ghareeb et al. (2022), Rafael (2015), Bentz et al. (2015), entre otros; pero Zeyad et al. (2019a) advierte que el uso de aditivos puzolánicos como la cal en el concreto, no siempre son beneficiosos, porque sus ventajas dependen de la forma y proporción de sustitución del cemento, así como, de las características de los agregados locales utilizados en la mezcla.

La cal es un material ampliamente utilizado en la construcción, pero su comportamiento específico en el concreto con agregados de Chota es desconocido. Los agregados de Chota tienen características particulares y distintas a los agregados de otras áreas, por lo que, la mezcla producida con los mismos es única en el contexto local. Además, si bien, a nivel internacional el reemplazo del cemento por cal es una práctica común en la producción de concreto, que puede tener ventajas como la mejora de las propiedades físicas y químicas del concreto, en el caso específico de la mezcla de concreto con agregados de Chota, se desconocía el efecto que este reemplazo podría tener en el concreto.

Siendo así, el problema en cuestión es la falta de conocimiento sobre el comportamiento de la cal en el concreto con agregados de Chota, así como el impacto que tiene el reemplazo del cemento por cal en la producción de la mezcla de concreto con estos agregados.

1.2. Formulación del problema

¿Qué porcentaje de sustitución de cemento por cal (10, 20, 30 y 40%) es el más óptimo para elaborar un concreto $f'c=350$ kg/cm² en Chota?

1.3. Justificación

La investigación se justificó debido a la necesidad de encontrar alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la construcción, reduciendo la cantidad de cemento utilizado. Además, la investigación buscó resolver el problema científico y técnico relacionado con el efecto de la sustitución de cemento por cal en la resistencia del concreto, en un rango específico de resistencia de 350 kg/cm². Con esta estudio se pudo evaluar el desempeño del concreto con diferentes proporciones de cal, lo que permitió determinar si es factible y viable su uso como sustituto del cemento en esta especificación de concreto, considerando que, autores como Rafael (2015), Bentz et al. (2015), Ghareeb et al. (2022) recomienda el remplazo del cemento por cal en la producción de concreto, por sus beneficios en la reducción de la segregación y absorción, la disminución de la eflorescencia en medios solubles, la mayor adherencia e iguales o superiores características mecánicas.

a) Justificación teórico científica

El aporte teórico logrado en esta investigación es el análisis de la influencia del remplazo del cemento por cal en diferentes proporciones en la resistencia y características del concreto $f'c$ 350 kg/cm². Esto ha permitido tener

un mayor entendimiento de cómo influye la cal en las propiedades del concreto fresco y endurecido, y su viabilidad como sustituto parcial del cemento en este tipo de concreto, para una mezcla elaborada con agregados locales de Chota. Por tanto, en la investigación se presentan lineamientos para la producción de concreto, es decir se tuvo una dosificación base, utilizando agregados locales de Chota, pero principalmente se determinó el porcentaje de cemento en peso que puede ser sustituido por cal y mantener su capacidad mecánica del concreto.

Esta investigación llena un vacío del conocimiento, ya que hasta el momento no existían estudios que analicen los efectos de la sustitución de cemento por cal en el concreto con agregados de Chota. Por lo tanto, esta investigación contribuye a cerrar esta brecha y a generar conocimiento relevante en este ámbito.

Esta investigación se desarrolla o apoya la teoría de mecánica de materiales, ya que su objetivo principal es analizar los efectos prácticos de la sustitución de cemento por cal en el concreto. Así mismo, los resultados obtenidos podrían enriquecer teorías y conocimientos relacionados con los materiales de construcción y su comportamiento. Además de que, se ha apoyado sustancialmente en la teoría de la sostenibilidad.

Los resultados, se pueden generalizar en la provincia de Chota, debido a que, se utilizó agregados locales, y permitió incrementar el conocimiento científico existente. Así mismo, estos resultados podrían servir de base para investigaciones futuras que exploren otras proporciones de sustitución y otros tipos de concretos, permitiendo así una mayor generalización del conocimiento en este campo.

La investigación incrementa el conocimiento científico al aportar información relevante sobre la influencia del remplazo de cemento por cal en el concreto. Esto permite una mejor comprensión de los materiales de construcción y su comportamiento, así como posibles aplicaciones y ventajas de la cal.

En la actualidad existen múltiples investigaciones que, buscan sustituir al cemento por otros materiales más sostenibles (Al-Fadala et al., 2017, Samimi et al., 2017; Zeyad et al., 2019a, Zeyad et al., 2019b), pero son muy pocos, los estudios que, han analizado la sustitución del cemento por cal, aun cuando, los dos materiales usan los mismos componentes para su fabricación, pero con un diferente proceso, siendo la cal, la que tiene un ciclo biológico. Por lo que, la pertinencia de esta investigación radica en su enfoque específico en el contexto de Chota, por lo que, tiene aplicaciones prácticas relevantes en la construcción en esta región.

b) Justificación técnico práctica

Diversos motivos llevaron a elegir el tema como objeto de estudio entre ellos, la ausencia de un diseño de mezclas de concreto $f'c$ 350 kg/cm² con agregado fino de la cantera Conchán y agregado grueso de la cantera Chuyabamba de la ciudad de Chota, aún cuanto, en la actualidad las construcciones buscan utilizar materiales más resistentes, para reducir las dimensiones de los elementos estructurales y ganar espacio en las edificaciones; así mismo, es preocupante el creciente uso de cemento, ya que, a pesar del fuerte impacto ambiental de su producción sigue siendo el producto más utilizado después del agua, por tanto, es indispensable remplazarlo parcialmente con otros materiales de menor impacto ambiental, siendo este, la cal, ya que, este producto tiene un ciclo biológico, libera CO₂ para su producción, pero lo vuelve a absorber, durante su mezcla con el agua,

para su uso en la construcción. Siendo así, el estudio es original, conveniente y trascendente en la provincia de Chota, debido a que, no solo da un aporte técnico con la búsqueda de la producción de concreto $f'c$ 350 kg/cm², sino, además, significa un aporte en la sostenibilidad ambiental. Los favorecidos con el estudio serán ingenieros civiles, maestros de obra, proyectistas, y demás personas que, puedan utilizar concreto de alto desempeño para la construcción de sus edificaciones. Así como, alumnos, maestros e investigadores que, verán este tema como punto de inicio para el desarrollo de nuevas y continuas investigaciones en concreto de alto desempeño o alta resistencia en la provincia de Chota.

1.4. Delimitación de la investigación

La investigación se ha desarrollado en el distrito de Chota, en el laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota y en el laboratorio GEOCONCRET H&M Ingenieros S.R.L., en un lapso de 10 meses desde enero del año 2023. Con el objetivo de sustituir parcialmente el cemento por cal al 10%, 20%, 30% y 40% en el concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota.

Metodológicamente se ha seguido el enfoque cuantitativo, con nivel explicativo para un diseño experimental clásico, teniendo como muestra a 45 probetas de concreto producidas con 0%, 10% 20%, 30% y 40% de cal como sustituto del cemento, curadas a los 7, 14 y 28 días. Donde, se aplicaron como técnicas la observación, experimentación y análisis. Cuyos resultados fueron procesados en Microsoft Excel 2022 descriptivamente y en Minitab 22 de forma inferencial.

Los procedimientos que se han seguido se iniciaron con la recolección de materias primas. El agregado fino se recolectó de la cantera Conchán y el

agregado grueso de la cantera Chuyabamba, ambos analizados a humedad, granulometría, porcentaje que pasa el tamiz N° 200, peso específico y absorción, peso unitario suelto y compactado y abrasión para contrastarlo con la NTP 400.037 (INACAL, 2021). La cal se ha recolectado de la calera Inversiones 3MB SRL, y se ha analizado su color, humedad, granulometría, densidad específica, absorción, peso unitario suelto, compactado, ensayo químico para determinar la cantidad de óxido de calcio e hidróxido de calcio en la cal, determinación del agua libre, determinación del tiempo de fraguado de acuerdo a la norma UNE 459-2 (AENOR, 2022), para verificar que, cumpla con la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016). Luego, se ha realizado el diseño de mezclas siguiendo el procedimiento del método ACI 211.1 (2022) utilizando bolsas de cal de 30 kg de la calera Inversiones 3MB SRL, bolsas de 42 kg de cemento Portland Tipo I Pacasmayo, arena de Conchán, grava de Chuyabamba y agua potable. Con la mezcla base y modificada con 0%, 10% 20%, 30% y 40% de cal como sustituto del cemento se ha elaborado el concreto fresco que, fue sometido a ensayos como la determinación del NTP 339.081 contenido de aire (INACAL, 2018), NTP 339.184 temperatura (INACAL, 2021), NTP 339.035 asentamiento (INACAL, 2022), NTP 339.046 peso unitario (INACAL, 2019) y NTP 339.218 segregación estática (INACAL, 2019). Después se elaboraron 45 probetas de concreto de 6" x 12" que fueron sometidas a curado por 7, 14 y 28 días de acuerdo a la NTP 339.183 (INACAL, 2021). Una vez endurecido el concreto se realizaron ensayos de absorción siguiendo el procedimiento de la norma para bloques de concreto NTP 399.602 (INACAL, 2018), en tres probetas de cada dosificación; NTP 331.017 eflorescencia (INACAL, 2016) con el procedimiento modificado de acuerdo al proceso de Guevara-Fustamante & Silva-Tarrillo (2023) para verificar el

porcentaje de superficie eflorecida por exposición constante a agua con sulfatos durante 28 días, para este ensayo se utilizó la tercera parte de una probeta es decir de una probeta de cada dosificación se obtuvieron las tres muestras de ensayo, estas probetas se fabricaron adicionalmente a las 45 probetas elaboradas inicialmente, que fueron sometidas al ensayo de resistencia a compresión de acuerdo a la NTP 339.034 (INACAL, 2021), siendo este el único ensayo que, se realizó en el laboratorio externo GEOCONCRET H&M Ingenieros S.R.L., mientras que, los otros ensayos se realizaron en el laboratorio EPIC-UNACH.

1.5. Limitaciones

No se ha determinado el calor de hidratación del concreto debido que, para ello se necesitaban instrumentos que, no estaban disponibles en los laboratorios de la EPIC – UNACH, ni en ningún laboratorio local.

El tiempo de fraguado final puede variar dependiendo de las condiciones ambientales, tales como la temperatura ambiental local, en el caso del estudio las pruebas se han realizado en verano, por tanto, en invierno el tiempo de fraguado será mayor lo que, es favorable según se indica en la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016).

1.6. Objetivos

1.6.1. *Objetivo general*

Evaluar el porcentaje de sustitución de cemento por cal (10, 20, 30 y 40%) más óptimo para elaborar un concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota.

1.6.2. *Objetivos específicos*

- Determinar las propiedades físico químicas de la cal utilizada en remplazo del cemento para la producción de concreto.

- Realizar el diseño de mezcla con cemento portland tipo I, agua, y agregados locales de la provincia de Chota, para la producción de concreto $f'c$ 350 kg/cm², simple y con adiciones de cal.
- Analizar las propiedades en estado fresco de los concretos $f'c$ 350 kg/cm² sustituyendo 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% del peso del cemento por cal.
- Analizar las propiedades en estado endurecido del concreto $f'c$ 350 kg/cm² sustituyendo 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% del peso del cemento por cal.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Ghareeb et al. (2022) en su artículo científico “La novedad de utilizar polvo de vidrio y polvo de cal para producir concreto de ultra alto desempeño UHPSCC” tuvieron como objetivo utilizar polvo de vidrio y polvo de cal como remplazo parcial del cemento para elaborar concreto de alto desempeño. Determinando que, la resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión se mejoró usando polvo de vidrio y polvo de cal hasta un 20% de reemplazo de cemento. Las resistencias a compresión para las mezclas con polvo de vidrio y polvo de cal fueron 119.0 y 128.8 MPa bajo regímenes de curado en caliente, pero aumentó en un 6.25% y 9.62% bajo regímenes normales de curado a los 90 días. La resistencia a flexión con 20% de polvo de vidrio y polvo de cal fueron 11.80 y 17.85 MPa, que aumentaron un 24.20% y 58.60 %, en comparación a la mezcla de control. Concluyeron que, el uso de polvo de vidrio y cal mejora sustancialmente la capacidad mecánica del concreto UHPSCC.

Anjos et al. (2020) en su artículo traducido del inglés como “Efecto del alto volumen de cenizas volantes y metacaolín con y sin cal hidratada sobre las propiedades del concreto autocompactante” tuvo como objetivo evaluar la resistencia a compresión y el desarrollo de la hidratación del concreto autocompactante con contenido reducido de cemento (SCC-LC). Para ello utilizaron cemento Portland (PC), metacaolín (MK), cenizas volantes (FA) y cal hidratada (HL) en mezclas cementosas binarias, ternarias y cuaternarias. Probaron la sustitución del cemento por FA y MK, con o sin adición de HL, en ambos SCC-

LC: conglomerante 500 kg/m³ (B500) y conglomerante 400 kg/m (B400). El reemplazo promovió una reducción de cemento equivalente al 60%-70% respecto a la composición de referencia (C500). La evaluación del crecimiento de la resistencia a la compresión se realizó a los 3, 7, 14, 21, 28 y 90 días. Los resultados obtenidos demostraron la posibilidad de producir SCC-LC con contenidos de cemento entre 120 y 200 kg/m³ debido a la excelente capacidad de FA y MK para mantener la cohesión cuando se combinan con HL. La resistencia a la compresión medida a los 28 días de SCC-LC osciló entre 25 y 40 MPa. Concluyeron que, el uso de cal en la mezcla permite mayor adhesión, un mejor fraguado, reduce la segregación y mantiene la capacidad mecánica.

Pedroso (2020) en su tesis de doctorado traducida del portugués como “Compuestos a base de residuos de mineral de hierro, residuos de concreto, residuos de producción de celulosa y residuos de producción de cal” tuvo como objetivo producir concreto sostenible utilizando como materias primas residuos de mineral de hierro (RMF) del 10 al 40%, residuos de hormigón (RC) del 25 al 30%, residuos de producción de cal (RPC) del 15% al 25% y residuos de producción de celulosa (RPCEL) del 10% al 40%. Utilizó dichas proporciones para formar mezclas que, sumaran 100%, encontrando 19 posibles combinaciones, de las cuales elaboró 1045 probetas en total, para realizar ensayos de: resistencia a la compresión, coeficiente de resistencia al agua, absorción de agua por inmersión y coeficiente de expansión lineal. Determinó que, con la composición 16 (10% RMF + 40% RPCEL + 25% RC + 25% RPC) y 17 (40% RMF + 10% RPCEL + 25% RC + 25% RPC) obtiene propiedades satisfactorias siendo la resistencia a compresión de 4.07 MPa y 6.92 MPa después de 28 días de curado. Concluyó que, es viable el uso de residuos en la producción de concreto.

Gunasekara et al. (2020) en su artículo traducido del inglés como “Efecto de la adición de nano sílice en un concreto mezclado con alto volumen de cenizas volantes y cal hidratada” planteó como fin analizar las mezclas de concreto de alto volumen de cenizas volantes (HVFA) que, utilizan 65% y 80% de remplazo de cemento por la combinación de cenizas volantes y cal hidratada, con y sin nano sílice. La resistencia a la compresión de las mezclas de HVFA aumentó con la adición de nano sílice. El HVFA-65 y el HVFA-80, sin nano sílice, alcanzaron 25.0 MPa y 14.5 MPa a los 7 días, respectivamente, y 42.7 MPa y 29.5 MPa a los 28 días. Con la adición de nano sílice, el concreto HVFA-65 ns y HVFA-80 ns tuvo resistencias a la compresión de 37.5 MPa y 28.8 MPa a los 7 días y aumentó a 47.1 MPa y 40.1 MPa a los 28 días. Concluyeron que, la incorporación de un 3% de nano sílice al hormigón HVFA aumentó la reacción de hidratación temprana, resaltando las propiedades del concreto con cal y ceniza. Como aporte detalla el proceso para acrecentar la capacidad de la cal en la mezcla de concreto haciendo uso de otro producto residual.

Sokolovicz (2020) en su tesis doctoral traducida del portugués como “Evaluación de las propiedades mecánicas y microestructura de concretos de ultra altas prestaciones con adiciones minerales y residuos industriales” tuvo como objetivo analizar la microestructura y propiedades del concreto base (REF) y concreto de ultra altas prestaciones (CUAD) con cal hidratada, arena de fundición, adiciones puzolánicas y minerales inertes, curados húmedo (U) o con curado térmico (T). Determinó que, a los 91 días, la mezcla REF T alcanzó los niveles más altos de resistencia, con 172.61 MPa. Sin embargo, la mezcla REF U alcanzó niveles muy próximos a la REF T. Quedó claro que todas las mezclas con adiciones minerales y arena de fundición mostraron un rendimiento similar, tanto

para el curado húmedo como para el curado térmico, con variaciones de 141.72 MPa a 152.04 MPa. Como análisis final, concluyó que es posible desarrollar concretos de ultra altas prestaciones con adiciones minerales en mezclas binarias, ternarias y cuaternarias, y especialmente con residuos industriales, como la cal hidratada y la arena fenólica.

Garikapati & Sadeghian (2020) en su artículo traducido del inglés como “Comportamiento mecánico de bloques de concreto de lino-cal elaborados con agramizas de lino de desecho y aglomerante de cal reforzados con tejido de yute” plantearon por finalidad estudiar las propiedades físicas y mecánicas (densidad, capacidad de carga, modo de falla y comportamiento de carga-deflexión) de las muestras de concreto de lino-cal. Determinaron que, después de al menos 28 días de curado, el concreto lino-cal presentaba densidad media de 559 kg/m³, además mostró un comportamiento a compresión similar a los materiales de espuma aislante con resistencia a la compresión de 200 kPa y resistencia a la rotura por tracción de 64 kPa. En general, la variación en la posición y el número de capas de tejido de yute aumentó la capacidad de flexión y la absorción de energía en bloques de concreto de lino-cal. El sistema se puede usar en edificios para rellenar bloques de mampostería y rellenar huecos en las paredes.

Rolim (2020) en su tesis de maestría traducida del portugués como “Evaluación de parámetros de resistencia mecánica de material molido estabilizado con cemento Portland, cal y roca basáltica pulverizada para uso en pavimentación” planteó por fin analizar el efecto del cemento (4% y 6%) y adiciones de cal (3% y 6%) en una mezcla de material fresado con polvo de piedra, para caracterizar la resistencia a compresión a los 7 y 91 días de curado. Determinó que, con 4% de cemento + 3% de cal se obtenía resistencias de 1.45 y

3.34 MPa para tiempos de curado de 7 y 91 días con una densidad de 2 g/cm³. Con 4% de cemento y 6% de cal obtuvo 1.70 y 3.45 MPa, así mismo para concreto con 5% de cemento y 3% de cal obtuvo 2.49 MPa y 3.92 MPa, mientras que, con 5% de cemento y 6% de cal obtuvo 2.98 MPa y 4.41 MPa, correspondientemente. Concluyó que, este material se puede aplicar en obras de pavimentación.

Das et al. (2020) en su artículo traducido del inglés como “Propiedades frescas, de resistencia y microestructura del concreto geo polímero que incorpora cal y humo de sílice como reemplazo de las cenizas volantes” tuvieron como objetivo estudiar el concreto geo polímero (GPC). Utilizaron cal (LM) y humo de sílice (SF) como reemplazo parcial de las cenizas volantes como precursores de aluminosilicatos y se investigaron los efectos correspondientes sobre la frescura, la resistencia y la microestructura del concreto geo polímero. Los hallazgos de este estudio mostraron que el asentamiento y tiempo de fraguado del concreto aumentan al aumentar el contenido de SF y se reducen al aumentar el porcentaje de LM. El slump del GPC elaborado con 10% LM junto con 2% y 3% SF es un 50% y 93% mayor que el elaborado con 1% SF, no obstante, a mayor cantidad de cal como sustituto de las cenizas volantes mayor resistencia a compresión en el concreto. Concluyeron que, el uso de cal y humo de sílice en cantidades de 7.5% y 2% respectivamente, en sustitución de las cenizas volantes, produjo la mayor resistencia a la compresión. El aporte data en la validación de los beneficios de la cal en las propiedades del concreto en estado fresco.

Beires et al. (2019) en su artículo traducido del portugués como “Influencia de la cal hidratada sobre la masa de concreto convencional” pretendieron demostrar que además de mejorar la plasticidad de la masa de concreto, aumentará el rendimiento y en algunos casos no cambia la resistencia

por lo que, tuvieron como objetivo estudiar la influencia de la cal sobre la masa de concreto. La metodología utilizada para la dosificación del concreto fue EPUSP/IPT, fabricándose mezclas ricas, pobres e intermedias con cemento común CPII Z 32, la caracterización de los materiales y los ensayos de compresión se realizaron de acuerdo con la NBR's, además verificaron que, la cal presenta características químicas idóneas. El concreto con 0, 5, 10 y 20% de cal hidratada alcanzó un slump de 55, 100, 150 y 130 mm; y resistencias a compresión a los 28 días de 35.8, 28.4, 27.4 y 29.4 MPa, correspondientemente. El concreto con 20% de cal obtuvo una resistencia a la compresión de 30MPa, pero el mejor resultado encontrado fue sin el aditivo (cal), que obtuvo 40MPa de resistencia. Concluyeron que, se puede adicionar a la mezcla de concreto hasta 20% de cal.

Adesina & Olutoge (2019) en su artículo traducido del inglés como “Propiedades estructurales del concreto sostenible desarrollado a partir de ceniza de cáscara de arroz y cal hidratada” tuvieron como objetivo conocer el papel que juega la cal cuando se incorpora en mezclas de concreto producido con la sustitución parcial del cemento por residuos como cáscara de arroz (RHA). Las mezclas de RHA y cal se desarrollaron en dos series y se utilizaron para reemplazar parcialmente el cemento convencional a niveles de reemplazo del 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, mientras que la muestra de control tiene un contenido de 0% de cal-RHA. La resistencia a la compresión del concreto de cal RHA fue generalmente inferior a la del concreto convencional (control). Las muestras RHA-L-5%-1, RHA-L-10%-1, RHA-L-15% -1 y RHA-L-10%-2 fueron excepciones a esta observación ya que dieron mayor resistencia que el control a los 7 días de curado. Concluyeron que, el concreto RHA en una dosificación 1:2:4

con 10% de cal obtuvo 25 N/mm². Siendo este el concreto más favorable para su uso en la construcción sustentable.

Resende (2019) en su tesis traducida del portugués como “Adición de cal a concreto con aire incorporado para reducir el frente de carbonatación” tuvo como objetivo analizar el concreto con cal. La mezcla de concreto utilizada fue de 1:2:2:0.58 (cemento, arena media, grava, agua/cemento), con cal al 0%, 1%, 2% y 3% (sobre la masa de cemento). Determinó como resultados que, correspondientemente la masa específica era 2.30, 2.22, 2.22 y 2.19 g/cm³ en estado fresco y 2.13, 2.13, 2.04 y 2.09 g/cm³ en estado endurecido; además la absorción era 8.45, 8.71, 8.98, 9.05%, mientras que, la resistencia a compresión era 19.97, 18.52, 18.87 y 17.66 MPa para concreto con 0%, 1%, 2% y 3% de cal. Para la prueba de carbonatación acelerada, las probetas se colocaron en la cámara con una HR media del 35%. Al final del ensayo, la humedad media en la cámara, según los datos del Datalogger SH77X, se situó en torno al 67%, lo que demuestra la linealidad del aumento de esta variable. Sin embargo, el autor concluyó que, los resultados no son determinantes debido a la ausencia de un sensor para medir la concentración de CO₂ o el tiempo de exposición adoptado, por lo que, se deben realizar nuevos estudios al respecto. Evidencia la importancia de realizar los ensayos de forma adecuada para no obtener resultados incongruentes.

Felipe (2019) en su tesis traducida del portugués como “Análisis y estudio de la influencia de la adición de cal al hormigón fraguado al aire con vistas a reducir el frente de carbonatación” tuvo como objetivo replicar el estudio de Resende (2019) y comparar los resultados obtenido por él sobre la eficiencia de la adición de cal hidratada a la formulación del concreto, debido a que resultaron no concluyentes. También elaboró mezclas de concreto 1:2:2:0.58 (cemento,

arena media, grava, agua/cemento), con cal al 0%, 1%, 2% y 3% (sobre la masa de cemento). Determinó como resultados que, correspondientemente la masa específica era 2.19, 2.14, 2.07 y 2.15 g/cm³ en estado fresco y 2.07, 2.02, 1.92 y 2.04 g/cm³ en estado endurecido; además la absorción era 9.01, 8.91, 9.00, 9.06%, mientras que, la resistencia a compresión era 14.36, 16.22, 15.31 y 18.57 MPa para concreto con 0%, 1%, 2% y 3% de cal. Respecto a la carbonatación el concreto base mostró una profundidad de carbonatación de 3.2 mm a los 7 días, mientras que, las muestras con cal no se carbonataron. El autor concluyó que, demostró que la cal tenía poca influencia en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, pero era relevante en términos de carbonatación.

Silva et al. (2019) en su investigación tuvo como objetivo realizar un cálculo de mezcla máxima extrema para investigar el uso de mampostería de desecho (RM) y el efecto de cal en la sustitución parcial del cemento en concretos tricapa endurecidos en 28 días. Para ello, utilizaron la metodología de evaluación de propiedades como resistencia a la compresión, tracción indirecta, absorción, porosidad y succión capilar en estado fresco y endurecido. Determinaron que una mayor tasa de reemplazo de RM y menor cal tenían mejor resistencia a compresión en contraste con una mayor proporción de cal hidratada. Tras el curado de 28 y 60 días, se observó un incremento del 25.1% y 16.1%, respectivamente, en la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla estándar. Por lo tanto, el aporte de esta investigación a la presente es la optimización de la resistencia a compresión en concretos ternarios mediante la utilización de residuo de mampostería y cal hidratada.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Mauricio & Farfán (2021) en su artículo traducido del inglés como “Concreto estructural modificado con cal de conchas de abanico” tuvieron como fin determinar el efecto de la cal de vieira (SSL) sobre la resistencia a la compresión del concreto elaborado con cemento Portland tipo Ico y agregados naturales provenientes de una cantera en Trujillo, donde se adicionó SSL al 3%, 4% y 5%. Prepararon y curaron controles de concreto estándar agregando 3%, 4% y 5% de SSL (339.0183/ASTM C192M), los cuales se analizaron a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión a los 28 días fue de 242.63 kg/cm² cuando se añadió 3% de SSL, aumentando con respecto al control estándar en un 16%. Con la adición de 4% de SSL la resistencia máxima alcanzada fue de 245.25 kg/cm², y con el 5% la resistencia a la compresión alcanzada fue de 261.17 kg/cm², incrementándose en un 24%. En conclusión, el SSL incide positivamente en el acrecentamiento de la resistencia del concreto, siendo el porcentaje de mayor incidencia el 5%.

Aguilar & Díaz (2021) tuvieron como fin verificar si la añadidura de cal mejora las propiedades mecánicas del concreto $f'c$ 210kg/cm² en relación a la resistencia a la compresión. El estudio fue de enfoque cuantitativo, diseño experimental. Mediante el análisis de muestras de concreto con cal en diferentes porcentajes (0%, 4%, 8% y 12%) y sometiéndolas al ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, determinaron que la resistencia a la compresión del concreto con adición de cal fue superior al concreto patrón. En particular, encontraron que el porcentaje óptimo de adición de cal fue del 4%, logrando una resistencia a la compresión de 235.15kg/cm². Cuando se superaba el porcentaje de 4%, la resistencia del concreto disminuía progresivamente, es

decir con la dosificación de 4% de cal se lograba un acrecentamiento en la capacidad admisible respecto al concreto base (212.40 kg/cm²), mientras que, para las otras dosificaciones, 8% (227.97 kg/cm²) y 12% (215.45 kg/cm²), la capacidad mecánica del concreto era menor que el concreto con 4% de cal, pero en todos los casos cumplían con el f'_c de diseño (210kg/cm²). Por lo que, concluyeron que la añadidura de cal favorece significativamente la resistencia del concreto cuando se adiciona a la mezcla, aportando así nuevos conocimientos a la presente investigación.

Velasquez (2020) tuvo como fin sustituir el cemento por la combinación de cal y ceniza de planta de maíz en la preparación de concreto y determinar la combinación que ofrece el mejor comportamiento mecánico. Para lograrlo, utilizó la metodología de evaluar el desempeño mecánico del concreto ante la acción de cargas axiales en probetas de concreto con cemento sustituido aleatoriamente por la combinación de cal y ceniza de planta de maíz (8 - 12%). De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis FRXDE, se determinó que tanto la cal como la ceniza de planta de maíz poseen propiedades cementantes, con porcentajes de óxidos de Silicio y Calcio de 46.81% y 6.43% respectivamente. La combinación óptima de sustitución fue la que contenían un 8% de aditivos, cal (6%) y ceniza de planta de maíz (2%), en reemplazo del cemento, logrando una resistencia de 244.87 Kg/cm², que fue 34.87 Kg/cm² mayor al concreto base. Por lo tanto, concluyó que es factible utilizar la combinación de cal y ceniza de maíz para sustituir el cemento en un 8% en la producción de concreto, lo cual brinda mayor resistencia a la compresión. El aporte fue demostrar la viabilidad y los beneficios del uso de esta combinación en la preparación de concreto estructural.

Pajuelo (2019) tuvo como objetivo determinar si la combinación de arcilla (0%, 7% y 9%) y cal (0%, 10% y 12%) puede reemplazar al cemento en cierta proporción para mantener o mejorar la resistencia a compresión del concreto. Analizó la composición química de la cal verificando que, presentaba 71.27% de CaO. Determinó que, la resistencia de los núcleos producidos utilizando la combinación cemento/cal fue significativamente mayor que la del concreto estándar (sin sustitución) que obtuvo 212 kg/cm². A los 28 días, usando 90% de cemento y 10% de cal obtuvo 235.77 kg/cm², lo que, representa el 112.27% de la resistencia estándar (210 kg/cm²); mientras que, la combinación que contiene 88% de cemento y 12% de cal alcanzó 237.22 kg/cm², lo que supone que representa 112.96% de la resistencia estándar; en cambio la combinación con 81% de cemento, 10% de cal y 7% de arcilla, tan solo alcanzó 222.09 kg/cm² de resistencia a compresión, siendo esta la dosificación más adecuada si se desea utilizar cal y arcilla en combinación. Concluyó que, la mayor resistencia se alcanza al combinar solamente la cal con el cemento para producir concreto.

Pacco (2016) tuvo como objetivo analizar el impacto de adicionar 0%, 5%, 10% y 15% de cal en la producción de concreto. Midió la resistencia a compresión del concreto con cada porcentaje de cal añadida. Determinó que la cantidad de cal añadida afecta la resistencia a compresión del concreto, observando una disminución significativa cuando se añadía un 10% y 15% de cal. Concluyó que un 5% de cal es aceptable y permite controlar la resistencia del concreto dentro de los límites aceptables, lo que resulta en una reducción en el costo unitario de la producción de concreto. Por lo tanto, su aporte a la presente investigación fue la evidencia de que la adición de cal en un 5% es beneficiosa y puede permitir un ahorro en los costos de producción.

2.1.3. Antecedentes regionales

Benavidez & Benavidez (2021) tuvieron como fin analizar las propiedades mecánicas del ladrillo de concreto con adición de cal y PET reciclado. Realizaron diferentes mezclas de concreto con proporciones variables de cal (3%, 6% y 9%) y PET reciclado (3%, 6% y 9%) en relación al peso de cemento y volumen de agregados, se determinó que todas las mezclas presentaron una disminución en la resistencia a la compresión en comparación con el diseño inicial. El concreto con 0%, 3%, 6% y 9% de cal alcanzó a los 28 días 225.23, 230.17, 213.67 y 206.63 kg/cm². Sin embargo, todas las mezclas superaron la resistencia a la compresión del ladrillo de concreto estándar especificado en la norma E.070. Como resultado, se concluyó que la mejor dosificación de concreto fue aquella con un 9% de cal y un 9% de PET, ya que presentó la mayor resistencia a la compresión en unidad (188.75 kg/cm²). El estudio aportó nuevos conocimientos en el campo de la construcción de ladrillos de concreto con adiciones de cal y PET reciclado.

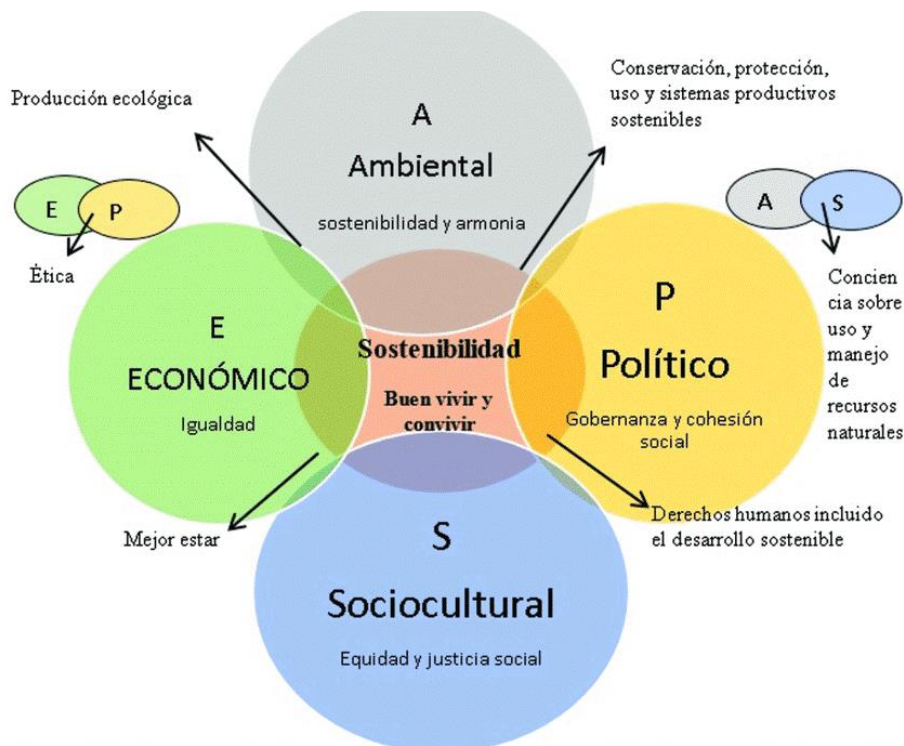
Malca (2018) tuvo por fin estudiar el efecto de la adición de diferentes porcentajes de cal viva del distrito de Bambamarca en las propiedades del concreto. Determinó que la cal viva presenta un alto contenido de impurezas de carbón (6.2%) y óxido de hierro (0.64%). Además, adicionó 0%, 1%, 3% y 5% de cal viva al concreto, concluyendo que, la resistencia del concreto disminuye en un 14%, 22% y 24.8%, respectivamente, por debajo de la resistencia esperada (210 kg/cm²), por lo que, evidenció que el aditamento de cal viva en el concreto puede afectar negativamente sus propiedades mecánicas. El estudio aportó información relevante para comprender el comportamiento del concreto con cal.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. *Desarrollo sostenible en la construcción: Reemplazo del cemento por cal en la producción de concreto*

El desarrollo sostenible busca mantener un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección ambiental y la justicia social (Enders & Remig, 2014). Hay diferentes enfoques para abordarlo, incluyendo la sostenibilidad débil, fuerte y absurdamente fuerte (Shi et al., 2019). La sostenibilidad débil es optimista sobre la capacidad humana y la sostenibilidad absurdamente fuerte subestima el papel de la tecnología, en cambio, la sostenibilidad fuerte busca encontrar un equilibrio, pero establece umbrales que pueden obstaculizar el desarrollo económico (Nasrollahi et al., 2018). Por lo que, la teoría del desarrollo sostenible se basa en alcanzar un equilibrio a largo plazo entre las dimensiones y tipos de sostenibilidad (Colangelo et al., 2020).

Figura 2 Dimensiones del Desarrollo Sostenible



Nota: (Murillo et al., 2021).

La sustitución parcial del cemento por cal en el concreto se relaciona con la teoría del desarrollo sostenible al disminuir las emisiones de CO₂ y disminuir la huella ambiental negativa de la fabricación de cemento. Además, permite generar ahorros económicos y promover el desarrollo local.

2.2.1.1. Análisis comparativo de la emisión de CO₂ entre la cal y el cemento

En primer lugar, es necesario entender que tanto la cal como el cemento son materiales ampliamente utilizados en la construcción y tienen diferentes propiedades y aplicaciones. La cal se obtiene de la calcinación de la piedra caliza, mientras que el cemento se produce mediante la molienda de materiales como la piedra caliza, la arcilla y el yeso.

La principal diferencia en términos de emisión de CO₂ entre la cal y el cemento radica en el proceso de producción. La fabricación de cemento implica la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono durante la calcinación de la piedra caliza y el consumo de grandes cantidades de energía en el proceso de molienda. Según datos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, la producción de una tonelada de cemento puede generar aproximadamente una tonelada de CO₂ (León-Velez & Guillén-Mena, 2020).

Por otro lado, la producción de cal también puede generar emisiones de CO₂, pero en una cantidad mucho menor en comparación con el cemento. Según Davidovits (1994), la producción de una tonelada de cal puede generar alrededor de 0.55 toneladas de CO₂.

Además, otro aspecto relevante es el uso de estos materiales en la construcción. Mientras que el cemento es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones, desde la fabricación de concreto hasta la producción de mortero, la cal se utiliza principalmente en aplicaciones como la restauración de edificios

antiguos y la construcción de estructuras, pero como aditivo para darle trabajabilidad a la mezcla.

En términos generales, el uso de cal en lugar de cemento puede reducir significativamente las emisiones de CO₂ asociadas a la construcción. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la elección del material adecuado también depende de la aplicación específica y de las propiedades requeridas en cada caso.

En conclusión, la producción de cemento genera significativamente más emisiones de CO₂ que la producción de cal. Esto se debe al proceso de calcinación y al consumo de energía en la producción de cemento. Sin embargo, la elección del material adecuado también depende de las propiedades y aplicaciones específicas en la construcción.

Tabla 1

Cuantificación del Consumo Energético y Emisiones de CO₂ Durante la Producción de Cemento

Procesos unitarios	Consumo de energía (MJ/t)	Emisiones de CO₂ (kgCO₂/t)
1. Trituración	24.48	2.89
2. Pre homogenización	4.44	0.64
3. Molino de crudo	115.22	21.24
4. Homogenización del crudo	24.14	4.45
5. Clinkerización (combustible)	2750.59	215.27
6. Clinkerización (proceso industrial)		228.98
Total, subsistema 1	2918.87	473.47
1. Molienda de cemento	262.53	35.16
2. Despacho de cemento	10.55	1.94
Total, subsistema 2	273.08	37.10
Total, sistema	3191.95	510.57

Nota: Los mismos procedimientos se ejecutan durante la producción de cal, con la diferencia de que, el proceso se detiene en la clinkerización en combustible, mientras que, para producir cal los procesos continúan hasta completar el total del subsistema 2 (León-Velez & Guillén-Mena, 2020).

2.2.2. *Comportamiento de la cal hidratada en la mezcla de concreto*

La función de la cal hidratada en la construcción es actuar como aglutinante en la preparación de morteros y concreto. Aporta propiedades como plasticidad, viscosidad y retención de agua en el mortero fresco, y contribuye a la resistencia mecánica del material endurecido por la reacción puzolánica y carbonización.

Desde hace miles de años, la cal ha sido un material de construcción importante. Durante la época romana, se destacó la gran plasticidad de la cal viva. Es posible que la cal haya sido uno de los primeros nanomateriales utilizados por los humanos (Calabuig, 2015). En la actualidad, la “cal de construcción” se utiliza como aglutinante en la preparación de morteros y concreto según la norma EN 459-1 (2016) aporta propiedades como plasticidad, viscosidad y retención de agua en el mortero fresco, así como resistencia mecánica en la solución endurecida debido a la reacción puzolánica y carbonización.

Al utilizar cal hidratada en el concreto, este se vuelve más denso debido a que las partículas de la cal son más finas que las del cemento, lo que permite llenar los espacios vacíos dejados por el material y reduce la decoloración y previene el agrietamiento. La cal viva también ayuda a las estructuras a resistir temperaturas extremas. Incluso en climas cálidos o secos, la cal viva mantiene los cuerpos de concretos húmedos durante más tiempo gracias a su capacidad de absorber agua, lo que permite que alcance su máxima resistencia cuando se hidrata adecuadamente. La alta plasticidad de la cal asegura una mezcla densa de los materiales, evitando su separación (Montoya, 2022). La cal hidratada mejora la densidad, absorción de agua, resistencia a las temperaturas extremas y plasticidad del concreto, lo que resulta en una mejor calidad y durabilidad de las estructuras.

2.2.3. *Uso de la cal para resistencias altas a compresión del concreto*

El uso de cal en la elaboración de concreto tiene diversos beneficios. Además de proporcionar mayor fluidez al material, la presencia de cal ayuda a proteger las armaduras de acero contra la corrosión, lo que contribuye a prolongar la vida útil estructural. La cal mejora la estanqueidad del concreto, reduciendo la posibilidad de filtraciones de agua y aumentando su durabilidad en ambientes húmedos (Montoya, 2022). El concreto con cal ofrece una mayor elasticidad y ayudan a acomodar movimientos menores y cambios de volumen, reduciendo el movimiento de las juntas. Es más flexibles y puede absorber un alto grado de deformación antes de la rotura. Las estructuras de concreto-cal han demostrado ser más duraderas que, frágiles cuando se someten a esfuerzos normales, como deformaciones imprevistas (temblores) u otros (Horcalsa, 2020).

Un aspecto destacado del concreto de cal es su capacidad de endurecerse a lo largo del tiempo. A diferencia de otros materiales, el concreto de cal no empeora con el paso del tiempo, sino que se fortalece. Esto se debe a la reacción química entre la cal y el dióxido de carbono presente en la atmósfera, que produce carbonato de calcio. Esta reacción ayuda a que el concreto alcance la dureza de la piedra original, sin la necesidad de otros aditivos (EcoUltravioleta, 2020).

Así mismo, es importante mencionar que la cal hidratada actúa como aglutinante en los morteros y concreto gracias a su capacidad para reaccionar con el dióxido de carbono y formar carbonato de calcio. Esta reacción también puede ocurrir con otros elementos presentes en materiales puzolánicos, como la sílice y la alúmina. Estos compuestos se combinan con la cal y el agua en el proceso de hidratación, formando silicatos y aluminatos de calcio que pueden en algunos casos aumentar la resistencia del concreto (Silva et al., 2019).

2.2.4. Rigidización del concreto a edades tempranas y su relación al utilizar cal

Desde el momento en que se fabrica el concreto, comienza una reacción química entre el cemento y el agua, lo que hace que la mezcla primero pierda su fluidez y se endurezca, y luego se endurezca y adquiera resistencia mecánica. El desarrollo de estos cambios de aspecto y características se caracteriza por una fase inicial denominada “estado de reposo”, durante la cual la consistencia o fluidez inicial de la mezcla de concreto permanece invariable sin cambios significativos. Luego viene la segunda fase, el período en que comienza la mezcla a perder fluidez notablemente hasta convertirse en una sustancia dura pero quebradiza, que sin embargo ya no es moldeable, se denomina período de solidificación; finalmente en este momento comienza la tercera etapa, que puede durar varios años y se manifiesta por el propio endurecimiento o resistencia mecánica del concreto. No hay signos precisos por los cuales uno pueda determinar con precisión los límites entre estos períodos, ya que es un desarrollo gradual del mismo proceso. Sin embargo, el inicio y el final del endurecimiento del concreto se pueden determinar mediante una prueba de resistencia a la penetración (ASTM C 403). El tiempo de endurecimiento del concreto depende de una serie de factores externos determinados por las condiciones de campo, el más pronunciado de los cuales es el efecto de la temperatura. A una temperatura constante, el tiempo de fraguado puede variar ligeramente según el contenido, la calidad y el tamaño del bloque de cemento (Aguilar et al., 2019). Por ejemplo, tienden a endurecerse más rápido: Mezclas de concreto con alto consumo de cemento, por lo que, las mezclas de concreto a base de cemento Portland Tipo III son mejores que los concretos Tipo II. Sin embargo, estos cambios en el tiempo de coagulación suelen tener poco valor práctico y no se pueden cambiar por esta sola razón (Aguilar J. M., 2015).

Otro aspecto relacionado con el efecto del cemento en el tiempo de fraguado del concreto se refiere al uso frecuente de aditivos para aumentar el tiempo de fraguado cuando es necesario, por ejemplo, cuando se vierten grandes volúmenes de concreto, especialmente cuando se hace a temperaturas ambiente elevadas. Históricamente, algunos retardadores han podido reaccionar negativamente con ciertas formulaciones de cemento, causando que la mezcla fragüe prematuramente, dificultando su uso. Para evitar este inconveniente, se recomienda verificar el desempeño del concreto en cemento y los aditivos propuestos mediante la realización de pruebas preliminares (Aguilar et al., 2019).

Respecto al efecto de la cal en la rigidización del concreto es importante tener en cuenta que puede variar dependiendo de la cantidad agregada y las características específicas de la mezcla. Por lo tanto, se recomienda realizar pruebas preliminares para analizar la resistencia del concreto cuando se agrega cal, y ajustarlo según sea necesario. La cal puede actuar como un retardante de fraguado en el concreto, lo que significa que ralentiza la reacción química entre el cemento y el agua. Esto puede resultar en un tiempo de fraguado más prolongado, lo que permite un mayor tiempo de trabajo y manipulación del concreto antes de que se vuelva demasiado rígido. El uso de cal en el concreto generalmente aumenta el tiempo de fraguado y, por lo tanto, no aumenta la resistencia a corto plazo, pero con el tiempo aumentará la resistencia del concreto que contiene cal, lo que dará como resultado una mayor durabilidad (EcoUltravioleta, 2020). Por otro lado, la cal puede reaccionar con los compuestos de hidróxido de calcio presentes en el concreto, produciendo compuestos químicos adicionales que aumentan la rigidez.

2.2.5. Comportamiento físico de la cal en una mezcla de concreto

2.2.5.1. Retracción de la mezcla de concreto de alta resistencia

La causa principal de la retracción es la evaporación del agua presente en el concreto. Este proceso de evaporación crea un desequilibrio entre las presiones de vapor en los tubos del concreto y los poros de la pasta. Para entender mejor este fenómeno, se puede recurrir a la ley de Lord Kelvin, que establece que la tensión superficial de un fluido se rige por la expresión conocida como la ley de La Place. De acuerdo con esta ley, cuando el agua presente en el concreto se evapora, se forma un menisco que ejerce una presión triple sobre el sustrato sólido. Esto se debe a que el gas que reemplaza al agua ocupa un espacio adicional en el concreto. Como resultado de estos cambios en las presiones y volúmenes de los fluidos, se producen reordenamientos en el flujo de búsqueda (Gonzales, 1962). Estos análisis propuestos, presentan una perspectiva interesante para comprender la retracción del concreto. Aunque aún falta desarrollar una teoría completa que explique este fenómeno, estos criterios contribuyen a mejorar la comprensión de la retracción del concreto.

2.2.5.2. Segregación de la mezcla de concreto de alta resistencia

La segregación en el concreto de alta resistencia puede ser explicada por teorías como la sedimentación diferencial, la segregación por fuerza centrífuga y la segregación por movimiento oscilatorio (Gonzales, 1962). La teoría de sedimentación diferencial, sugiere que la segregación ocurre debido a la diferencia en tamaño y densidad de los componentes del concreto. Durante el mezclado, los agregados más pesados tienden a precipitarse hacia el fondo del concreto, mientras que los componentes más livianos, como el cemento, se mueven hacia la superficie. Esto resulta en una segregación vertical. Otra teoría

es la teoría de la segregación por fuerza centrífuga, que se aplica en el transporte y colocación del concreto de alta resistencia. Durante el proceso de bombeo, el concreto se somete a altas velocidades y, debido a la inercia, los componentes más pesados tienden a separarse de los más livianos. Esta fuerza centrífuga genera una segregación lateral, donde los agregados más grandes y pesados se distancian de la mezcla y se acumulan en los bordes del concreto. Además, la teoría de la segregación por movimiento oscilatorio también ha sido propuesta. Esta teoría señala que las vibraciones y movimientos del concreto durante su colocación pueden causar la segregación. Las partículas más grandes y pesadas son empujadas hacia los bordes del concreto, mientras que las partículas más pequeñas y livianas se mueven hacia el centro. Esto resulta en una distribución desigual de los componentes y, por lo tanto, en una segregación.

2.2.5.3. Durabilidad del concreto de alta resistencia

Las teorías científicas que sustentan la durabilidad del concreto incluyen la hidratación del cemento, la relación agua-cemento y el tamaño y distribución de las partículas. Estas teorías ayudan a comprender cómo se forman y se fortalecen las estructuras de concreto, permitiendo que el material sea duradero y resistente a largo plazo (Gonzales, 1962). Primero, la teoría de la hidratación del cemento es fundamental para comprender la durabilidad del concreto. Durante este proceso, el cemento reacciona con el agua para formar una matriz sólida que le da fuerza y resistencia. En el caso del concreto de alta resistencia, se utilizan materiales como el cemento Portland de alto contenido de sílice, lo que crea una matriz más densa y fuerte. Además, la teoría de la relación agua-cemento juega un papel significativo en la durabilidad del concreto de alta resistencia. Esta teoría establece que cuanto menor sea la relación agua-cemento, mayor será la

resistencia del concreto. En el caso del concreto de alta resistencia, se utiliza una menor cantidad de agua en la mezcla, lo que resulta en una matriz más densa y resistente. Otra teoría relevante es la de la dimensión y colocación de las partículas. Para lograr un concreto de alta resistencia, se utilizan agregados finos y gruesos de alta calidad y bien graduados. Esto significa que las partículas son de tamaño uniforme y se distribuyen de manera equilibrada en la mezcla, lo que contribuye a una mayor durabilidad del concreto.

2.2.6. *Sustitución del cemento por cal para elaborar concreto de alta resistencia*

Dado que el cemento ha gozado de gran popularidad en el mundo de la construcción durante muchos años, últimamente se ha observado un cierto ambiente de demanda del uso de la cal por diversos motivos. Si se utiliza concreto de cal en lugar de concreto de cemento, también se puede evitar algunos problemas causados por una dureza demasiado alta del cemento, la presencia de sal o problemas causados por la estanqueidad. Pero no se puede reemplazar automáticamente la cal con cemento, porque hay ciertos aspectos entre estos dos materiales que deben controlarse. La primera tiene que ver con mezclar el agua. Si se quiere lograr una resistencia significativa del concreto de cal, se debe intentar reducir la cantidad de agua de amasado. Como todos saben, la cal es un producto muy fino con una gran superficie específica y requiere mucha agua para conseguir una buena consistencia. Típicamente, esta trabajabilidad se logra agregando agua. Pero una relación agua/aglutinante alta reduce significativamente la durabilidad, por lo que se debe buscar aditivos (superplastificantes) que puedan reducir esta relación. Tradicionalmente, ciertas sustancias naturales (clara de huevo, cenizas, etc.) realizan esta función, y existen varios buenos aditivos reductores de agua que funcionan bien con la cal (Pajuelo, 2019).

La sustitución parcial del cemento por cal en el concreto es una práctica común conocida como concreto con cal. Esta técnica se utiliza principalmente en situaciones donde se busca mejorar la trabajabilidad, la durabilidad y las propiedades del concreto. Tiene como beneficios: (Ghareeb et al., 2022)

Mejora de la trabajabilidad: La cal actúa como un agente plastificante y permite que el concreto se mezcle y se trabaje más fácilmente. La cal aumenta la plasticidad del concreto, lo que significa que la mezcla se vuelve más maleable y fácil de manipular. Esto facilita la colocación del concreto en moldes o en el área de construcción. Esto es especialmente útil en condiciones donde el concreto necesita fluir libremente (Bentz et al., 2015).

Mejora de la durabilidad: La cal mejora la durabilidad del concreto al actuar como un agente de curado químico, es decir, promueve el proceso de hidratación del cemento. Al agregar cal al concreto, se forman compuestos químicos adicionales que aumentan la resistencia y la durabilidad del material. Además, la cal reduce la permeabilidad del concreto, lo que ayuda a prevenir la penetración de agentes agresivos, como el agua y los contaminantes. Esto contribuye a una mayor durabilidad y vida útil del concreto (Ghareeb et al., 2022).

Mayor resistencia al ataque químico: La adición de cal al concreto puede proporcionar una mayor resistencia a sustancias químicas corrosivas, como los sulfatos presentes en el suelo o el agua de mar. En primer lugar, la cal reacciona con los ácidos presentes en el agua y en los agentes químicos corrosivos, formando compuestos insolubles que actúan como una barrera protectora para el concreto. Esto evita que los ácidos penetren en la estructura y dañen la matriz del concreto. Además, la cal tiene propiedades alcalinas que neutralizan la acidez y ayudan a mantener un ambiente alcalino en el concreto, lo que inhibe la corrosión

de las armaduras de acero. Esto es particularmente importante en estructuras ubicadas en entornos agresivos (Ghareeb et al., 2022).

Reducción de la retracción: La cal tiene propiedades de retardo de fraguado, lo que significa que ayuda a reducir la contracción del concreto durante el proceso de endurecimiento. Esto puede ser beneficioso en aplicaciones donde se requiere una mayor resistencia a la fisuración (Ghareeb et al., 2022).

Reduce la segregación: La segregación es el proceso en el que los materiales más finos se separan de los más gruesos durante el transporte y colocación del concreto. La adición de cal al concreto ayuda a reducir la segregación al mejorar la cohesión de la mezcla. La cal reduce la segregación del concreto gracias a sus propiedades como agente aglutinante. Al agregarse a la mezcla, la cal ayuda a mejorar la adherencia entre las partículas de los agregados y la pasta de cemento, lo que evita la segregación. Además, la cal contribuye a la formación de una estructura más compacta y resistente al reducir la cantidad de agua libre en la mezcla. Esto ayuda a que los componentes del concreto se distribuyan de manera homogénea, evitando la separación de los materiales más finos y pesados (Bentz et al., 2015).

Mejora de la adherencia: La cal ayuda a aumentar la cohesión del concreto al actuar como un aglutinante, lo que significa que ayuda a unir las partículas de agregado y cemento. Esto resulta en una mezcla más homogénea y fácil de trabajar. La cal puede mejorar la adherencia del concreto a las superficies de aplicación, como ladrillos, bloques de hormigón u otros materiales de construcción. Esto es especialmente útil en la construcción de muros y revestimientos (Rafael, 2015).

Mejora de la estabilidad volumétrica: La cal ayuda a controlar los cambios volumétricos del concreto debido a la carbonatación. La cal mejora la estabilidad volumétrica del concreto al controlar la presencia de compuestos expansivos en la mezcla. Estos compuestos, como los sulfatos y algunos minerales arcillosos, pueden causar expansión y contracción no deseada en el concreto, lo que puede resultar en fisuras y agrietamientos. La cal reacciona con estos compuestos, formando productos químicos estables y no expansivos que evitan los cambios dimensionales no deseados. Además, la cal también tiene propiedades de hidratación más lentas en comparación con el cemento, lo que ayuda a evitar la generación de tensiones internas en el concreto durante el proceso de fraguado (Rafael, 2015).

Beneficios medioambientales: La cal es un material abundante y ampliamente disponible, y su producción requiere menos energía y emite menos CO₂ que la producción de cemento Portland. Además, el proceso de fabricación de cemento requiere grandes cantidades de energía y recursos naturales, mientras que la producción de cal es más simple y utiliza menos recursos. La sustitución parcial del cemento con cal puede ayudar a reducir la huella de carbono de la construcción. posibilidad de agrietamiento y daños a largo plazo (Bentz et al., 2015). Por lo tanto, el uso de cal como sustituto del cemento en la producción de concreto puede ayudar a reducir las emisiones de carbono y disminuir el impacto ambiental de esta industria.

Pero, se debe tener cuidado al seleccionar el tipo de cal adecuada para la aplicación específica, ya que existen diferentes tipos de cal, como la cal hidratada y la cal aérea, que pueden tener características químicas y físicas distintas, y cuyo efecto en las propiedades del concreto pueden variar de acuerdo a la dosificación.

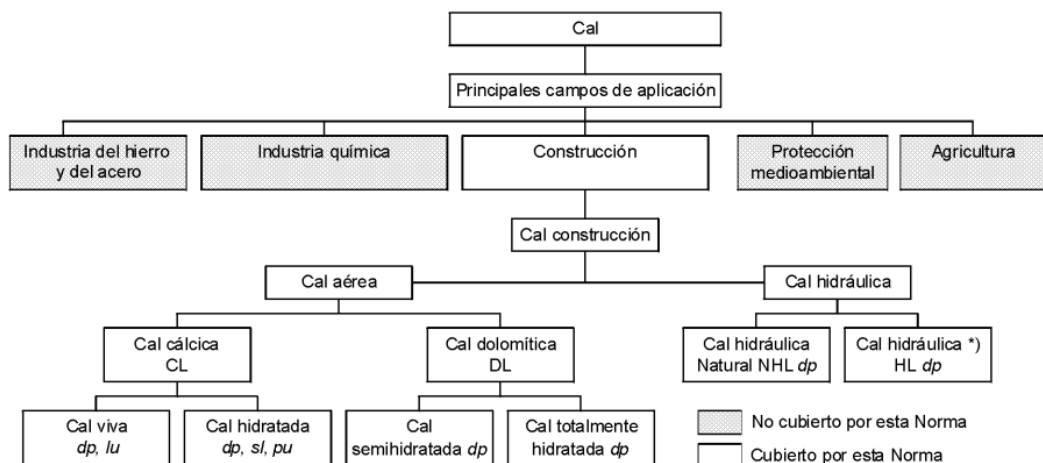
2.3. Marco conceptual

2.3.1. Cal

La cal es el término para todas las formas naturales de óxido de calcio (CaO), compuesto químico inorgánico de color blanco que, se obtiene mediante la cocción de piedra caliza o dolomita, un material polivalente utilizado en la construcción desde hace miles de años (Parra-Gómez, 2018). En la construcción, la cal se utiliza como material de construcción desde tiempos ancestrales. Suele presentarse en forma de pasta o polvo, y se utiliza principalmente como aglomerante en la elaboración de morteros y como revestimiento en acabados. La cal se utiliza para construcción de los muros, se utiliza como revestimiento de paredes y pisos, puentes y canales y como base para murales, especialmente en la técnica de pintura mural (del fresco) (Varas, 2018). La cal es apreciada por sus propiedades de adherencia, durabilidad y resistencia al agua y compuestos químicos que producen eflorescencia y/o carbonatación.

Figura 3

Representación Esquemática de los Tipos de Cal y los Campos de Aplicación



Leyenda

Formas de suministro

dp polvo seco
sl suspensión (lechada de cal)
lu terrón
pu pasta

Nota: Norma UNE 459-1 (AENOR, 2016).

2.3.1.1. Tipos de cal

Cal viva. Se forma cuando el carbonato de calcio (CaCO_3) se quema a temperaturas superiores a 1000°C y luego se descompone para formar CO_2 y óxido de calcio o cal apagada (Varas, 2018).



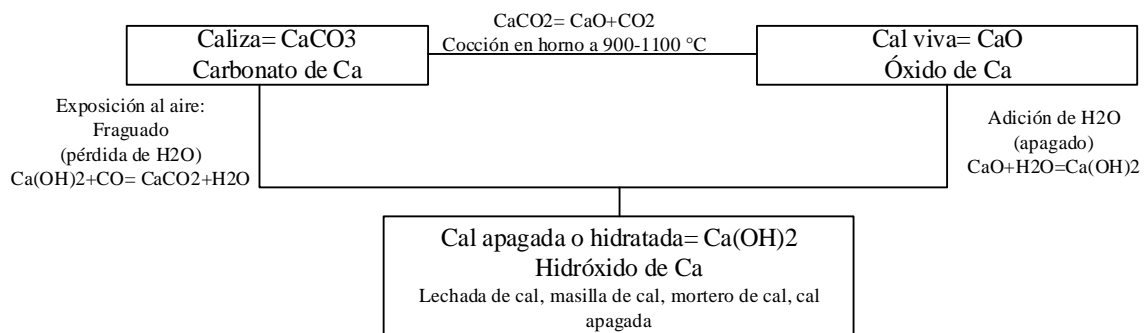
Cal hidratada. Hidróxido de calcio, que se forma cuando la cal viva se diluye con agua. Durante este proceso, el agua libera mucho calor y utiliza el agua que se evapora. Conocido como cal apagada, es un compuesto inorgánico de fórmula química $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Varas, 2018).

Cales aéreas. Cales originadas con la reacción del CO_2 u otras fuentes de CO_2 en el aire. Ver clasificación: (Varas, 2018)

- Cal dolomítica. También llamada cal-gris o cal-estéril. Llamada así porque se obtiene de la caliza dolomítica, no se recomienda para la construcción.
- Cal cálcica o grasa. Es cal muy pura o con muy bajo contenido de arcilla (95% de óxido de calcio). Es muy efectivo para hacer mezclas al aire.

Cales hidráulicas. Llamadas cementos porque se endurecen en contacto con el agua. Contienen del 10%-20% de arcilla y su cementación se logra por la carbonatación de la cal y la hidratación de silicatos y aluminatos (Varas, 2018).

Figura 4 Ciclo de la Cal Aérea



Nota: Adaptado de (Varas, 2018).

2.3.1.2. Proceso de producción y uso de la cal

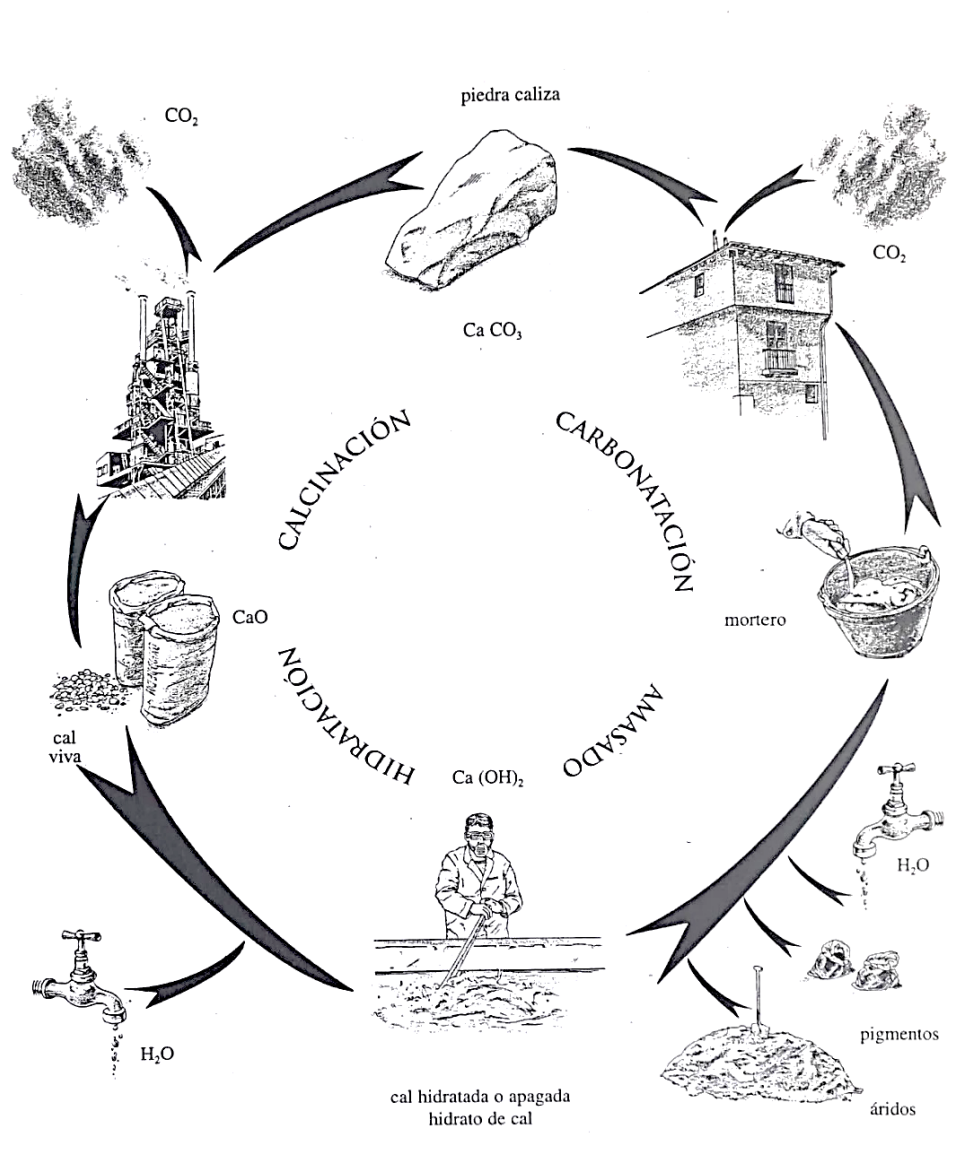
Dado que, la cal se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, contribuyendo así al desarrollo y crecimiento de la infraestructura; la producción de cal consta de varias etapas sucesivas: (Varas, 2018).

- Extracción. Se muele, se carga y se traslada el material a la planta , mediante la utilización de maquinaria pesada como excavadoras y camiones volquete.
- Trituración. Los fragmentos de piedra se zarandean y luego se lleva al horno.
- Calcinación. La producción de cal se da por combustión de sustancias térmicas que circulan a través de los poros o poros en fragmentos de roca. La Piedra pierde CO₂ y forma óxido de calcio. Debido a que todas son de igual forma y tamaño, la cocción es a una la temperatura mayor a los 900 °C durante el tiempo necesario según el tamaño que la piedra posea.
- Enfriamiento. Se deja enfriar la piedra caliza a fin de obtener cal viable.
- Inspección. Se inspecciona la muestra para retirar la presencia de vetas o fragmentos que se hayan quedado sin triturar.
- Cribado. En caso de determinar trozos gruesos y troceados de cal se zarandea
- Trituración y pulverización. Este se utiliza para refinar aún más la cal y obtener cal molida y más triturada. Esta trituración se lleva a cabo en una trituradora de mandíbulas que reduce los fragmentos a un tamaño más fino.
- Hidratación. Consiste en añadir agua a la cal viva para producirla. La cal hidratada con dolomita con alto contenido de calcio se agrega al agua y se pasa a través de un separador de residuos para obtener cal viva con gran composición de calcio.
- Envase y embarque. Se procede a embolsar la cal y se traslada a la zona de despacho para la entrega final al cliente.

En cuanto al uso de la cal en la industria de la construcción, esta se utiliza en combinación con la mezcla del concreto y/o mortero, así como en el mejoramiento y estabilización de suelos de carreteras y edificaciones. En ambos casos, la cal se mezcla con agua, pero durante su endurecimiento absorbe CO₂ del ambiente; y dado que se libera CO₂ durante su producción, este proceso puede considerarse como circular (EcoUltravioleta, 2020).

Figura 5

Ciclo de Producción y Uso de la Cal



Nota: (EcoUltravioleta, 2020).

2.3.1.3. Ventajas de la cal frente al cemento

Según EcoUltravioleta (2020), las ventajas de la cal sobre el cemento son:

Durabilidad: Una de las principales cualidades de los morteros de cal es que se endurecen hasta alcanzar la dureza de la piedra original, sin necesidad de ningún otro componente aparte del CO₂ atmosférico. A diferencia del cemento, la cal no se deteriora con el tiempo, sino que se va consolidando con los años.

Transpirabilidad: La cal permite que los soportes respiren, ya que es impermeable al agua, pero permite el paso del vapor. Esto es beneficioso para prevenir filtraciones y humedades. Por el contrario, el cemento no permite la transpiración, lo que lleva a la acumulación de condensación y fomenta el crecimiento de moho y bacterias, problemas comunes en edificios.

Salud e higiene: Debido a su alcalinidad, la cal evita la proliferación de bacterias y moho, además de actuar como fungicida. Por su parte, el cemento no posee estas propiedades.

Trabajabilidad: En este aspecto, la cal no tiene nada que envidiar al cemento, ya que permite obtener morteros muy plásticos y de fácil manipulación.

Tabla 2

Comparación de la Cal y el Cemento

Cal	Cemento
Roca caliza, materia prima natural	Uso de residuos de industria y aditivos en su fabricación
Proceso de fabricación sencillo	Proceso industrial complejo
hornos a 900-950 °C	hornos a 1450 °C
Absorbe CO ₂ en el fraguado	Pierde cualidades con el paso del tiempo
Mejora su resistencia con el paso del tiempo	No transpira, problemas de humedad y mala calidad del aire interior
Transpira	No tiene propiedades bactericidas
Es bactericida y fungicida	No es biodegradable
Es biodegradable	

Nota: (EcoUltravioleta, 2020).

2.3.1.4. Requisitos técnicos

La cal debe cumplir con ciertos requisitos técnicos (propiedades físicas y químicas) para su uso en la construcción, estos requisitos se encuentran detallados en la norma española UNE 459-1 (AENOR, 2016). La cal hidratada utilizada en la construcción debe cumplir una serie de requisitos técnicos establecidos; en primer lugar, debe poseer una composición química adecuada, con un contenido de óxido de calcio (CaO) superior al 90%; además, debe estar libre de impurezas como arcillas, sulfatos y carbonatos, que podrían afectar su rendimiento; en cuanto a la finura, debe tener una granulometría adecuada, con un porcentaje de residuos en tamiz de 45 μm no superior al 5%, esto garantiza que la cal se distribuya uniformemente en la mezcla y se adhiera eficientemente a los materiales de construcción; además, la cal hidratada debe cumplir con requisitos de resistencia a la hidratación, es decir, debe tener una capacidad adecuada para reaccionar con el agua y formar la cal hidratada en un tiempo determinado.

Tabla 3

Requisitos que Debe Cumplir la Cal para su Uso en Construcción

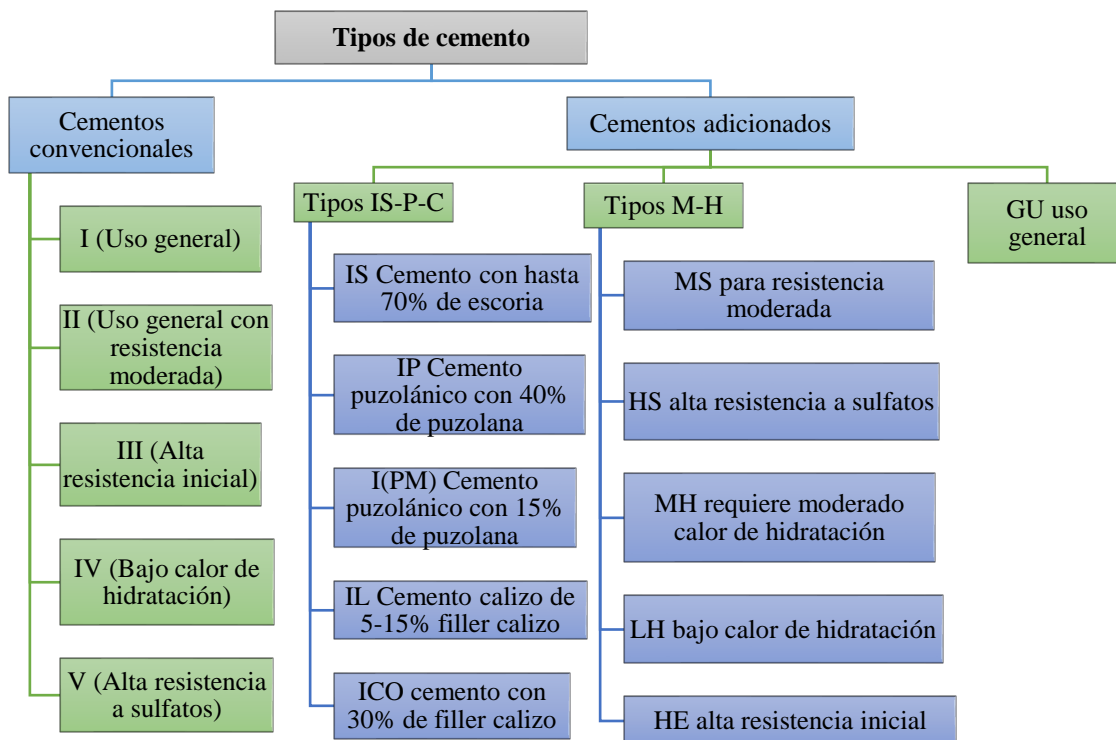
Propiedades	Valores límites				
	Cales CL y DL				Cales HL y NHL
Contenido de aire (% en masa)	< 15				< 23
Tiempo de fraguado					
Inicial (minutos)	>50				>50
Final (hora)	<16				<16
CaO + MgO (% en masa)	CL90	CL80	CL70	DL85	>90
	>85	>75	>65	>80	
CaO disponible (% en masa)					>60
Agua libre (% en masa)	<2.5				<2.5
Finura (0.2 mm)	<4				<7

Nota: CL cal cálcica, DL cales dolomíticas, HL cal hidráulica, NHL cal hidráulica natural según la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016).

2.3.2. Cemento

Es el material inorgánico de grano fino, que forma una pasta cuando se mezcla con agua, se endurece y se forma como resultado de la reacción y la hidratación, y después de la formación permanece sólido y estable incluso en agua. Todos los tipos de cemento, excepto el aluminato cálcico, se fabrican a base de Clinker. El aluminato de calcio es un Clinker Portland, un producto industrial resultante de un proceso de fabricación que combina cal, sílice, alúmina y óxido de hierro a altas temperaturas (alrededor de 1450°C). La cal, la sílice, la alúmina y el óxido de hierro se mezclan a altas temperaturas (alrededor de 1450 °C) y se obtienen a partir de materias primas como la caliza, la arcilla y la alúmina, que se trituran y muelen finamente para formar una materia prima (Molina O. I., 2008). Es uno de los principales componentes del concreto, muchas propiedades mecánicas del concreto dependen de él.

Figura 6 Tipos de Cementos para Construcción



Nota: Adaptado de (Molina & Sencara, 2018).

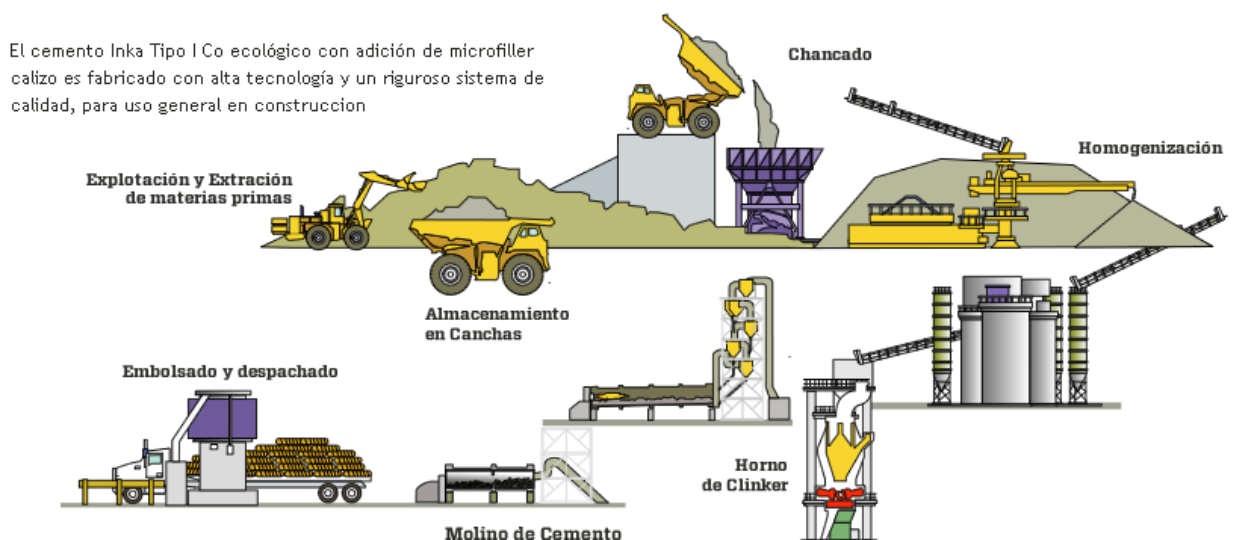
2.3.2.1. Proceso de producción.

Según Segarra, et al. (2018), el proceso de producción de cemento no es tan simple como parece. Se deben realizar una serie de pruebas y mediciones:

- **Extracción de piedra caliza de canteras.** Una vez que voladuras han roto las capas de material, grandes tractores retiran las rocas y se cargan en camiones.
- **Trituración primaria de la piedra caliza.** La trituradora es un dispositivo cónico de gran tamaño que presiona piedras contra la pared del barril, aplanándolas hasta una altura máxima de 30 cm. Este tipo de trituradora puede producir 1600 toneladas por hora. Luego, las piedras son transportadas por una cinta transportadora al apilador, y luego a la trituradora secundaria. La salida de la trituradora secundaria se filtra a través de una pantalla metálica vibratoria que protege contra piedras pequeñas (1 cm o menos de diámetro).
- **Homogeneización de la Piedra Caliza.** Una vez que se completa este proceso de molienda continua, el producto se transfiere a un área de almacenamiento grande y se mezcla. Las cintas transportadoras pueden transportar 8,000 toneladas de material en 8 horas, depositándolos en capas que luego se cortan.
- **Molienda, separación y homogenización del crudo.** La trituración debe hacerse mezclando caliza, arena y arcilla. Se utilizan tractores para extraer el material y cargadores frontales para cargar camiones que llevan el material a un área plana preparada donde se esparce en el suelo y se seca. Después del secado, la arcilla se transfiere a una trituradora de martillos.
- **Pre calentamiento del crudo.** El crudo sube del tanque de almacenamiento hasta la parte superior de la torre de pre calentamiento, que consiste en una serie de conos conectados de forma que el crudo baja y los gases calientes del horno suben. El pre calentador equivale a un edificio de 25 pisos.

- **Calentamiento y enfriamiento del crudo.** El crudo se quema o se calcina en un horno rotatorio que está dispuesto casi horizontalmente. Desde el precalentador (entrada) hasta el enfriador (salida), el horno se apoya en rodillos con una ligera inclinación.
- **Mezcla del Clinker.** En el extremo inferior se encuentra un quemador que utiliza aceite para producir temperaturas de hasta 1500°C. A estas temperaturas, el crudo se convierte en Clinker mediante una serie de transformaciones. El horno gira lentamente para que el crudo rueda hacia abajo y se caliente gradualmente a una temperatura más alta hasta que, como un río de lava, caiga sobre una rejilla de enfriamiento para formar el Clinker.
- **Despacho del cemento.** Para ello, se coloca el depósito directamente debajo de la cuba, sobre las escamas del depósito, y luego se vacían las escamas y se descarga el cemento a través de la manguera grande que se conecta a la parte superior del tanque, una vez completada la carga de 20 a 30 toneladas, la báscula automática cierra la válvula de llenado y retrae la manguera.

Figura 7 *Proceso de Producción del Cemento*



Nota: (NewBloggerThemes.com, 2023).

2.3.2.2. Características físicas y mecánicas

El cemento se caracteriza por: (López L. B., 2015)

- **Peso específico.** Es la relación entre una cierta cantidad de masa y el volumen absoluto de esa masa, su valor es pequeño, pero aún menor en el caso del cemento mixto, y su principal aplicación es en el desarrollo y control de proporciones de mezclas de concreto.
- **Finura.** Esta es una de las principales propiedades del cemento, ya que está íntimamente relacionada con su valor hidráulico. Finalmente, hidrata más rápido y con mejores resultados.
- **Superficie específica.** Se expresa como área superficial de partículas (superficie específica) por gramo de material.
- **Finura tamiz núm. 325.** Este método consiste en tamizar la muestra bajo una columna de agua a una presión de 0.7 kg/cm² (10 psi) durante un minuto. Se expresa como porcentaje del rendimiento de la cantidad medida (1 g).
- **Consistencia normal.** Porcentaje del peso seco del cemento, normalmente entre el 23% y el 33%, según las propiedades del cemento.
- **Fraguado del cemento.** Se refiere al fenómeno de endurecimiento, en el cual la pasta de cemento cambia de plástica a sólida.
- **Falso Fraguado.** Si el cemento se expone a la humedad durante el almacenamiento, puede sufrir un endurecimiento, que ocurre a los pocos minutos de haberlo mezclado.
- **Estabilidad de volumen.** La capacidad del mortero de cemento para conservar su volumen después del fraguado.

2.3.3. Agregados

Grupo de partículas inorgánicas naturales o artificiales cuyo tamaño se ajusta a los estándares y tamaños “artificiales” especificados en NTP 400.011 (INACAL, 2020) para ser denominados como áridos finos o gruesos en relación a su tamaño de partícula. Los áridos pueden extraerse o producirse a partir de rocas ígneas, rocas sedimentarias y metamórficas, pero no es factor suficiente para determinar si los áridos son adecuados, para ello se deben determinar sus propiedades físico mecánicas (Córdova, 2018).

Tabla 4.

Clasificación de los Agregados

Clasificación de los agregados	
Por su procedencia	Agregados naturales Formados por procesos geológicos.
	Agregados artificiales Proceden de un proceso de transformación de los materiales naturales. Piedra triturada Escoria siderúrgica (mineral no metálico)
Por su tamaño	Agregado grueso Agregado retenido de modo predominante en el tamiz N° 4 (4.75 mm), denominado grava.
	Agregado fino Los agregados pasan por el tamiz de ¾” y en su mayoría pasan por el tamiz número 4, pero son retenidos principalmente en el tamiz número 200. Denominado Arena.
Por su gravedad específica	Ligeros Gs < 2.5 Se utilizan para la producción de concreto ligero, cuyo peso varía entre 400 - 2000 kg/m ³
	Normales 2.5 < Gs < 2.75 Son utilizados en el concreto normalmente de peso, con un rango común de 2300 - 2500 kg/m ³ .
	Pesados Gs > 2.75 Los agregados pesados, como la magnetita, la barita o el hierro de desecho, se emplean en la producción de concreto con un peso de 2900 - 3500 kg/m ³ .

Nota: (Quiroz & Salamanca, 2006, págs. 28-29).

2.3.3.1. Tipos de agregados

Los agregados finos y gruesos son materiales inertes que se añaden al cemento y al agua para formar la pasta de concreto. Estos materiales son capaces de llenar los espacios vacíos entre las partículas de cemento, otorgándole a la mezcla sus propiedades necesarias, como resistencia, durabilidad y trabajabilidad.

Agregado fino. Conocido como arenas o áridos, son materiales que tienen la suficiente resistencia interna (tamaño de grano) para no interferir o afectar las propiedades y características (tamaño de grano) del mortero y contribuyen lo suficiente a las propiedades y características del mortero para asegurar. agarre adecuado. Mortero de cemento curado (Aliaga, 2018).

Tabla 5

Límites de Porcentaje que Pasa, Agregado Fino

N°	3/8"	4	8	16	30	50	100
% que pasa	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

Nota: (Córdova, 2018).

Agregado grueso. Son partículas minerales mayores a 4.75 mm, el tamaño máximo utilizado depende de la calidad del material mineral local y las limitaciones establecidas por la NTP 400.037 (INACAL, 2021). Incluye piedra natural o artificial o combinaciones de los mismos, con granos preferentemente de perfil angular o semicircular, transparentes, duros, densos, compactos, preferentemente de textura angular y sin material escamoso (Córdova, 2018).

Tabla 6

Límites de Porcentaje que Pasa, Agregado Grueso Huso #467

N°	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	4
% que pasa	100	95-100	55-88	35-70	18-46	10-30	0-5

Nota: (Córdova, 2018).

2.3.3.2. Propiedades físico – mecánicas de los agregados

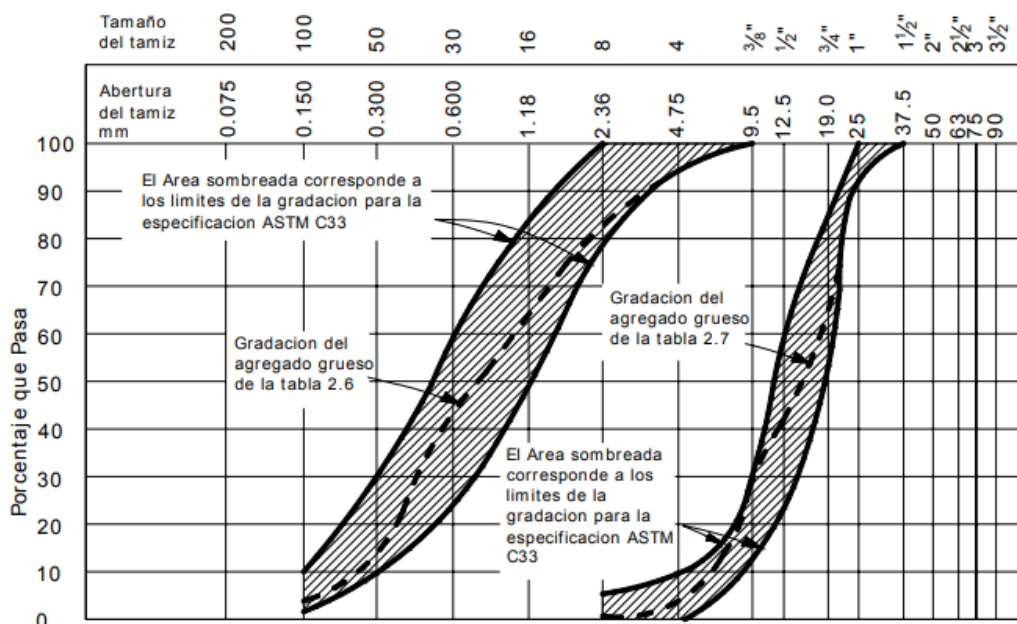
Contenido de humedad. Resulta de dividir la masa de agua entre la masa de agregado sólido seco, expresada en porcentaje (Varas, 2018).

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (2)$$

Análisis granulométrico. La NTP 400.012 (INACAL, 2021) define un procedimiento de asignación por tamizado para obtener la masa de la fracción de áridos retenida en cada tamiz. Calcula los porcentajes fraccionados y acumulados. Al realizar un análisis del tamaño de las partículas es importante conocer los siguientes parámetros (Varas, 2018).

Figura 8.

Gráfica de Gradaciones del Agregado



Nota: Gradación de la arena a la izquierda y la del agregado grueso a la derecha (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 41).

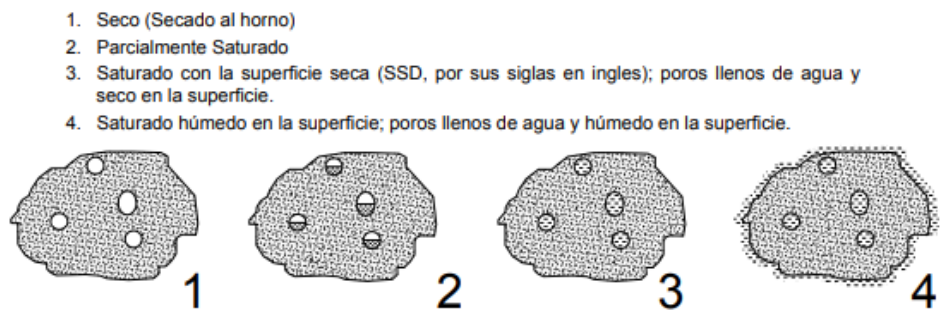
Módulo de finura. Se trata de un concepto importante definido en 1925 por Abrams, como la sumatoria de todos los porcentajes de retención acumulados de una serie patrón hasta el centésimo tamiz dividida por 100 (Varas, 2018).

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido}_{\text{acumulado}}(6+3+1^{1/2}+^{3/4}+^{3/4}+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100} \quad (3)$$

Peso específico. Resulta al dividir el peso entre volumen de las partículas, sin tener en cuenta los huecos entre ellas. Esta característica se utiliza como indicador de calidad, mientras mayor sea el valor de esta división las propiedades de los materiales serán mejores, sin embargo, cuando los valores son bajos se está frente a materiales débiles y absorbentes (Varas, 2018).

Figura 9.

Estados de Saturación de los Agregados



Nota: (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 36).

Absorción. Esto se refiere a la capacidad para llenar la cavidad interna de la partícula con agua. Este fenómeno está relacionado con el capilar, ya que no todos estos poros se llenan. Esto es muy importante ya que afecta la resistencia y la trabajabilidad al reducir la cantidad de agua reflejada en la mezcla de concreto (Varas, 2018).

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Grav. esp. de la masa} = \frac{A}{B-C} = \frac{A}{V} \quad (5)$$

$$\text{Grav. esp. de la masa}_{SSD} = \frac{B}{B-C} = \frac{B}{V} \quad (6)$$

$$\text{Grav. esp. de la masa}_{SSD} = \text{grav. esp de la masa} \times (1 + \text{absorción}) \quad (7)$$

Donde: A (g) peso de la muestra seca al aire, B (g) peso saturado al aire secado superficialmente, C (g) peso saturado en agua, V (cm³) volumen del agregado.

Peso unitario suelto. Peso del agregado incluido sus vacíos por cada unidad de volumen. El procedimiento de prueba está definido en la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

$$PUS = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (8)$$

Peso unitario compactado. Es el peso de un agregado clasificado de compactación en un volumen unitario. El procedimiento de prueba está definido en la NTP 400.017 (INACAL, 2020).

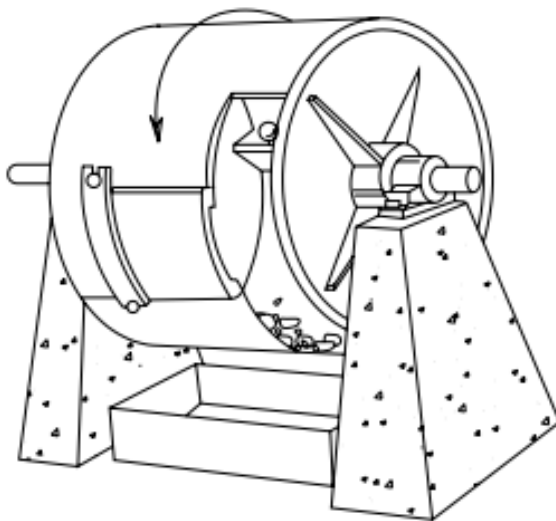
$$PUC = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen unitario}} \quad (9)$$

Resistencia a la abrasión. Desempeño que tiene este material para resistir el desgaste y la abrasión causada por la fricción y el contacto constante con otros materiales, como en el caso de mezclas de concreto o pavimentos. Resulta al dividir la diferencia de pesos (iniciales menos finales) entre el peso original de la muestra expresada en porcentaje (INACAL, 2020).

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso final}}{\text{Peso original}} \times 100 \quad (10)$$

Figura 10.

Aparato de Desgaste de los Ángeles








Nota: (Quiroz & Salamanca, 2006, pág. 35).

2.3.4. Concreto de alta resistencia

El concreto de alta resistencia es un tipo de concreto que ha sido diseñado y fabricado para tener propiedades mecánicas superiores en comparación con el concreto convencional. Utiliza una combinación de materiales de alta calidad y técnicas de mezcla específicas para alcanzar mayor resistencia a compresión, la flexión y otras fuerzas aplicadas. Se define actualmente como un sistema que consta de cinco (05) componentes: cemento, agregado, agua, aditivos y mezclas y todas las propiedades del concreto se basarán en las diferencias en el tipo y cantidad de estos materiales (Portugal, 2007). La denominación de concreto de alta resistencia o alto desempeño no está claramente definida y varía según los estándares y regulaciones de cada país o región. Sin embargo, generalmente se considera que un concreto tiene alta resistencia cuando su resistencia a la compresión, medida por el valor del f'_c (resistencia característica a la compresión), superior a los 35 MPa (Cerón et al., 2014). Es importante tener en cuenta que el concreto de alta resistencia no solo se caracteriza por su alta resistencia a la compresión, sino también por otras propiedades como la resistencia a la abrasión, la durabilidad, la permeabilidad y la trabajabilidad.

Tabla 7.

Componentes del Concreto

Material	Cemento	Agregados	Agua	Adiciones	Aditivos
Indicador	Tipo de cemento, marca	Fino Grueso	Agua potable	Ceniza, micro cal, etc.	fibras, sílice, super plastificantes
					

Nota: Adaptado de (Portugal, 2007, pág. 20).

2.3.4.1. Componentes para su elaboración

Para la producción de concreto se requiere de los siguientes componentes:

(Paredes, 2022)

- **Cemento.** Es un aglutinante hidrofílico que se obtiene al quemar piedra caliza, arenisca y arcilla, rocas, trituradas hasta obtener un polvo muy fino. Se utiliza un cemento con una alta proporción de cemento Portland tipo I o tipo II que cuenta con un contenido de sílice, alúmina y óxido de hierro baja, lo que le brinda una mayor resistencia.
- **Agregados.** Forman el 60-70% del volumen total de concreto. Los agregados son finos y gruesos de alta calidad, libre de impurezas y con granulometría adecuada. Los agregados deben ser resistentes a la abrasión y a la degradación química para garantizar la resistencia del concreto.
- **Agua.** El agua usada en las mezclas de concreto debe ser potable y libre de sabor u olor fuerte. El agua mezclada realiza tres funciones: El agua debe reaccionar con el cemento para humedecerlo, debe mejorarse la trabajabilidad del concreto, debe actuar sobre el cemento.
- **Aditivos superplastificantes (opcional).** Los aditivos superplastificantes ayudan a mejorar la trabajabilidad del concreto y reducir la cuantía de agua necesaria para lograr una mezcla más compacta. Esto resulta en un concreto de mayor resistencia y durabilidad.
- **Adiciones minerales.** Se pueden utilizar adiciones minerales como la ceniza volante, el humo de sílice o las escorias de alto horno para optimar las particularidades del concreto, como la resistencia a la compresión, la durabilidad y la impermeabilidad.

2.3.4.2. Diseño de mezclas

Conceptualmente, es la aplicación técnica y práctica del conocimiento científico sobre sus constituyentes y sus interacciones para producir un material final que cumpla con los requisitos de manera efectiva, produciendo un material satisfactorio (León & Ramírez, 2010). De acuerdo con Cotrina (2018), el método de diseño establecido por el Comité 211 (2022) contempla la determinación inicial de los contenidos de cemento, agua, aire y agregados, esta determinación se realiza mediante la diferencia entre la suma de volúmenes. Así mismo, en el ACI 363 (2010) también se encuentran recomendaciones para el diseño de mezclas para concreto de alta resistencia, con ciertas variaciones en el método ACI 211.1 por medio de la experimentación previa en testigos de concreto.

a) Información requerida para el diseño de mezclas

Según Roldan & Vargas (2018), la información necesaria para diseñar mezclas es: análisis de tamaño de partículas de agregados; contenido de humedad y absorción de áridos; peso específico de los áridos compactados; forma y estructura del agregado; tipo, marca y peso específico de cemento; relación agua/cemento (A/C).

b) Pasos para el proporcionamiento

Se realiza el estudio detallado de normativa; selección de resistencia media (f_{cr}), elección del asentamiento (Slump) y tamaño máximo de partícula de los áridos gruesos, elección de la relación A/C, cálculo del consumo de cemento; evaluación del contenido de áridos, ajuste de humedad y absorción y cálculo de la relación de peso; pero fundamentalmente el proporcionamiento se plantea en base a la experiencia de campo y/o las mezclas prueba (Roldán & Vargas, 2018).

Elección de la resistencia promedio (f'_{cr})

$$F'_{cr} = \frac{F'_{c+98}}{0.90} \quad (11)$$

Tamaño máximo nominal del agregado: Seleccione el tamaño del agregado de acuerdo a los requisitos de resistencia:

Tabla 8 *Volumen de Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Concreto*

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto según TMN				
Módulo de finura	3/8"	1/2"	3/4"	1"
2.40	0.50	0.59	0.66	0.71
2.60	0.48	0.57	0.64	0.69
2.80	0.46	0.55	0.62	0.67
3.00	0.44	0.53	0.60	0.65

Nota: (Roldán & Vargas, 2018, pág. 35).

Slump: Seleccione el Slump requerido.

Tabla 9 *Slump Recomendado para Concretos de Alta Resistencia Con y Sin*

Superplastificante

Slump con superplastificante	Slump sin superplastificante
1" – 2"	2" – 4"

Nota: (Roldán & Vargas, 2018, pág. 35).

Estimación de agua de mezclado y contenido de aire. Calcule el contenido combinado de agua y aire, en función del tamaño de agregado.

Tabla 10 *Requerimientos Aproximados de Agua de Mezclado y de Contenido de Aire para Diferentes Slump y Tamaños Máximos de Agregados*

Slump	Agua de mezclado en kg/m ³ para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1" – 2"	183	174	168	165
2" – 3"	189	183	174	171
3" – 4"	195	189	180	171
	Aire atrapado			
Sin superplastificante	3.00%	2.50%	2.00%	1.50%
Con superplastificante	2.50%	2.00%	1.50%	1.00%

Nota: (Roldán & Vargas, 2018, pág. 36).

Elección de la relación agua/cemento (a/c). Seleccione la relación agua/cemento (A/C) que, le permitirá elegir el valor en el que el concreto alcanza un estado plástico para una mejor resistencia, asegurando el cumplimiento de los requisitos.

Tabla 11 *Relación Agua/Cemento y Resistencia a la Compresión del Concreto*

Resistencia promedio F'cr x kgf/cm2	Edad (días)	Relación a/c para los tamaños mínimos de agregados gruesos indicados			
		500	28	0.49	0.47
550	28	0.44	0.42	0.40	0.39
600	28	0.40	0.38	0.36	0.35
650	28	0.36	0.35	0.33	0.32
700	28	0.33	0.32	0.31	0.30
750	28	0.31	0.30	0.28	0.28
800	28	0.29	0.28	0.26	0.26
850	28	0.27	0.26	0.25	0.25

Nota: (Roldán & Vargas, 2018, pág. 37).

Cálculo del contenido de cemento. Después de calcular la cantidad de agua y la relación A/C, la cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se determina dividiendo agua/cemento.

Estimación del contenido del agregado grueso y agregado fino. El contenido de árido fino se calcula determinando el contenido de árido grueso, cemento, agua y aire incorporado por m³, mientras que el contenido de árido fino se puede calcular por el método del volumen absoluto.

Ajuste por humedad y absorción. La cantidad de agua añadida para formar la mezcla dependerá del contenido de humedad del agregado. Si se secan al aire, absorben la humedad y reducen la relación a/c. Por el contrario, si en su superficie existe humedad libre, añadirán algo de agua al mortero, aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y reduciendo la resistencia a la compresión.

Cálculo de proporciones en peso. El volumen de 1 m³ se mide en peso.

$$\text{Cemento: agregado fino: agregado grueso: agua} \quad (12)$$

2.3.4.3. Propiedades de los concretos de alta resistencia (CAR)

Las características del concreto de altas prestaciones deben reflejar su alto rendimiento. Las propiedades más significativas de este tipo de concreto son la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson y la fluidez plástica, propiedades que son extremadamente importantes para el cálculo y diseño de cualquier estructura (López L. , 2011).

Resistencia a la compresión y MOE: los CAR tienen una resistencia a la compresión excepcionalmente alta. Esta alta resistencia se logra por los materiales y una dosificación precisa de los componentes en la mezcla. El concreto de alta resistencia tiene un módulo de elasticidad más alto y puede soportar cargas más altas, por lo que una masa más alta suele generar resultados más económicos. Se fabrica para obtener valores de resistencia a la compresión de 350 a 1000 kg/cm² (López L. , 2011).

Durabilidad: debido a su composición y características de endurecimiento, los CAR tienden a ser más duraderos en comparación con los concretos convencionales. Tienen una mayor resistencia a la abrasión, la acción de productos químicos y la carbonatación, lo que los hace ideales para estructuras que están expuestas a ambientes agresivos o condiciones adversas. Los sistemas CAR deben exhibir un rendimiento de alta durabilidad durante su vida útil, por lo que, es una práctica común evaluarlo en relación con su resistencia (López L. , 2011).

Trabajabilidad: debido a su bajo contenido de agua y mayor densidad, los CAR pueden tener una menor trabajabilidad en contraste con los concretos convencionales. Esto implica que la mezcla puede requerir un mayor esfuerzo para su colocación y compactación (López L. , 2011).

2.3.4.4. Ventajas de su uso del concreto de alta resistencia (CAR)

El uso de concreto de alta resistencia (CAR) tiene varias ventajas, entre las que se incluyen: (Molina & Sencara, 2018)

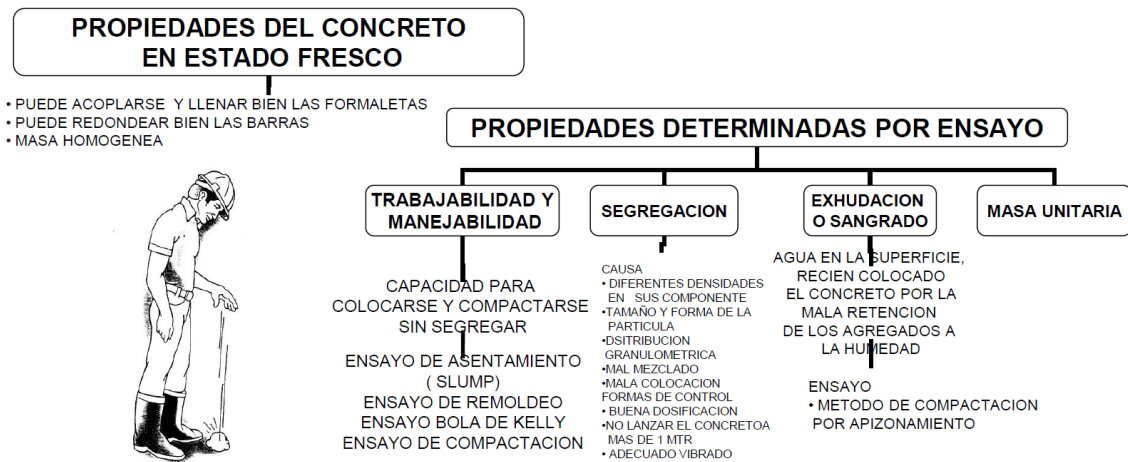
- Mayor resistencia: El CAR tiene una resistencia a compresión mayor a los concretos convencionales, lo que permite construir estructuras más resistentes y con una capacidad de carga más alta. Esto es especialmente beneficioso en edificios y puentes donde se requiere una mayor resistencia a las cargas.
- Reducción del tamaño de las secciones estructurales: Debido a su alta resistencia, el CAR permite reducir el tamaño de las secciones estructurales sin sacrificar la resistencia o la seguridad. Esto resulta en estructuras más delgadas y ligeras, lo que a su vez reduce el costo total de la construcción y entrega una mayor eficiencia en el uso del espacio.
- Menor cantidad de armaduras: Debido a su alta resistencia, el CAR permite reducir la cantidad de acero de refuerzo utilizado en las estructuras. Esto no solo reduce los costos de material, sino que también facilita la construcción y reduce el tiempo de ejecución.
- Menor mantenimiento y reducción de costo: Es un rentable material, pues al tener concreto de resistencia alta reduce los costes de mantenimiento durante la vida útil de la estructura.
- Mayor eficiencia energética y responsabilidad ambiental: El CAR, al permitir reducir el tamaño de las secciones estructurales, también reduce la masa total de la construcción. Esto a su vez se traduce en una menor carga térmica y una mejor eficiencia energética en los edificios. El uso de subproductos de desechos industriales, puede reducir las preocupaciones ambientales.

2.3.5. *Propiedades del concreto en estado fresco*

El concreto en su etapa inicial tiene una consistencia plástica y puede ser moldeado fácilmente en diferentes formas. Una vez seco, se endurece y se convierte en un elemento resistente capaz de soportar cargas de manera confiable durante su vida útil. En su estado fresco, se puede evaluar mediante propiedades como el slump, el contenido de aire, el peso por unidad o densidad, la temperatura, la segregación, el fraguado, entre otros (López et al., 2022).

Figura 11

Propiedades del Concreto en Estado Fresco



Nota: (Salazar, 2023).

a) Contenido de aire

El aire es parte de la mezcla su presencia es necesaria y el aire es una propiedad del concreto. Su importancia reside en el porcentaje de aire en la mezcla y cómo se maneja para que no afecte la calidad del concreto. El contenido de aire puede afectar al concreto que no se ha compactado, transportado y compactado correctamente. El transporte y la compactación a través de las grietas crean una relación de aire no deseada, que es una forma indeseable de afectar al agente meteorológico (García, 2013).

b) Temperatura de la mezcla

La temperatura del concreto debe ser controlada puesto que rige las fuerzas químicas que tienen lugar en la mezcla, modificando las propiedades del concreto en ambos estados. Por lo tanto, hay que tener en cuenta la temperatura de la mezcla, ya que puede afectar al concreto tanto positiva como negativamente (Paredes, 2022). En cuanto a los impactos positivos, una temperatura más alta puede acelerar el proceso de fraguado y endurecimiento, lo que resulta en una ganancia temprana de resistencia. Esto puede ser beneficioso en ciertas situaciones donde se requiere un rápido avance de la construcción. Además, en climas fríos, mantener una temperatura más alta en la mezcla puede ayudar a prevenir daños por congelación y asegurar un correcto curado. Sin embargo, la temperatura también puede tener efectos negativos. Una temperatura demasiado alta puede acelerar el fraguado de manera excesiva, lo que resulta en una pérdida de trabajabilidad y dificultades para colocar y compactar correctamente el concreto. Esto puede conducir a una menor resistencia y construcción deficiente. Además, en climas cálidos, una alta temperatura puede favorecer la aparición de grietas y agrietamientos por la contracción excesiva del concreto.

c) Densidad de la mezcla

Relación entre la masa del concreto y su volumen. Es una medida que indica la concentración de material en un volumen determinado de concreto. La densidad puede variar dependiendo de la proporción de mezcla. Usualmente, la densidad del concreto de alta resistencia puede alcanzar valores de alrededor de 2400 a 2600 kg/m³, aunque esto puede variar dependiendo de los componentes utilizados y de otros factores. Cuanto mayor sea la densidad de la mezcla, más sólido y compacto será el concreto (García, 2013).

En estado fresco, la densidad del concreto puede ser ligeramente más alta que en estado endurecido debido al aire atrapado en la mezcla en el proceso de mezclado y colocación del concreto. Esta diferencia de densidad puede depender de factores como el grado de compactación. En estado endurecido, el concreto tiende a tener una menor densidad debido a la hidratación del cemento y a la compactación de los materiales durante el fraguado y endurecimiento. La densidad del concreto endurecido puede alcanzar aproximadamente el 95% de su densidad máxima teórica.

d) Asentamiento, consistencia y trabajabilidad del concreto

Son características importantes que se evalúan en el concreto cuando está en su estado fresco. El asentamiento se refiere a la medida del cambio de altura del concreto en el cono de Abrams, que indica su fluidez y facilidad para ser colocado en diferentes áreas. La consistencia se refiere a la fluidez y plasticidad del concreto, lo que determina su capacidad para ser mezclado, compactado y moldeado. Por último, la trabajabilidad se refiere a la facilidad con la que se puede manipular y colocar el concreto en su posición final, teniendo en cuenta aspectos como la resistencia a la segregación y la capacidad de llenar los espacios adecuadamente, durante el transporte y la colocación, se debe procesar una cierta cantidad de concreto fresco hasta un grado mínimo de homogeneidad (Rivva, 2011).

e) Segregación

La segregación del concreto es el proceso por el cual los componentes de la mezcla se separan durante el manejo o colocación del concreto fresco. Esto puede ocurrir debido a varias razones, como una mala distribución de la vibración, una alta cantidad de agua en la mezcla, caídas desde alturas elevadas, entre otros

factores (Benito et al., 2015). La segregación puede resultar en una distribución desigual de los materiales en la mezcla, lo que lleva a una disminución de la calidad del concreto. Por ejemplo, puede causar una reducción en la resistencia, una baja adherencia entre los materiales o una menor durabilidad (Bravo, 2004).

Una mezcla de concreto es estable si la diferencia en el porcentaje de árido grueso en la parte superior de la muestra en comparación con el porcentaje promedio en toda la muestra es menor al 20%, este valor se define como el índice de segregación según Benito et al. (2015). Pero, en la NTP 339.218 (INACAL, 2019) se determina la segregación por medio de la división del contenido de agregado grueso en la capa superior e inferior del cono fraguado, pero no endurecido del concreto, donde, el porcentaje de segregación no debe superar 5%.

Siendo así, la segregación puede determinarse por varios métodos entre ellos, Bravo (2004) describe el ensayo de la columna del cual refiere que, los autores Otsuki et al. (1996), Ambroise et al. (1999) y Hamada et al. (2000) han desarrollado un ensayo para evaluar la segregación del árido grueso en el concreto que, consiste en verter el concreto sin compactar en un molde cilíndrico, cortar la muestra una vez fraguada, separar el árido grueso lavando el concreto sobre un tamiz y evaluar el porcentaje de árido grueso en cada sección; en otra variante del ensayo, propuesta por Sedran & De Larrard (1999), se ensaya la muestra a compresión diametral y se determina visualmente la altura del asentamiento del árido grueso; pero Rooney & Bartos (2001) han desarrollado una versión más sofisticada del ensayo, donde se extraen muestras de concreto de las partes superior e inferior de una columna mediante puertas colocadas en sus paredes, estas muestras se lavan y se comparan los pesos de los áridos gruesos para evaluar la segregación.

2.3.6. Proceso de fraguado y endurecimiento

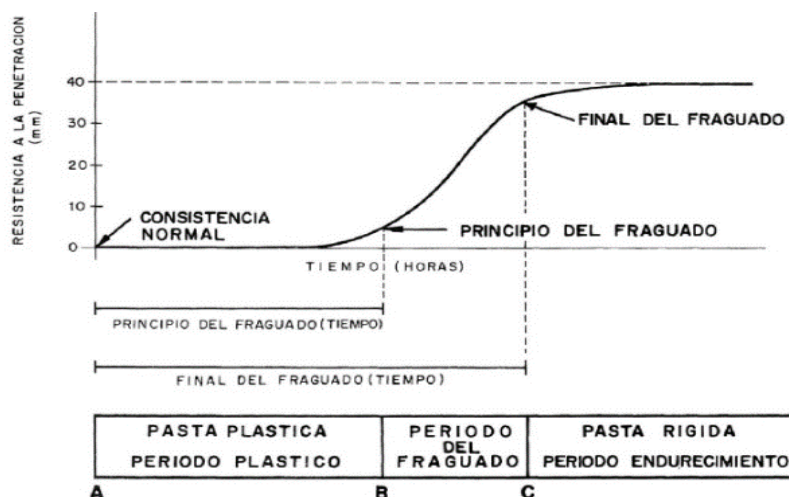
El fraguado es la etapa en la que la mezcla comienza a endurecerse y adquirir una consistencia sólida. Durante esta fase, los componentes químicos del cemento, comienzan a reaccionar con el agua, formando un gel sólido llamado pasta de cemento. Para facilitar el fraguado es mejor conservar el concreto fresco durante algún tiempo, al menos media hora en estado plástico (Mendoza et al., 2011). Luego, a medida que el tiempo avanza, la pasta de cemento se cristaliza y se fortalece, endureciéndose, pero este proceso es lento y dura varios días. Según Orozco et al. (2018) el comportamiento de fraguado del concreto se da por:

Estado plástico: Transición del concreto fresco, en el que el material se puede mover, procesar, colocar y comprimir para lograr los objetivos deseados.

Fraguado inicial: La NTP 339.082 (INACAL, 2018) estandariza el fraguado inicial como el tiempo requerido para que un lote de concreto alcance una dureza de penetración de 35.6901 kg/cm² con un pin de 25 mm.

Fraguado final: Después de ciertos intervalos de tiempo, la mezcla ha adquirido una resistencia lo suficientemente fuerte como para resistir la compactación de la matriz y lograr un endurecimiento completo.

Figura 12 Resistencia a la Penetración de una Pasta de Concreto



Nota. Tiempo de endurecimiento del concreto vs la resistencia alcanzada (Salazar, 2023).

2.3.7. Curado del concreto

El curado del concreto se refiere al proceso de controlar la hidratación del cemento en el concreto recién colocado con el fin de lograr una mayor resistencia y durabilidad. El curado adecuado es especialmente importante en el caso del concreto de alta resistencia, ya que este tipo de concreto tiende a tener una mayor proporción de cemento y una menor relación agua-cemento, lo que, lo hace susceptible a la deshidratación si no se cura correctamente (López L. , 2011).

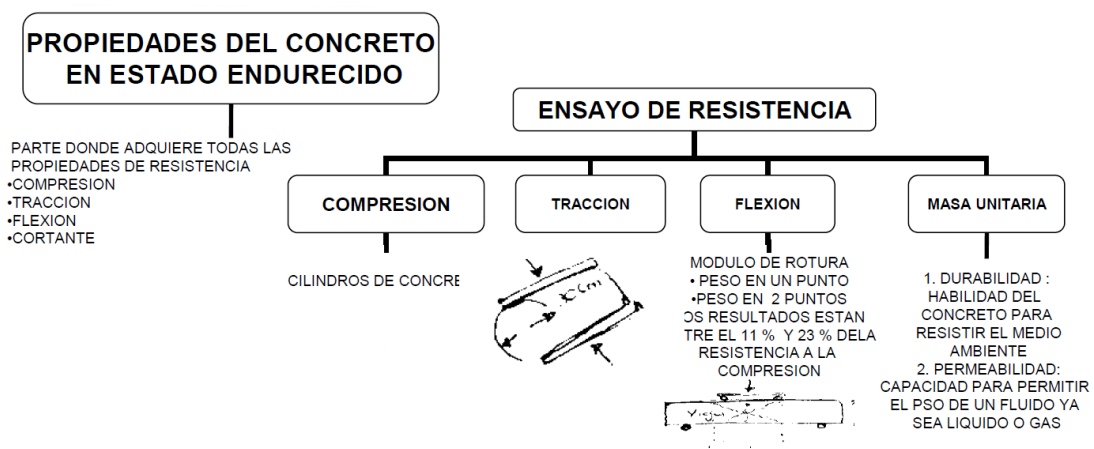
El proceso de curado consiste en permitir que el cemento hidráulico se endurezca con el tiempo, gracias a la hidratación continua del cemento en presencia de agua y calor. Durante este proceso, el concreto se mantiene en un ambiente húmedo durante varios días después de ser colocado, esto se hace para lograr su máxima resistencia de diseño y evitar fisuras en la superficie. Los rayos solares y el viento son perjudiciales para el concreto fresco, ya que pueden secarlo, por lo tanto, es necesario evitar su exposición al concreto. Después de tan solo 7 días, el concreto puede alcanzar un porcentaje significativo de su resistencia (su resistencia alcanzará el 70% del f_c especificado en una semana). Sin embargo, es importante mencionar que la resistencia total del concreto depende en gran medida de su nivel de humedad. Si no se cura adecuadamente, la resistencia deseada puede perderse debido al secado prematuro del concreto, lo que resultaría en un material de baja calidad. Para evitar este problema, es recomendable curar el concreto durante al menos 7 días, o incluso hasta 14 días en proyectos más complejos. Existen varios métodos de curado disponibles, pero todos tienen el mismo objetivo: garantizar un contenido de humedad adecuado en el concreto, para que pueda desarrollar las propiedades necesarias para ser un material duradero y de calidad (Contreras & Velazco, 2018).

2.3.8. Propiedades del concreto en estado endurecido

Además de considerar cómo se comporta el concreto cuando está recién mezclado, es igualmente relevante evaluar su desempeño una vez que ha endurecido. Durante esta etapa, la característica más destacada es su capacidad para resistir fuerzas de compresión (López et al., 2022)

Figura 13

Propiedades del Concreto en Estado Endurecido



Nota (Salazar, 2023):.

a) Resistencia a compresión

La resistencia a la compresión del concreto es la capacidad que tiene este material para soportar fuerzas de compresión sin sufrir deformaciones o fracturas. Esta propiedad es fundamental en estructuras, ya que permite que el concreto pueda soportar las cargas o pesos a los que está expuesto. La resistencia a la compresión del concreto se mide mediante ensayos de compresión realizados en laboratorios especializados. Estos ensayos consisten en someter a muestras de concreto a fuerzas de compresión graduales hasta que se produce la falla. La carga máxima soportada antes de la falla es el valor de resistencia a la compresión del concreto (Paredes, 2022).

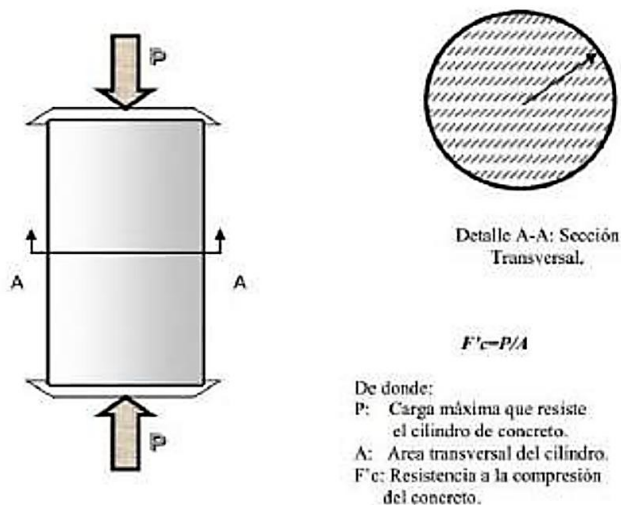
El valor máximo medido que un espécimen de concreto puede soportar cuando se somete a una carga axial y se expresa en kg/cm², en MPa o psi y ensayada para diferentes edades de concreto. si el concreto tiene 7 días la fuerza debe ser alrededor del 70-75% de la fuerza alcanzada después de 28 días. La resistencia a la compresión del concreto para puentes especiales o edificios de gran altura es de 200 a 400 kg/cm², pero se puede alcanzar resistencias de 700 a 1400 kg/cm² (Paredes, 2022).

$$F'c = \frac{P}{A} \quad (13)$$

Donde, P carga máxima que resiste el cilindro de concreto, A área de la sección transversal del cilindro, F'c resistencia a compresión del concreto.

Figura 14

Caracterización de la Resistencia a Compresión del Concreto



Nota: (Giraldo, 2019).

Hay diferentes tipos de concreto con distintas resistencias a compresión. El concreto convencional generalmente tiene una resistencia a compresión entre 20 y 35 MPa. Sin embargo, también es viable producir concreto de alta resistencia, con valores superiores a 35 MPa. Este concreto se usa en obras de gran envergadura, como puentes o edificios de gran altura.

b) Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto, también conocido como módulo de Young, es una medida de la rigidez del material. Se refiere a la capacidad del concreto para recuperar su forma original después de haber sido sometido a un esfuerzo o deformación (Rivva, 2011).

El MOE se determina mediante ensayos de compresión o flexión, en los que se someten muestras de concreto a cargas conocidas y se mide la deformación resultante. A partir de estos datos, se calcula el módulo de elasticidad.

El MOE se define como la pendiente de la curva de tensión-deformación tangencial del concreto, cuando se aplica una fuerza de compresión unidireccional equivalente al 25% de la tensión máxima. Algunos investigadores han informado valores de MOE para concreto de alta resistencia que varían entre 310 y 450 kg/cm², dependiendo principalmente del método utilizado para determinar el módulo (Rivva, 2011).

Norma E0.60 (MVCS, 2009)

$$E = 15000 \times \sqrt{f'_c} \quad (14)$$

Donde, f'_c Resistencia a compresión del concreto, en kg/cm², E Módulo de elasticidad, kg/cm².

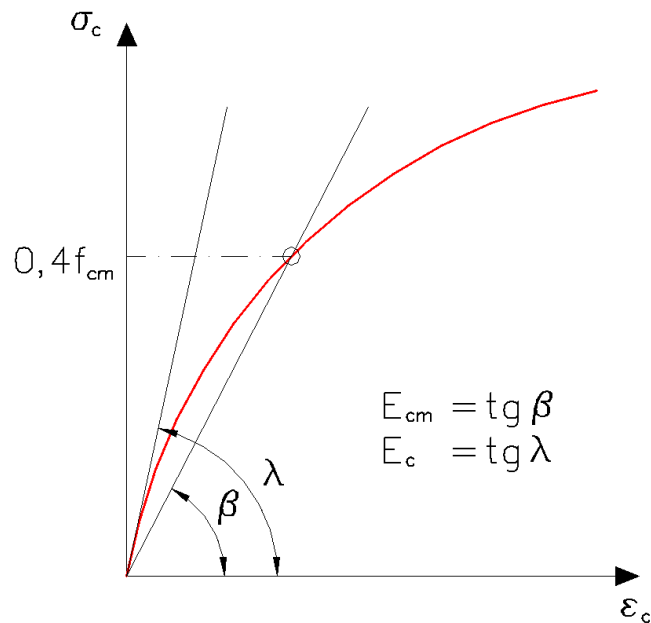
ACI 318s-14 (2014). No obstante, según Rivva (2011) el ACI sobreestima el módulo de elasticidad del concreto.

$$E = W_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f'_c} \quad (15)$$

Donde, f'_c Resistencia a compresión del concreto, en kg/cm², E Módulo de elasticidad, en kg/cm², W_c Densidad, Kg/m³.

Figura 15

MOE del Concreto



Nota: (Boixader, 2019).

El MOE del concreto tiene importantes implicaciones prácticas en la construcción. Por un lado, determina la capacidad del concreto para resistir deformaciones bajo cargas aplicadas. Un concreto con un MOE alto será más rígido y resistente a la deformación, lo que es especialmente importante en estructuras sometidas a cargas pesadas o en zonas sísmicas. Por otro lado, el módulo de elasticidad también influye en la distribución de esfuerzos en una estructura. Un concreto con un MOE bajo tenderá a absorber más esfuerzos, lo que puede afectar la resistencia y durabilidad de las estructuras a largo plazo. Es importante destacar que el módulo de elasticidad del concreto puede variar con el tiempo debido a varios procesos, como la pérdida de humedad, la carbonatación o la presencia de sustancias agresivas. Sin embargo, estas variaciones suelen ser pequeñas y no tienen un impacto significativo en la mayoría de las estructuras.

2.4. Hipótesis

Ho: El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaborar concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota es 10%.

H1: El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaborar concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota es mayor a 10%.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Sustitución del cemento por cal

La “Sustitución del cemento por cal” hace mención al remplazo del conglomerante común en la producción de concreto, siendo el cemento, por otro conglomerante de menor impacto en el ambiente, como es la cal, siendo que, ambos conglomerantes tienen como materia prima a la piedra caliza, de ambos se obtendrán sus principales características a través de sus respectivas fichas técnicas, y se sustituirá la cal en peso del cemento.

2.5.2. Variable dependiente: Concreto $f'c= 350$ kg/cm²

El “Concreto $f'c$ 350 kg/cm²” se refiere a un tipo de concreto que tiene resistencia a compresión de 350 kg/cm². Siendo una medida de la capacidad del concreto para soportar cargas aplicadas sobre él antes de romperse. Para lograr la resistencia de 350 kg/cm², se debe seguir un proceso de preparación del concreto que incluye la proporción adecuada de los materiales mencionados, así como un proceso de mezclado y curado controlado. Además, es posible realizar pruebas de resistencia en muestras de concreto para verificar que se cumplan con las especificaciones requeridas (Portugal, 2007).

Tabla 12

Matriz de operacionalización de variables en estudio

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición operacional	Indicadores	Ítem
Variable independiente “Sustitución del cemento por cal”	Se refiere al remplazo del conglomerante de cemento por cal. Donde el cemento es el material principal obtenido de la calcinación del Clinker mientras que, la cal se obtiene de la calcinación de calizas a una menor temperatura.	Cemento	Producto de color gris que da la firmeza al concreto	Peso específico	g/cm ³
			Dosificación	%	
		Cal	Producto de color blanco que se usa en la producción de mortero	Peso específico	g/cm ³
			Dosificación	%	
Variable dependiente “Concreto de f'c= 350 kg/cm ² ”	Hace mención al material de resistencia igual o mayor a 350 kg/cm ² . El concreto ha sido definido como un sistema de cinco componentes: cemento, agregados, agua, aditivos y adiciones, todas las propiedades del concreto estarán basadas en las variaciones del tipo y cantidad de estos materiales.	Propiedades de los agregados	Características de los agregados que son vitales para plantear el diseño de mezclas	Contenido de humedad	%
			Granulometría	%	
			Peso específico	g/cm ³	
			Absorción	%	
		Diseño de mezclas	Proporción de los materiales determinado de forma experimental	Cemento	Bls
			Agregados	m ³	
			Aditivo	Bls	
			Agua	lts	
		Propiedades en estado fresco	Son las características del concreto en estado fresco	Asentamiento	mm
				Temperatura	°C
				Peso unitario	Kg/m ³
				Contenido de aire	%
Propiedades en estado endurecido	Son las características del concreto cuando ha endurecido	Segregación	%		
		Resistencia a compresión	Kg/cm ²		
		Absorción	%		
		Eflorescencia	%		
			Peso	Kg	

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación se centró en un enfoque cuantitativo, debido a que se recopilaron datos cuantificables relacionados con el diseño de mezclas y el análisis de propiedades del concreto $f'c$ 350 kg/cm² en estado fresco y endurecido. El objetivo principal fue analizar la influencia de la sustitución de cemento por cal en la elaboración del concreto, siguiendo un proceso estructurado y sistemático.

Fue de tipo aplicada porque su objetivo fue aplicar los resultados obtenidos en el campo de la construcción. Se buscó evaluar la viabilidad de sustituir parte del cemento con cal para elaborar un concreto 350 kg/cm², lo cual tiene implicaciones prácticas en la industria de la construcción.

El nivel explicativo se refiere a la profundidad y alcance de la investigación en términos de comprensión de causas y relaciones. En este caso, la investigación tenía un nivel explicativo ya que buscaba analizar la influencia de la sustitución de cemento por cal en el concreto, estableciendo una relación causa-efecto entre los porcentajes de sustitución y la fuerza del concreto resultante.

El diseño experimental se refiere a la estructura y planificación de la investigación. En este caso, se utilizó un diseño experimental ya que se manipularon las variables de remplazo parcial de cemento por cal en diferentes porcentajes (10%, 20%, 30% y 40%) para evaluar su impacto en la resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 350 kg/cm². Se realizaron pruebas y mediciones para lograr los datos precisos y se aplicaron análisis estadísticos para determinar la significancia de los resultados.

Tabla 13*Tipo de Investigación según Criterios*

Criterio	Tipo de investigación
Enfoque metodológico	Cuantitativa
Finalidad	Aplicada
Control de diseño de la prueba	Experimental
Objetivos	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde sucede	Laboratorio

3.2. Diseño de investigación

El objeto de estudio fue el concreto elaborado reemplazando parcialmente al 0%, 10%, 20%, 30% y 40% del cemento por cal en peso, por lo que, se midió el efecto del uso de la cal respecto al concreto convencional, siendo así, el diseño clásico con pretest y pos test, de corte transversal fue empleado.

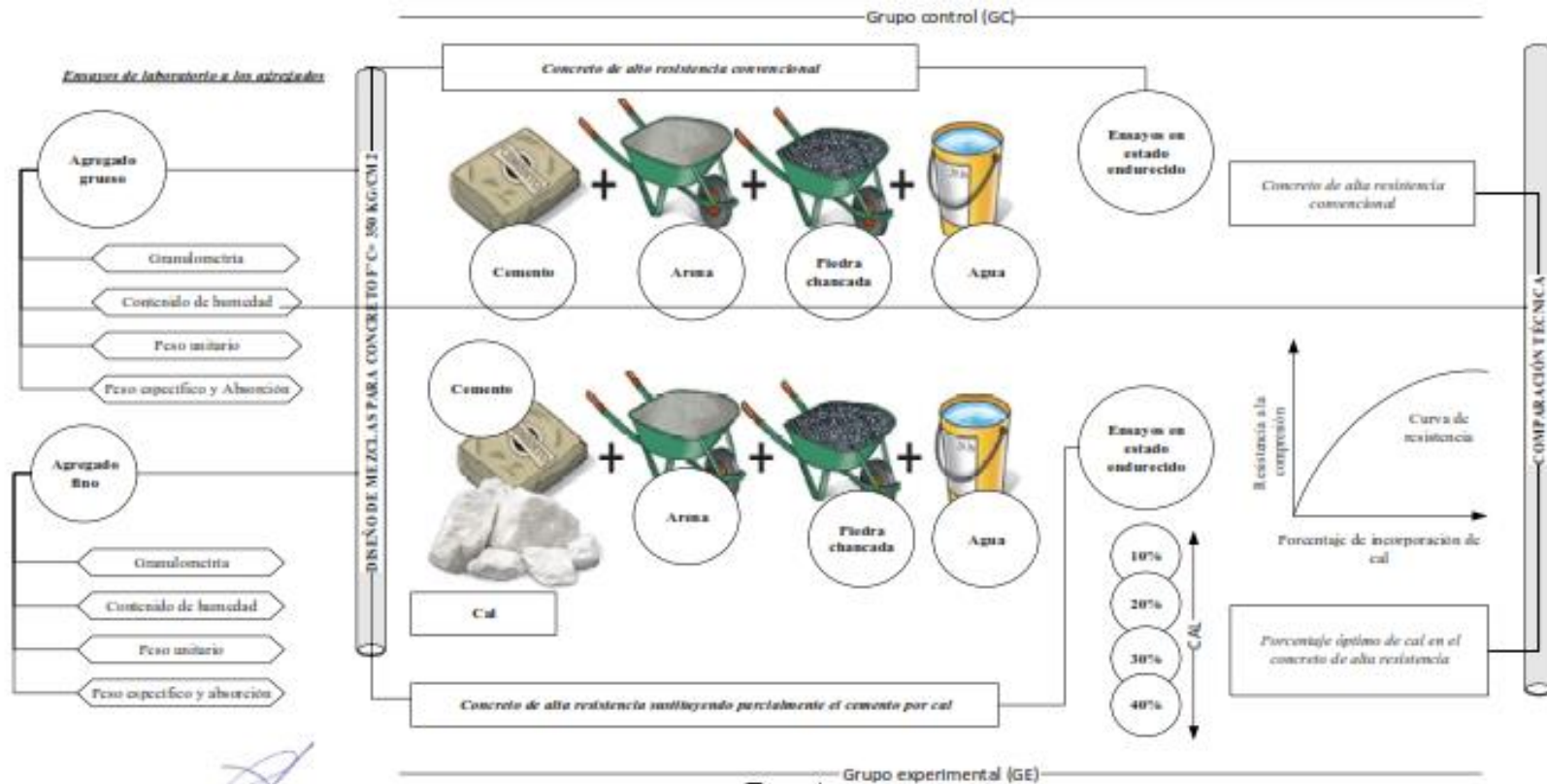
GC: O₁

GE: O₁ X O₂ (16)

Donde, GC es el grupo de control donde se realizó la observación (O₁) de la variable concreto sin sustituir el cemento por cal. GE es el grupo experimental donde se realizó observación a la variable dependiente, concreto f'c 350 kg/cm², antes (O₁) y después (O₂) se sustituyó el cemento por cal siendo el tratamiento X.

Figura 16

Diseño de Investigación Experimental



Dr. Ing. Juan Esteban Gonzales García

Mg. Ing. Lilian Rocío Villanueva Bazán

Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez

3.3. Métodos de investigación

El método hipotético-deductivo es una aproximación lógica de investigación científica que se basa en la formulación de una hipótesis inicial, deducción de consecuencias lógicas, realización de experimentos o pruebas y verificación de los datos derivados. En el caso del estudio se usó el enfoque cuantitativo que enmarca al método hipotético deductivo, con el fin de deducir si se puede sustituir el cemento por cal para producir concreto $f'c$ 350 kg/cm². Siendo así, el método hipotético-deductivo se aplicó de la siguiente manera:

Hipótesis: La sustitución de cemento por cal en diferentes porcentajes (10%, 20%, 30% y 40%) influye en la resistencia del concreto.

Dedución: A partir de la hipótesis, se deducen las diferentes consecuencias lógicas que se esperarían si la hipótesis fuera cierta. Por ejemplo, a mayor porcentaje de sustitución de cemento por cal, menor sería la resistencia del concreto, pero la trabajabilidad será mayor.

Experimento: Se lleva a cabo un experimento para probar las consecuencias deducidas. En este caso, se elaboraron muestras de concreto con diferentes porcentajes de sustitución de cemento por cal (10%, 20%, 30% y 40%), y se sometieron a pruebas de compresión, para medir la resistencia del concreto.

Verificación: Se compararon los resultados obtenidos en el experimento con las consecuencias deducidas de la hipótesis. Si los resultados concuerdan con las deducciones, se considera que la hipótesis ha sido validada. Por ejemplo, si se observa una disminución gradual de la resistencia del concreto a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de cemento por cal, esto respaldaría la hipótesis inicial.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La mezcla de concreto $f'c$ 350 kg/cm² elaborado con arena de Conchán, grava de Chuyabamba, agua potable y cal proveniente de calera “Inversiones 3MB SRL” del distrito de Bambamarca, como sustituto parcial del cemento Portland Tipo I Pacasmayo al 0, 10, 30, 40, y 50% del peso, curado por 7, 14, y 28 días.

3.4.2. Muestreo

Para el muestreo se ha planteado el DOE factorial (Design Completely Randomized Blocks) en Minitab 22 para dos factores: tasa de reemplazo de cemento por cal con 5 niveles (0%, 10%, 20%, 30% y 40%) y tiempo de curado del concreto con 3 niveles (7, 14 y 28 días), con tres repeticiones. Dando un total de 45 especímenes cilíndricos de concreto.

Tabla 14 *Resumen del Cálculo Muestral DOE*

Factores	Niveles	Corridas base	Réplicas	Total, de corridas
2	5 y 3	15	3	45

3.4.3. Muestra

45 muestras de concreto con $f'c$ de diseño 350 kg/cm² elaborado con arena de Conchán, grava de Chuyabamba, agua potable y cal de la calera “Inversiones 3MB SRL” como sustituto parcial del cemento Portland Tipo I Pacasmayo al 0%, 10%, 20%, 30% y 40% del peso, para 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla 15 *Número de Probetas para Pruebas a Compresión*

Tiempo de curado (días)	Porcentaje de sustitución del cemento por cal					Total
	0%	10%	20%	30%	40%	
7	3	3	3	3	3	15
14	3	3	3	3	3	15
28	3	3	3	3	3	15
Total	9	9	9	9	9	45

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

a) Observación

Se ha utilizado la observación sistemática para recopilar datos sobre el comportamiento y las características del concreto cuando se sustituye el cemento por cal en diferentes porcentajes. Por ejemplo, se ha observado el tiempo de fraguado, la consistencia, la segregación y la resistencia a la compresión del concreto en cada uno de los casos de sustitución. Esta técnica ha permitido obtener datos concretos y objetivos sobre la influencia del remplazo de cemento por cal en el concreto.

b) Revisión documental

Técnica en la que, se revisan las normas técnicas peruanas, artículos, tesis, libros y demás referentes documentales sobre el tema en estudio, para que, sirvan de guía metodológica en la realización de la investigación. Esta técnica permite respaldar la investigación con información científica previa.

c) Experimentación

Técnica empleada para ensayos en laboratorio, en este caso en las materias primas y en el concreto $f'c$ 350 kg/cm² en estado fresco y endurecido, pero, también involucra la determinación de la proporción de mezclas del concreto y la producción de las probetas para efectuar las pruebas físico mecánicas.

Ensayos en agregados. Se realizaron pruebas en los agregados para comprender las propiedades físicas y/o mecánicas de cada agregado.

- Humedad, NTP 339. 185 (INACAL, 2021)
- Medición de tamaño de partículas, NTP 400.012 (INACAL, 2021).
- Peso unitario suelto y compactado NTP 400.017 (INACAL, 2020).

- Cantidad de material que pasa tamiz N° 200, NTP 400.018 (INACAL, 2020)
- Abrasión NTP 400.020 (INACAL, 2020)
- Absorción y gravedad específica para grava, NTP 400.021 (INACAL, 2020)
- Absorción y gravedad específica para arena, NTP 400.022 (INACAL, 2021)

Diseño de mezclas. Las mezclas se diseñaron para evaluar las proporciones iniciales del material y así producir concreto de alto desempeño, f_c 350 kg/cm² de acuerdo al método ACI 211.1 (2022) y el ACI 363 (2010).

Ensayos al concreto fresco y endurecido. Son ensayos realizados sobre muestras de concreto fresco y endurecido.

- Asentamiento del concreto, NTP 339.035 (INACAL, 2022)
- Contenido de aire, NTP 339.046 (INACAL, 2019)
- Temperatura, NTP 339.184 (INACAL, 2021)
- Segregación, NTP 339.218 (INACAL, 2019)
- Ensayo de absorción, NTP 399.602 (INACAL, 2018)
- Ensayo de eflorescencia, NTP 331.017 (INACAL, 2016)
- Elaboración y curado de probetas, NTP 339.183 (INACAL, 2021)
- Ensayo de resistencia a compresión, NTP 339.034 (INACAL, 2021)

d) Análisis

Se analizan los resultados para establecer una comparación entre las diferentes dosificaciones de cal como sustituto del concreto en la mezcla de concreto, para verificar su efecto en las propiedades en estado fresco y endurecido. Este análisis incluye la comparación de los resultados obtenidos con los objetivos planteados, la identificación de tendencias, y la interpretación de los efectos de la sustitución de cemento por cal en las propiedades del concreto.

3.5.2. Instrumentos

a) Cuaderno de campo

El cuaderno de campo se utilizó para registrar todas las observaciones, medidas y anotaciones realizadas durante el desarrollo de la investigación. Se utilizó el cuaderno de campo para registrar el proceso de elaboración del concreto con las diferentes proporciones de sustitución de cemento por cal. También se puede registrar datos como la temperatura ambiente, la humedad relativa, cualquier cambio en las condiciones experimentales y cualquier observación relevante relacionada con el proceso de recolección de materias primas, producción de probetas y pruebas de laboratorio.

b) Fichas de registro de información documental

La ficha de registro de información bibliográfica se utiliza para recopilar datos y registrar las fuentes bibliográficas utilizadas en la investigación. En este caso, se utilizaría para registrar los nombres de los autores, títulos de los artículos o libros, año de publicación y cualquier otra información relevante de las fuentes consultadas para obtener información sobre el remplazo parcial de cemento por cal en la elaboración de concreto y el comportamiento del concreto.

c) Informe de laboratorio

El informe de laboratorio se usa para presentar los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas en el laboratorio. En este caso, se ha utilizado para presentar los resultados del concreto elaborado con sustitución de cemento por cal. También se han incluido los resultados de otros test realizados para evaluar las propiedades físicas y mecánicas del concreto, así como, las propiedades de los agregados (fino y grueso) y el diseño de mezclas para concreto $f'c$ 350 kg/cm².

d) Matriz de comparación

La matriz de comparación se utiliza para comparar y analizar los datos obtenidos de diferentes muestras o experimentos. En este caso, se han utilizado para comparar los resultados del concreto con sustitución de cemento por cal. Esta matriz ha permitido identificar la influencia del remplazo de cemento por cal en la resistencia y comportamiento mecánico del concreto, así como determinar la proporción óptima de sustitución que ofrece las mejores características de resistencia y durabilidad.

Tabla 16

Fuentes, Técnicas e Instrumentos para Recolectar Datos

Variables	Recolección de datos			
	Fuente	Técnica	Instrumento	Equipos
VI Sustitución del cemento	Primaria	Observación	Cuaderno de campo	Instrumentos de recolección de cal
	Primaria	Experimentación	Informe de laboratorio	Balanza, horno, tamices, pipetas, entre otros.
VD Concreto f_c 350 kg/cm ²	Primaria	Observación	Cuaderno de campo	Instrumentos de recolección de agregados. Producción de concreto.
	Secundaria	Revisión documental	Fichas de registro de información	Computadora, NTP, artículos científicos, libros, entre otros.
	Primaria	Experimentación	Informe de laboratorio	Máquina de compresión, cono de Abrams, termómetro, olla Washington, balanzas, moldes, varillas.
	Primaria	Análisis	Matriz de contraste	Computadora, informe de resultados

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de obtención de los datos

3.6.1.1. Ubicación y muestreo de las materias primas

a) Ubicación y muestreo de arena en la cantera Conchán

La cantera Conchan, ubicada en el noreste de la ciudad de Chota, específicamente sobre la carretera Chota - Tacabamba en el km 27+980, zona 17M, se encuentra en las coordenadas UTM WGS84 17S 760474 m E, 9288007 m S, a una altitud de 2279 msnm. Esta cantera se especializa en la extracción mecánica de arena, la cual fue posteriormente utilizada en el estudio.

b) Ubicación y muestreo de grava de la cantera Chuyabamba

La cantera de agregado grueso Chuyabamba se ubica en el centro poblado de Chuyabamba, distrito y provincia de Chota, en las coordenadas UTM WGS84 17S 753248 m E, 9279152 m S. Esta cantera se especializa en la extracción mecánica de piedra triturada, la cual fue posteriormente utilizada en el estudio.

c) Ubicación y muestreo de la calera Inversiones 3M SRL

La cal se obtuvo de la planta procesadora, calera “Inversiones 3MB SRL” en el distrito de Bambamarca, a una hora de Chota, en las coordenadas UTM WGS84 17S 772287.00 m E, 9263169.00 m S, a 2764 msnm.

Para el ensayo de propiedades fisicoquímicas de la cal, se ha tomado muestra en relación al área de extensión de la cantera, el MTC (2014), establece que por cada hectárea de cantera se deben muestrear cinco puntos, siendo así, la planta procesadora “Inversiones 3MB SRL” tiene una extensión de 0.60 ha, por tanto, se tomaron tres puntos de monitoreo para encontrar la calidad del material, cuyos resultados fueron promediados.

Figura 17 *Ubicación de la Cantera Conchán*

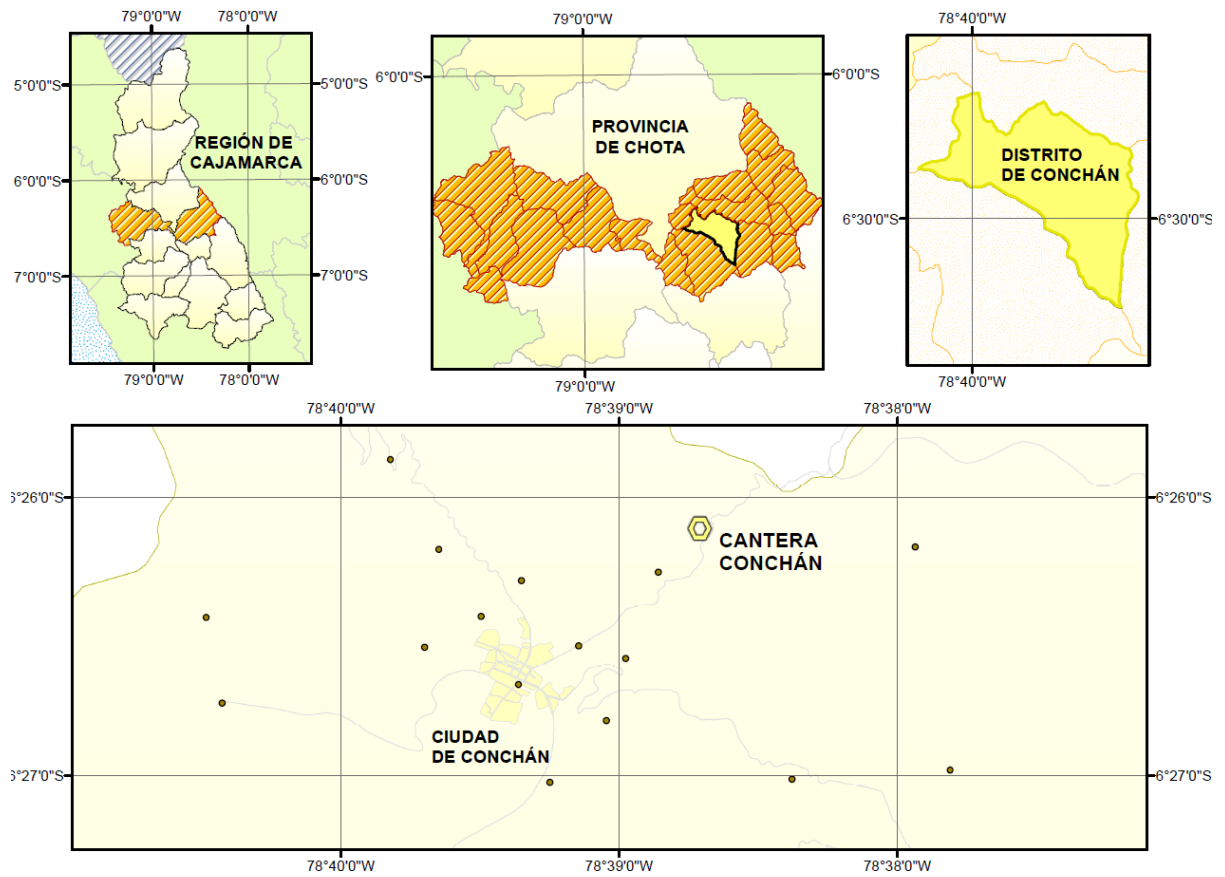
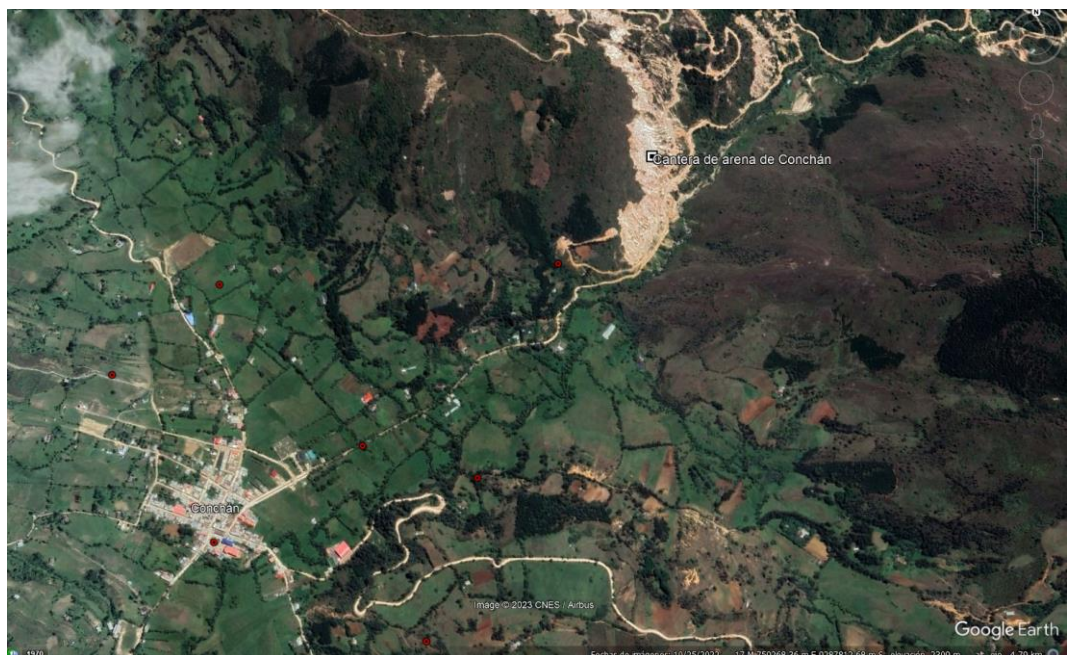


Figura 18 *Vista Satelital de la Cantera Conchán*



Nota: (Google earth, 2023).

Figura 19 Ubicación de la Cantera Chuyabamba

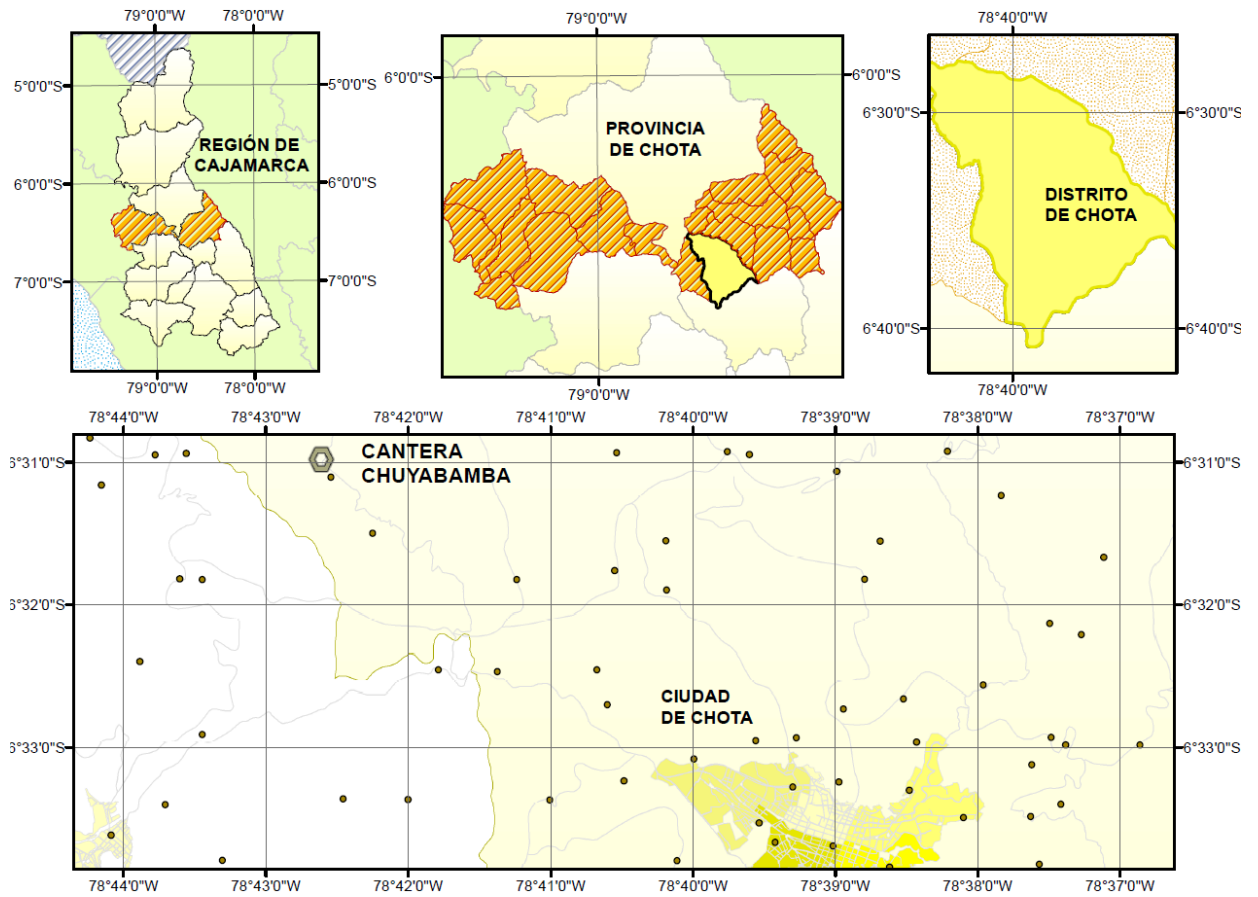
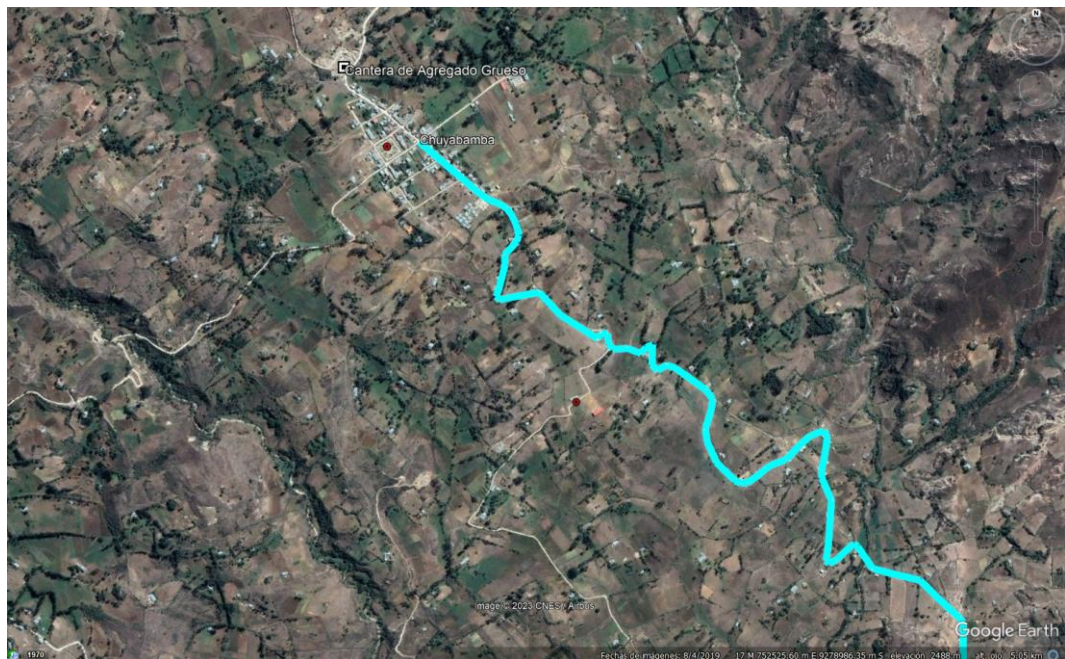


Figura 20 Vista Satelital de la Cantera Chuyabamba



Nota: (Google earth, 2023).

Figura 21 Ubicación de la Planta Procesadora de Cal, “Inversiones 3MB SRL”

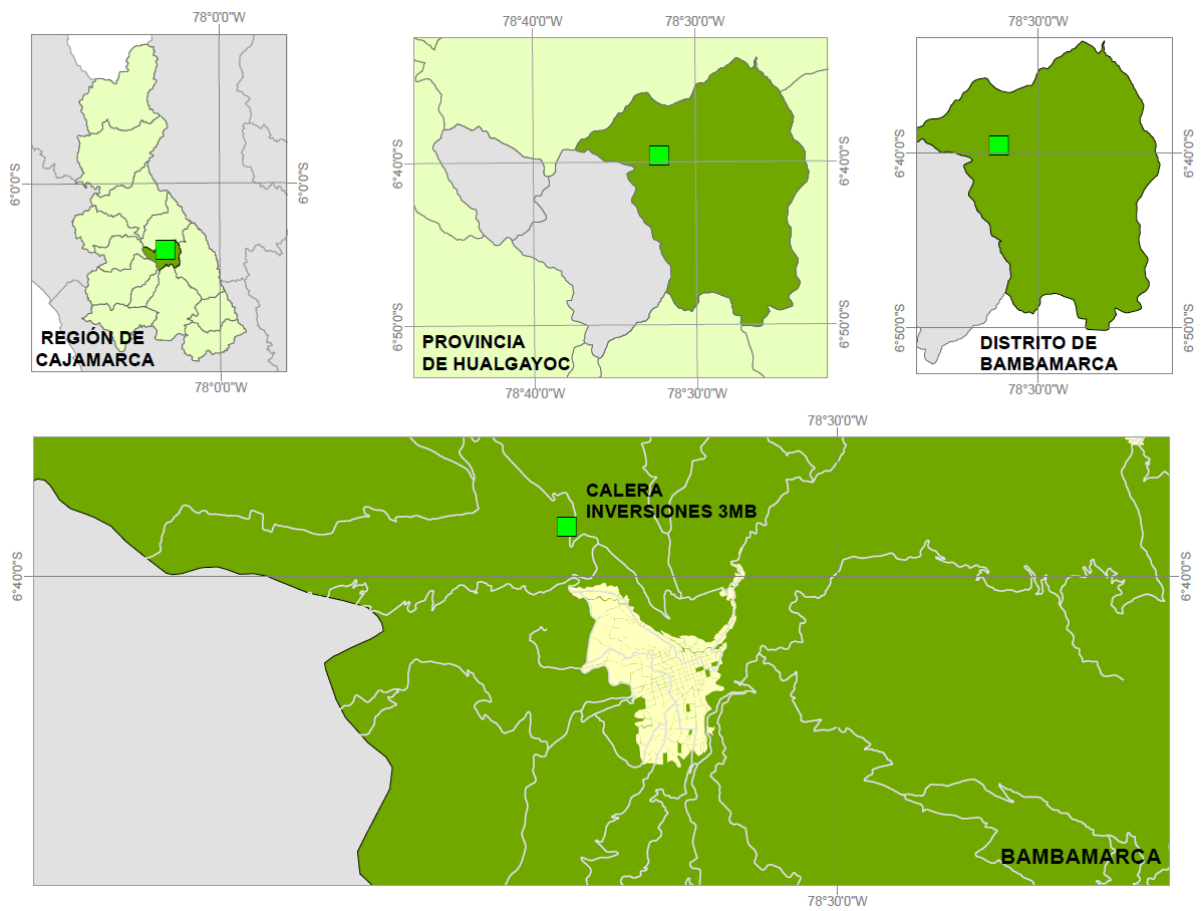


Figura 22 Vista Satelital de la Calera “Inversiones 3MB SRL”



Nota: (Google earth, 2023).

3.6.1.2. Ensayos para caracterizar física y químicamente a la cal en base a las normas técnicas internacionales

a) Determinación del color de la cal

Equipos, materiales e instrumentos:

- Espátula y depósito
- Balanza analítica
- Tubo de ensayo y agua destilada
- Papel de filtro o filtro de café
- Lámpara incandescente
- Carta de colores (carta de Munsell)

Procedimiento:

- Tomar una muestra representativa de la cal que se va a analizar.
- Pesar la muestra en la balanza analítica y anotar el peso.
- Colocar la muestra en el depósito y triturlarla con la ayuda de la espátula hasta obtener un polvo fino. Colocar el polvo de cal en el tubo de ensayo.
- Agregar agua destilada al tubo de ensayo hasta el 50% de su capacidad.
- Agitar el tubo de ensayo para que el agua y la cal se mezclen adecuadamente.
- Dejar reposar la mezcla durante un día para permitir que la cal se sature.
- Luego, filtrar la mezcla utilizando un papel de filtro o un filtro de café para eliminar cualquier residuo sólido. Ahora, se tiene una solución acuosa de cal.
- Colocar la solución acuosa de cal en un tubo de ensayo limpio y transparente.
- Colocar el tubo de ensayo al lado de una lámpara incandescente y observar el color de la solución.
- Comparar el color observado con la carta de colores y determinar el color de la cal.

b) Ensayo de humedad en termobalanza

Equipos, materiales e instrumentos:

- Termobalanza y/o balanza analítica (con aplicación de calor en horno)
- Pinzas para sostener la muestra
- Recipientes adecuados para la muestra

Procedimiento:

- Tomar una muestra representativa del material a analizar.
- Pesar la muestra en la balanza analítica y anotar el peso inicial.
- Pesar el recipiente vacío (tara) utilizando la balanza analítica y anotar el peso.
- Colocar la muestra de material en el recipiente previamente pesado.
- Pesar el recipiente con la muestra en la termobalanza y anotar el peso.
- Colocar el recipiente con la muestra en la termobalanza.
- Programar la temperatura y la velocidad de secado según las especificaciones del material.
- Iniciar el ensayo y dejar que la termobalanza seque la muestra durante un tiempo determinado.
- Una vez finalizado el ensayo, retirar la muestra de la termobalanza y pesar el recipiente con la muestra seca. Anotar el peso final y calcular el contenido de humedad:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (17)$$

c) Ensayo de granulometría para determinar porcentajes retenido en la malla 100, 200 y 325 según la ASTM C110 (2020)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Balanzas de precisión: Para pesar las muestras de material.

- Tamices: De diferentes aberturas, especialmente los tamices de malla número 100, 200 y 325.
- Agitador mecánico: Para agitar las muestras en los tamices.
- Cepillo: Para remover las partículas retenidas en los tamices.
- Recipientes: Para recolectar las partículas que pasan a través de los tamices.
- Cronómetro: Para medir el tiempo de agitación.

Procedimiento:

- Preparar la muestra: Tomar una muestra representativa del material y secarla completamente en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Pesar las muestras: Dividir la muestra seca y pesarla.
- Tamizado: Colocar el tamiz de malla 100 encima del tamiz de malla 200 y ambos sobre el tamiz de malla 325. Agregar la muestra en el tamiz superior.
- Agitación: Agitar mecánicamente los tamices durante un tiempo determinado (generalmente 10 minutos) a una velocidad constante.
- Pesaje: Después de la agitación, pesar el material retenido en cada tamiz.
- Cálculo: Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz dividiendo la masa del material retenido entre la masa de la muestra y multiplicando por 100.

Porcentaje retenido en la malla 100 =

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 100}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (18)$$

Porcentaje retenido en la malla 200 =

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 200}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (19)$$

Porcentaje retenido en la malla 325 =

$$\frac{\text{masa de material retenido en la malla 325}}{\text{masa de la muestra}} \times 100 \quad (20)$$

d) Ensayo para determinar la densidad específica (densidad de masa, densidad saturada superficialmente seca y densidad aparente) y la absorción de la cal según la ASTM C110 (2020)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Balanzas de precisión: Para pesar las muestras de cal.
- Horno: Para secar las muestras de cal.
- Frasco volumétrico.
- Molde cónico y varilla para apisonar.

Procedimiento:

- Preparar la muestra: Tomar una muestra representativa de cal y secarla en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas. Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar las muestras: Pesar una muestra de cal seca y registrar su masa como Masa Seca.
- Sumergir la muestra en agua: Llenar el frasco volumétrico con agua hasta una marca de referencia. Introducir la muestra en el frasco y agitar para eliminar burbujas, también se pueden eliminar mecánicamente por vibración, después se ajusta la temperatura del frasco 23 ± 2 °C y se llena el frasco con agua, siendo pesado.
- Retirar la muestra del agua: Sacar suavemente la muestra y eliminar el exceso de agua exterior con un paño seco sin frotar. Secar en la estufa, enfriar y determinar el peso.
- Cálculo de la densidad específica y absorción: Calcular la densidad específica y absorción conforme a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso específico de masa (Pem)} = \frac{W_o}{V-V_a} \times 100 \quad (21)$$

$$PeSSS = \frac{500}{V-V_a} \times 100 \quad (22)$$

$$Peso\ específico\ aparente\ (Pea) = \frac{W_o}{V-V_a} \times 100 \quad (23)$$

$$Absorción\ (\%) = \frac{500-W_o}{W_o} \times 100 \quad (24)$$

Donde: PeSSS peso específico saturado superficialmente seco, V volumen del frasco, Va volumen de agua añadida al frasco, Wo peso al aire de la muestra secada en el horno.

e) Ensayo para determinar el peso unitario suelto y compactado de la cal según la ASTM C110 (2020)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Balanza: Para medir la masa de la muestra de cal antes y después del ensayo.
- Cucharón: Para tomar la muestra de cal.
- Cilindro de compactación: Para compactar la muestra de cal.
- Vibrador o varilla para apisonado: Para ayudar en la compactación de la muestra de cal (opcional).

Procedimiento:

e.1. Preparación de la muestra:

- Tomar una muestra de cal representativa utilizando el cucharón.
- Secar la muestra a una temperatura entre 100-110 °C hasta que alcance una masa constante.

e.2. Ensayo de peso unitario suelto (PUS):

- Pesar la muestra seca y suelta de cal en la balanza.
- Colocar la muestra en el cilindro de compactación y golpearlo suavemente para asegurar la caída libre de la cal.
- Medir la masa del cilindro con la cal en la balanza.

- Calcular el peso unitario suelto utilizando la siguiente ecuación:

$$PUS = \frac{\text{Masa de cilindro con cal} - \text{masa de cilindro vacío}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (25)$$

e.3. Ensayo de peso unitario compactado (PUC):

- Compactar la muestra de cal en el cilindro utilizando un número determinado de golpes o con el uso del vibrador, siguiendo la norma ASTM C110.
- Pesarse la masa del cilindro con la cal compactada en la balanza.
- Calcular el peso unitario compactado utilizando la siguiente ecuación:

$$PUC = \frac{\text{Masa de cilindro con cal compactada} - \text{masa de cilindro vacío}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (26)$$

f) Ensayo químico para determinar la cantidad de óxido de calcio e hidróxido de calcio en la cal según la ASTM C25 (2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Horno: Para realizar la calcinación de la muestra de cal.
- Mortero (depósito) y maja (mazo): Para triturar y mezclar la muestra de cal.
- Vidrio de reloj: Para pesar la muestra.
- Bureta: Para realizar las titulaciones.
- Reactivos y soluciones químicas: Entre ellos, hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, fenolftaleína y solución ácido-base estandarizada.

Procedimiento:

f.1. Preparación de la muestra y calcinación:

- Tomar una muestra representativa de cal.
- Triturar y mezclar la cal utilizando el mortero y la maja.
- Pesar una cantidad determinada de la muestra en el vidrio de reloj.
- Calentar la muestra en el horno a una temperatura de aproximadamente 1000 °C para convertir todo el carbonato de calcio en óxido de calcio.

f.2. Preparación de la muestra calcinada:

- Después de enfriar, pesar la muestra calcinada en el vidrio de reloj.
- Esta masa representará el óxido de calcio presente en la muestra.

f.3. Titulación del hidróxido de calcio:

- Disolver una cantidad de muestra calcinada en ácido clorhídrico diluido.
- Agregar fenolftaleína como indicador.
- Titular con hidróxido de sodio hasta que se alcance un punto final de cambio de color (la mezcla pasa de rosa a incolora).
- Anotar el volumen de hidróxido de sodio utilizado.

% de óxido de calcio =

$$\frac{\text{Volumen NaOH} \times \text{Normalidad NaOH} \times \text{Peso equivalente del óxido de calcio}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (27)$$

$$\% \text{ de óxido de hidróxido de calcio} = \frac{\text{Peso hidróxido de calcio}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (28)$$

Donde, NaOH hidróxido de sodio,

g) Ensayo para determinar el agua libre en la cal según la norma UNE 459-2

(AENOR, 2022) – NTP 334.176 (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Mufla: Para realizar la deshidratación de la muestra de cal.
- Balanza analítica: Para pesar la muestra y obtener medidas precisas.
- Desecador: Para almacenar la muestra y evitar la absorción de humedad.
- Cápsula de porcelana o vidrio: Para colocar la muestra de cal y realizar la deshidratación.
- Horno: Para secar y calentar la muestra.
- Termómetro: Para medir la temperatura del horno y asegurar condiciones de secado adecuadas.

Procedimiento:

- Tomar una muestra representativa de cal.
- Triturar y mezclar la cal si es necesario para obtener una homogeneidad adecuada.
- Pesar una cantidad determinada de la muestra en la cápsula de porcelana.
- Colocar la cápsula con la muestra en la mufla precalentada a una temperatura de 105 ± 5 °C.
- Mantener la muestra en la mufla durante un tiempo determinado (generalmente 1 hora) para asegurar la eliminación del agua libre.
- Sacar la cápsula de la mufla con pinzas y colocarla en el desecador para evitar la absorción de humedad.
- Calentar la cápsula con la muestra en un horno a una temperatura de 900 ± 5 °C durante al menos 1 hora.
- Retirar la cápsula con pinzas y colocarla en el desecador para enfriar.
- Sacar la cápsula de la muestra del desecador y llevarla a la balanza analítica.
- Pesar la cápsula con la muestra seca y anotar el valor obtenido.

$$\% \text{ agua libre} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100 \quad (29)$$

h) Ensayo para determinar el tiempo de fraguado de la cal según la norma UNE 459-2 (AENOR, 2022) – NTP 334.176 (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Agua destilada
- Pisón o punzón de Vicat
- Aparato de Vicat con molde y aguja
- Balanza con capacidad suficiente para pesar los diferentes componentes
- Cronómetro o temporizador

Procedimiento:

- Preparación del mortero de cal: Mezclar la cal hidratada con agua destilada en las proporciones requeridas hasta obtener una masa homogénea.
- Preparación del aparato de Vicat: Montar el molde y fijar en la placa de vidrio. Y llenar el molde con el mortero preparado, compactándolo ligeramente.
- Ensayo de Vicat: Colocar la aguja de Vicat en posición vertical sobre el molde lleno de mortero. Iniciar el cronómetro simultáneamente con el inicio del descenso de la aguja. Registrar el tiempo transcurrido desde el inicio del descenso hasta que la aguja no puede penetrar más en la muestra de cal. Este tiempo registrado se conoce como tiempo de fraguado.
- Cálculo del tiempo de fraguado: El tiempo de fraguado se expresa en minutos o horas.

Figura 23

Ensayos Físicos en las Muestras de Cal Hidratada de Bambamarca



3.6.1.3. Ensayos en agregados

a) NTP 400.012 Análisis granulométrico (INACAL, 2021)

Equipos y materiales:

- Tamices para AF: #4, #8, #16, #30, #50, #100.
- Tamices para AG: 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, ⅜”, #4.
- Estufa de 110°C ± 5°C.
- Balanza, recipientes y taras

Procedimiento de ensayo:

Coloque el agregado en un horno a 110°C, luego coloque la muestra sobre un conjunto de tamices en orden descendente y tamice de acuerdo con los orificios, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, luego se pesa el material retenido en cada tamiz, para registrar los pesos y poder formular la curva granulométrica.

b) NTP 400.017 Peso unitario suelto y compactado (INACAL, 2020)

Equipos y materiales:

- Olla cilíndrica de metal.
- Barra apisonadora de acero liso redonda.
- Balanza con sensibilidad 0.1%.

Procedimiento:

Peso unitario suelto. Se pesa la olla en la balanza, luego se llena con agregado 1/3, 2/3 y 3/3, apisonando cada capa dando 25 golpes con la varilla. Se enrasa el recipiente. Finalmente, se pesa el recipiente más el agregado, también se toma el volumen del recipiente.

Peso unitario compactado. Se pesa la olla en la balanza, luego se llena con 1/3 y 2/3 de agregado. Luego se llena, dejando caer el agregado desde una altura

≤ 5 cm por encima del borde superior del recipiente. Finalmente, se pesa el recipiente y el volumen.

c) NTP 400.021 Peso específico y absorción (INACAL, 2020)

Equipos y materiales:

- Balanza, sensibilidad 0.1 gr.
- Fiola de 500 ml.
- Molde cónico metálico.
- Varilla de metal, malla de alambre
- Depósito adecuado
- Estufa de 110°C ±5°

Procedimiento en agregado fino:

En agregado fino. Se tomó 500 g de cada uno de los cuatro, se dejó secar a 110°C, luego se remojó en agua durante 24 horas. Se colocó el relleno en un molde cónico, se golpeó con una varilla de metal 25 veces y luego se levantó el molde verticalmente hasta que el relleno esté saturado.

Para agregado grueso. Luego de un lavado completo, se dejó secar la muestra a 110°C hasta peso constante, y luego se sumergió en agua durante 24 h, se dejó secar la muestra del agua y se la hizo rodar sobre un paño absorbente.

Procedimiento en agregado grueso:

Se empieza el ensayo cuarteando la muestra y zarandeando por el tamiz N° 4. Pesando el material retenido en el tamiz N° 4, luego se lava la muestra hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas. Después se la introduce al horno con una temperatura de 100°C a 110 °C. Después de 1 días se saca del horno y se deja secar por 1 a 3 horas. Luego se deja la muestra en agua por 1 día. Después del periodo de

inmersión se saca la muestra del agua y se seca, se pesa; y a continuación se coloca la muestra en el interior de una canastilla metálica y se determina su peso sumergido en el agua. Después se introduce al horno por 1 día. Finalmente, se saca del horno y se deja enfriar así obteniendo el peso de la muestra seca sin incluir el peso del recipiente.

d) NTP 339.185 Contenido de humedad (INACAL, 2021)

Aparatos y herramientas:

- Balanza con una sensibilidad del 0.1%.
- Recipiente
- Horno/estufa de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento:

Las muestras húmedas se colocaron en frascos y se pesaron, luego se colocaron en un horno durante 24 horas, luego se retiraron, se dejaron enfriar y finalmente se pesaron nuevamente.

e) NTP 400.018 Porcentaje que pasa el tamiz N° 200 (INACAL, 2020)

Aparatos y herramientas:

- Balanza con una sensibilidad del 0.1%.
- Recipientes y tamices para muestreo.
- Estufa de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento:

Se colocó la muestra seca en un recipiente, luego se agregó suficiente agua para separar las partículas más finas que la malla n° 200 y se repitió hasta que el agua de lavado esté clara; posteriormente se secó y se pesó lo que queda en la malla 200, para así estimar la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200.

f) NTP 400.019 Abrasión (INACAL, 2020)

Herramientas y aparatos:

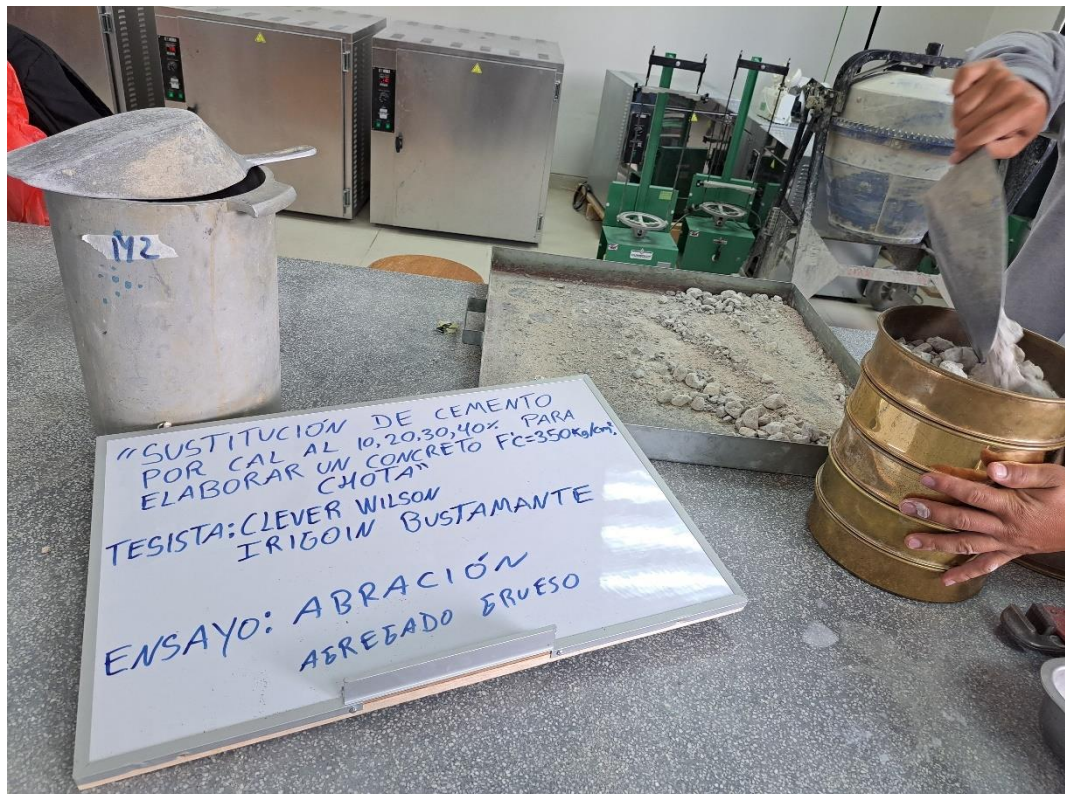
- Balanza con una sensibilidad del 0,1%.
- Recipientes y tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8.
- Horno/ estufa de 110°C ± 5°C.
- Máquina de los ángeles.

Procedimiento:

Después de tomar la muestra descontaminada y secada al horno, se tamizó en un peso de 5000 g, y la muestra de prueba y la carga abrasiva de 12 bolas se colocaron a 500 revoluciones en la máquina los ángeles. Luego se descargó y se tamizó por el tamiz No. 12, el material remanente se secó en estufa a 110°C por 24 horas y finalmente se pesó la muestra.

Figura 24

Ensayos Físicos Mecánicos de los Agregados



3.6.1.4. Diseño de mezclas del concreto base

El diseño de mezcla siguió las pautas del ACI 211.1 (2022) utilizando para ello una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Determinada la mezcla, se realizó una prueba piloto a los 7 días, para verificar que la proporción cumpla el $f'c$ de diseño.

Selección de resistencia media ($f'cr$)

$$F'cr = F'c + 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (30)$$

$$434 \text{ kg/cm}^2 = 350 \text{ kg/cm}^2 + 84 \text{ kg/cm}^2 \quad (31)$$

Elección del asentamiento (Slump): 3" a 4"

Selección del tamaño máximo de partícula de los áridos gruesos: 1"

Contenido de aire: 1.5%

Contenido de agua: 193 lts/m³

Relación agua/cemento (A/C): 0.480

$$\begin{array}{l} 250 \quad \dots \quad 0.62 \\ 434 \quad \dots \quad x \quad \rightarrow x = 0.480 \text{ A/C} \\ 300 \quad \dots \quad 0.55 \end{array} \quad (32)$$

Cálculo del consumo de cemento: 9.46 bls

$$\frac{\text{Cantidad de agua}}{\text{Factor } C} = A/C \quad (33)$$

$$\frac{193 \text{ lts}}{\text{Factor } C} = 0.480 \quad (34)$$

$$C = 9.46 \text{ bls} \quad (35)$$

Peso del agregado grueso

$$\text{Peso A.G.} = \frac{b}{bo} \times \text{Peso PUC} \quad (36)$$

$$\text{Peso A.G.} = 0.727 \times 1543.84 \text{ kg/m}^3 \quad (37)$$

$$\text{Peso A.G.} = 1122.37 \text{ kg/m}^3 \quad (38)$$

Entonces b/bo es la relación entre el MF de la arena y el TMN de la grava.

Determinación del volumen absoluto

$$\text{Cemento} = \frac{C}{\text{Densidad}} = \frac{402.08 \text{ kg}}{3080 \text{ kg/m}^3} = 0.131 \text{ m}^3 \quad (39)$$

$$Agua = \frac{\text{Contenido de agua}}{\text{Peso específico}} = \frac{193 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0.193 \text{ m}^3 \quad (40)$$

$$Aire = \text{contenido de aire atrapado} = 0.015 \text{ m}^3 \quad (41)$$

$$AG = \frac{\text{Peso AG}}{\text{Peso específico}} = \frac{1122.37 \text{ kg}}{2532.75 \text{ kg/m}^3} = 0.443 \text{ m}^3 \quad (42)$$

$$\text{Volumen AF} = 1 - (\text{Cemento} + \text{agua} + \text{aire} + AG) \quad (43)$$

$$\text{Volumen AF} = 1 - (0.131 + 0.19327 + 0.015 + 0.443) \quad (44)$$

$$\text{Volumen AF} = 0.218 \text{ m}^3 \quad (45)$$

Determinación del peso del agregado fino

$$\text{Peso AF} = \text{Volumen AF} \times \text{Peso específico AF} \quad (46)$$

$$\text{Peso AF} = 0.218 \text{ m}^3 \times 2575.95 \text{ kg/m}^3 \quad (47)$$

$$\text{Peso AF} = 561.65 \text{ kg} \quad (48)$$

Ajuste de agregados por humedad

$$\text{Agregado final} = \text{Agregado en kg} \times (\text{Contenido de humedad} + 1) \quad (49)$$

$$AF \text{ final} = 561.65 \text{ kg} \times (4.48\% + 1) = 586.81 \text{ kg} \quad (50)$$

$$AG \text{ final} = 1122.37 \text{ kg} \times (1.95\% + 1) = 1144.26 \text{ kg} \quad (51)$$

Aporte de agua a la mezcla

$$\text{Aporte de agua} = \sum(\text{humedad} - \text{absorción}) \times \text{agregados final} \quad (52)$$

$$\text{Aporte de agua (AF)} = (4.48\% - 1.05\%) \times 586.81 \text{ kg} = 20.13 \text{ lts} \quad (53)$$

$$\text{Aporte de agua (AG)} = (1.95\% - 0.98\%) \times 1144.26 \text{ kg} = 11.10 \text{ lts} \quad (54)$$

Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - \text{aporte de agua} \quad (55)$$

$$\text{Agua efectiva} = 193 - (20.13 + 11.10) = 161.773 \text{ lts} \quad (56)$$

Proporción de diseño

$$\text{Cal (kg)} = \text{Porcentaje de cal} \times \text{Peso cemento} \quad (57)$$

$$\text{Cemento restante (kg)} = \text{cemento (kg)} - \text{cal (kg)} \quad (58)$$

3.6.1.5. Ensayos en estado fresco

a) NTP 339.081 Ensayo de contenido de aire en el concreto fresco, método de presión (INACAL, 2018)

Equipos, materiales e instrumentos

- Olla Washington
- Vibrador de inmersión
- Balanza de precisión
- Varilla de apisonado
- Platina de enrasado

Procedimiento

Varillado y golpeado suavemente: El interior del depósito se moja y se seca, lo que hace que se vea opaco y húmedo. Con una cuchara, llene el recipiente con concreto recién preparado en dos capas a la misma profundidad. Estire cada capa uniformemente a lo largo de la sección tirando de la varilla 25 veces en el extremo redondeado de la varilla. Para la capa superior, deje que la varilla sobresalga aproximadamente 1 pulgada por debajo. Una vez que todas las capas estuvieron compactadas, golpee el borde del depósito con un martillo de 10 a 15 veces para sellar todas las áreas del sello y eliminar las bolsas de aire grandes. La última capa o el ligero exceso de concreto se colocó 1/8" (3 mm) por encima del borde.

Enrasado: Luego del paso anterior, se enrasó el exceso de concreto con una barra hasta que la superficie quede al ras con la parte superior del depósito y posteriormente se limpió los bordes del depósito.

Medidor tipo B: Se limpian y ensamblan los componentes del aparato. Se inyecta agua para eliminar las burbujas de aire, se bombea aire hasta alcanzar la presión inicial y se estabiliza el manómetro. Luego se cierran los grifos y se abre la válvula

para leer el porcentaje de aire en el recipiente. Por último, se abren los grifos antes de quitar la cubierta.

Determinación del factor de corrección: Del aparato ensamblado y lleno se saca un volumen de agua equivalente aproximadamente al volumen del recipiente y se completa el ensayo, tal como se ha descrito anteriormente.

$$A = A_R - C \quad (59)$$

Donde, C Factor de corrección del agregado, AR contenido de aire aparente de la muestra, A contenido de aire %.

b) NTP 339.035 Ensayo para medir el asentamiento del concreto (INACAL, 2022)

El método descrito es adecuado para concreto dúctil con agregados de hasta 1 ½ pulgadas (37.5 mm).

Equipos, materiales e instrumentos

- Cono de Abrams
- Varilla
- Regla de medición
- Balanza
- Cronometro

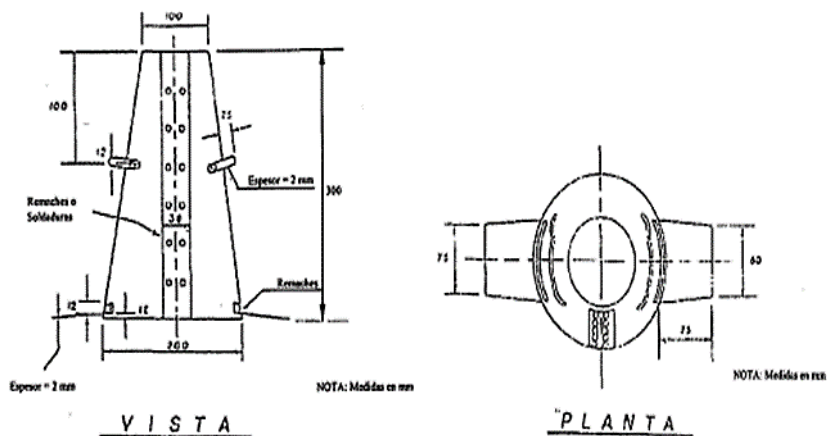
Proceso

- Se humedeció el molde y se colocó sobre una superficie lisa no absorbente. Luego se vertió el concreto en tres capas para que cada capa llene un tercio del volumen del molde.
- Se compactó todas las capas extendiendo las tiras de compactado uniformemente sobre la sección y haciendo 25 golpes.

- Después de completar los pasos anteriores, se levantó con cuidado la plantilla verticalmente. El molde se retiró a una altura de 300 mm en 5 ± 2 segundos y se mueve hacia arriba con fuerza. Todo el proceso no ocupó más de 2.5 mm. Inmediatamente después de esto, se calculó el tiro, que se determinó por la diferencia en la altura del estándar y la altura del hogar en la superficie superior del cono dañado.
- En caso de falla de corte como se muestra en la figura, si una parte de la masa se desvía, se retirará el ensayo correspondiente y se realizará un nuevo ensayo utilizando otra parte de la muestra

Figura 25.

Molde de Ensayo para Asentamiento



Nota: NTP 339.035 (INACAL, 2022).

Figura 26.

Asentamientos Referenciales



Nota: NTP 339.035 (INACAL, 2022).

- c) **NTP 339.184 Determinación de la temperatura del concreto** (INACAL, 2021)

Equipos y/o materiales

- Contenedor (lo suficientemente grande).
- Termómetro con una precisión de ± 0.5 °C.

Pasos:

- El termómetro se colocó de manera que quede rodeado por lo menos tres pulgadas en todas las direcciones.
- Se Presionó ligeramente la superficie del concreto alrededor del termómetro.
- Se dejó el termómetro durante 2 minutos y cuando la temperatura se estabilizó, se anotaron las lecturas.

- d) **NTP 339.046 Peso unitario del concreto** (INACAL, 2019)

Aparatos y/o materiales

- Moldes cilíndricos de 6" x 12"
- Balanza
- Barra de acero lisa de 60 cm de largo y 5/8" de diámetro.
- Tablero liso, tablero plano rectangular
- Mazo de goma
- Pala o cuchara

Pasos:

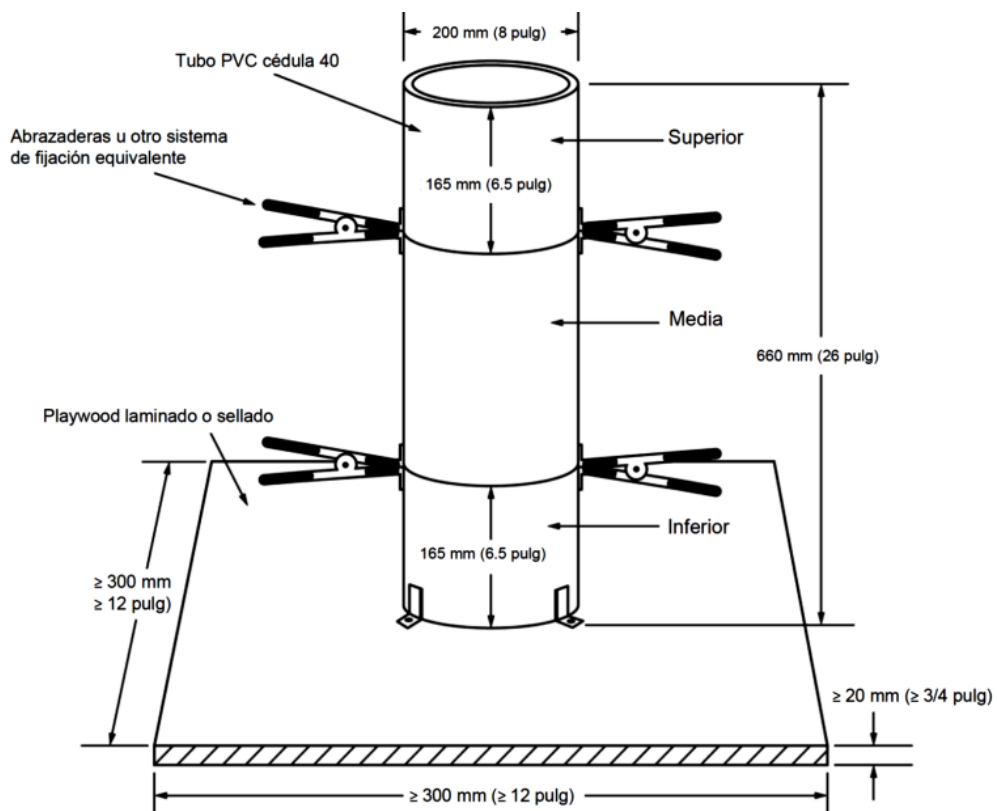
- Se pesó a pesar el molde que se usó y se determinó su volumen.
- Se colocó el concreto en el molde en 3 capas, cada una a un tercio de su altura total, moviendo la pala para asegurar una distribución uniforme.
- Después de 25 golpes en cada capa, se empleó un mazo de goma para golpear cada capa 15 veces con fuerza suficiente para eliminar las burbujas de aire.

- Cuando la tercera capa estuvo lista, se alisó el borde superior, asegurándose de que quede plano y completamente relleno.
 - Se alisó y limpió las paredes del contenedor y se determinó su peso.
- e) **NTP 339.218 Ensayo de columna para determinar la segregación estática del concreto** (INACAL, 2019)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Balanza
- Molde tipo columna
- Placa colectora
- Barra de enrasado
- Tamiz
- Recipiente de muestras y recipiente de vertido

Figura 27 *Detalle del Molde Tipo Columna*



Nota: Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR, 2015).

Procedimiento

- Preparar la superficie de trabajo plana y libre de vibraciones.
- Mezclar la muestra obtenida para obtener un concreto homogéneo.
- Humedecer el interior del molde y eliminar el agua estancada.
- Llenar el recipiente de vertido con porciones de concreto desde el recipiente de muestras.
- Llenar el molde con concreto inclinando el recipiente de vertido, asegurando una distribución uniforme.
- Repetir los pasos anteriores hasta llenar el molde ligeramente por encima del borde superior en un lapso de 2 minutos.
- Enrasar la superficie del concreto con una barra de enrasado.
- Permitir que el concreto repose en el molde durante 15 ± 1 min.
- Retirar el sistema de fijación del molde.
- Recolectar el concreto de la sección superior y media en una placa recolectora.
- Depositar el concreto recolectado en un recipiente de plástico.
- Repetir los pasos anteriores para remover el concreto de la sección intermedia y desecharlo.
- Pasar la muestra de concreto recolectada por un tamiz de 4.75 mm para separar el agregado grueso.
- Lavar el agregado grueso en el tamiz y depositarlo en un recipiente plástico limpio.
- Repetir los pasos anteriores para el concreto retenido en la parte inferior del molde.
- Secar el agregado grueso obtenido enrollándolo en un paño absorbente hasta que se elimine el agua visible.

- Determinar la masa del agregado grueso de la parte superior e inferior del molde a los 50g más cercanos.

$$S = 2 \left[\frac{CAB - CAT}{CAB + CAT} \right] \times 100, \text{ cuando } CAB > CAT \quad (60)$$

$$S = 0, \text{ cuando } CAB \leq CAT \quad (61)$$

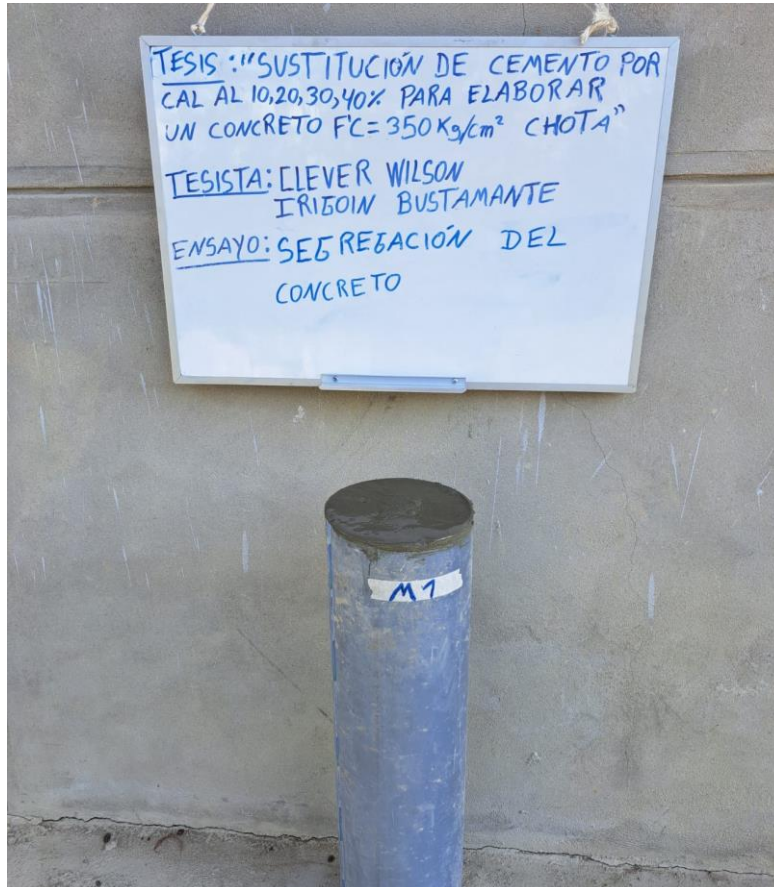
Donde, S porcentaje de segregación estática, CAT masa de agregado grueso en la parte superior de la columna, CAB masa de agregado grueso en la parte inferior de la columna.

Tabla 17 Grado de Segregación

Grado de segregación (S)	
<0.5%	Resistente
0.5%-5%	Moderadamente resistente
≥5%	No resistente

Nota: (INACAL, 2019).

Figura 28 Ensayo de Segregación Estática en el Concreto



3.6.1.6.NTP 339.183 Elaboración de probetas (INACAL, 2021)

Aparatos, instrumentos, y/o materiales

- Mezcladora
- Cemento Portland Tipo I Pacasmayo
- Moldes cilíndricos de 6” x 12”
- Carretilla
- Varilla de acero lisa de 5/8” de diámetro y 60 cm de largo.
- Mazo de goma
- Herramientas pequeñas: planchas, cucharones, guantes y tazones metálicos.
- Arena de Conchán y piedra chancada de Chuyabamba

Pasos:

Vaciado de concreto

Se aplicó una capa delgada de aceite mineral a las superficies internas del encofrado para evitar que el concreto se adhiera al encofrado. Se mide y agrega la cantidad adecuada de materiales en la mezcladora de concreto. Luego se mezclaron los materiales hasta obtener una mezcla homogénea y sin grumos, se utilizó agregados locales, agua potable, cal en remplazo parcial del cemento Portland Tipo I Pacasmayo, al 0%, 10%, 20%, 30% y 40%. El concreto se vertió en tres capas, con cada capa compactada mediante 25 pasadas de una barra de acero redonda de 16 mm (5/8”). Se alisó la superficie de las probetas con una regla o paleta, se dejó reposar la probeta en un lugar donde no se vean expuestas a condiciones adversas como cambios de temperatura o humedad en el campus Colpamatara de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. Finalmente, se espera el tiempo establecido para que el concreto endurezca y adquiera la resistencia esperada.

Curado de probetas

De acuerdo con el procedimiento descrito en la NTP 339.183 (INACAL, 2021), si no se utilizan aditivos, las muestras primero deben desmoldarse dentro de las 20 a 48 horas posteriores a la fabricación. Luego se colocan las probetas en un tanque de curado, se mantienen las probetas sumergidas en agua durante 7, 14 y 28 días, asegurándose de que estén completamente cubiertas de agua en todo momento. Además, se mantiene la temperatura del agua entre 20°C y 25°C durante el proceso de curado. Se controla regularmente el nivel de agua y se repone si es necesario. Se evita movimientos bruscos de las probetas durante el curado, ya que podrían sufrir daños. Finalmente, después de los 7, 14 y 28 días de curado, se sacan las probetas del agua y se dejan secar al aire durante al menos 24 horas antes de someterlas a pruebas de resistencia.

Figura 29

Preparación y Curado de Probetas de Concreto



3.6.1.7. Ensayos en estado endurecido

a) NTP 399.602 Ensayo de absorción (INACAL, 2018)

Equipos, materiales e instrumentos:

- Tres probetas de concreto preparadas y curadas por cada dosificación con más de 3 días de curado.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado.
- Recipientes de agua.
- Paño o toalla absorbente.
- Cronómetro o reloj.
- Recipiente para pesar las probetas sumergidas.

Procedimiento:

- Extraer las probetas de concreto del tanque de curado y secar suavemente la superficie con un paño o toalla absorbente para eliminar el exceso de humedad superficial.
- Pesar cada probeta de concreto individualmente en una balanza de precisión y registrar el peso inicial.
- Llenar un recipiente con agua y sumergir las probetas completamente en él, asegurándose de que no queden burbujas de aire atrapadas.
- Dejar las probetas sumergidas durante 24 horas para determinar la absorción.
- Pasado el tiempo especificado, retirar las probetas del agua y secar suavemente la superficie con un paño o toalla absorbente para eliminar el exceso de agua superficial.
- Inmediatamente después del secado, pesar cada probeta de concreto en la balanza de precisión y registrar el peso final.

- Calcular la diferencia entre el peso final y el peso inicial de cada probeta para obtener la absorción de agua expresada en porcentaje.

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (62)$$

- Repetir el procedimiento con tres probetas para obtener resultados más precisos y representativos.
- Luego de realizar este ensayo, las probetas fueron devueltas al tanque de curado para continuar su proceso de curado.

b) NTP 331.017 Ensayo de eflorescencia (INACAL, 2016)

Se ha utilizado el procedimiento modificado por Guevara-Fustamante & Silva-Tarrillo (2023) para determinar la eflorescencia acelerada por exposición constante a agua con sulfatos durante 28 días.

Equipos y materiales:

- Probetas de concreto preparadas y curadas, mismas que en proceso de fraguado se han cortado en tres mitades iguales. De 15 cm de radio y 10 cm de alto.
- Balanza de precisión.
- Cepillos de cerdas suaves.
- Agua destilada.
- Papel de filtro.
- Recipientes para contener agua.
- Cronómetro o reloj.
- Microscopio (opcional).

Procedimiento:

- Preparar las probetas de concreto, una por cada dosificación. No obstante, esta probeta luego del proceso de fraguado se divide en tres mitades haciendo uso

de una sierra eléctrica para obtener así tres muestras para eflorescencia por cada dosificación. Las probetas tienen dimensiones 15 cm de radio y 10 cm, con las que se ha determinado que su área es igual a:

$$A. \text{ base} = \pi \times r^2 = \pi \times 15^2 = 47.12 \text{ cm}^2 \quad (63)$$

$$A. S. \text{ Curva} = 2 \times \pi \times r \times h = 2\pi \times 15 \times 10 = 942.48 \text{ cm}^2 \quad (64)$$

$$\begin{aligned} \text{Área del cilindro} &= A. \text{ base} + A. \text{ sup. curva} = 47.12 + 942.48 = \\ &989.60 \text{ cm}^2 \quad (65) \end{aligned}$$

- Pesar cada probeta de concreto individualmente en una balanza de precisión y registrar el peso inicial.
- Sumergir cada probeta completamente en agua destilada con sulfatos durante 28 días para sobre saturarlas y exponerla a un medio químico adverso según sugiere Guevara-Fustamante & Silva-Tarrillo (2023).
- Retirar las probetas del agua y secar superficialmente con un papel de filtro para eliminar el exceso de agua.
- Colocar las probetas en los recipientes y llenarlos con agua suficiente para cubrir al menos el 1/3 de la altura de las probetas.
- Observar regularmente las probetas durante un período de 7 días.
- Inspeccionar visualmente las probetas en busca de depósitos blancos o cristalinos en la superficie. Estos depósitos son indicativos de la presencia de eflorescencia.
- Si es necesario, utilizar un cepillo de cerdas suaves para eliminar suavemente los depósitos de eflorescencia y observar nuevamente la superficie.
- Medir y registrar cualquier cambio en la apariencia de las probetas, como el aumento o disminución de la eflorescencia.

- Si es necesario, tomar fotografías o utilizar un microscopio para obtener imágenes detalladas de la eflorescencia.
- Determinar el porcentaje de eflorescencia, así como la intensidad del velo, y el nivel de eflorescencia.

$$\text{Efloresecencia en la base} = \frac{\text{Área con eflorescencia}}{\pi \times r^2} \times 100 \quad (66)$$

$$\text{Eflorescencia en la superficie curva} = \frac{\text{Área con eflorescencia}}{2 \times \pi \times r \times h} \times 100 \quad (67)$$

$$\% \text{ de eflorescencia} = \text{Efloresencia en la base} + \text{Eflorescencia en la superficie curva} \quad (68)$$

Tabla 18

Intensidad de Eflorescencia según Porcentaje de Área Afectada

Intensidad	Superficie afectada		
	>25%	5% a 25%	<5%
Velo fino	Ligeramente eflorecido	No eflorecido	No eflorecido
Velo grueso	Eflorecido	Ligeramente eflorecido	Ligeramente eflorecida
Mancha	Muy eflorecido	Eflorecido	Ligeramente eflorecido

Nota: (Vilela, 2022).

Figura 30

Probetas para Ensayo de Eflorescencia



c) NTP 339.034 Ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto a través de muestras cilíndricas (INACAL, 2021)

Está determinada por la relación entre la carga máxima alcanzada y el área de la parte lisa de la probeta. Las dimensiones de las muestras de ensayo fueron de 6"x12".

$$F'c = P/A \quad (69)$$

Donde, F'c resistencia a la compresión, P carga máxima total, A área superficial.

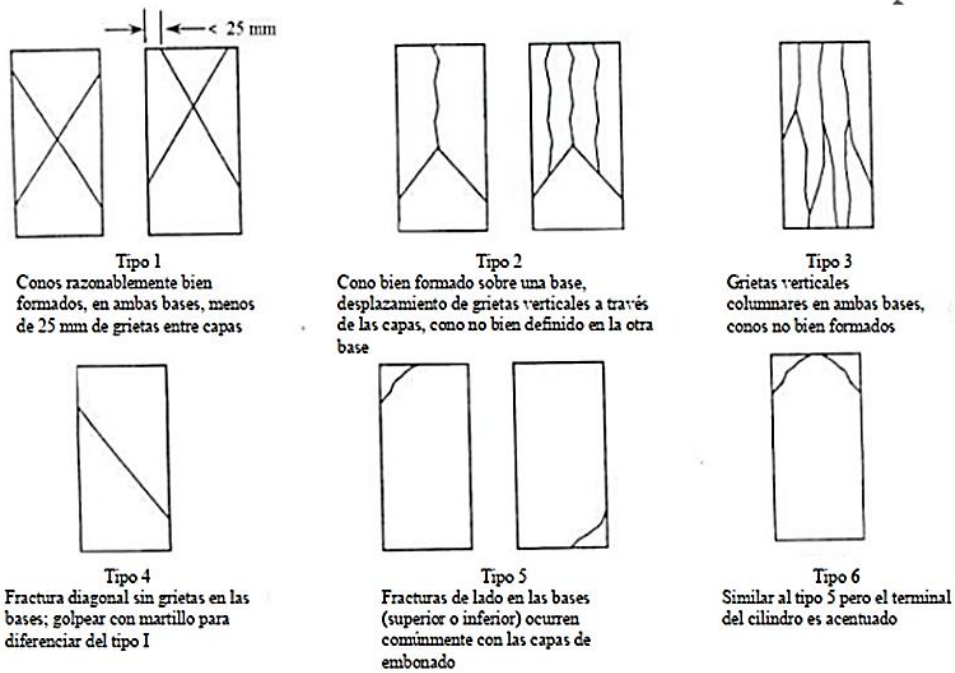
a. Equipos, materiales e instrumentos

- Máquina universal.
- Probetas de concreto producidas con 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de cal como sustituto del cemento.
- Balanza

b. Proceso

- Pasado el tiempo de curado se extraen las probetas del depósito y se colocan sobre papel filtro para eliminar la humedad. Cada cilindro de prueba, teniendo en cuenta su edad, se rompe dentro de la tolerancia permitida (probetas de 7 días \pm 6h, probetas de 28 días \pm 20 h).
- Se limpian las caras de contacto de la máquina de compresión con las probetas, y luego se ubica correctamente la probeta en la máquina de compresión. Finalmente se inserta el cilindro y se aplica carga hasta que presente rotura, registrando la carga máxima que ha generado el quiebre de la probeta.
- Se repite el proceso con al menos tres probetas de concreto de cada dosificación de cal como sustituto del cemento, para calcular la resistencia a compresión como el promedio de la capacidad mecánica de tres probetas de concreto.

Figura 31 Formas de Falla en Probetas de Concreto



Nota: NTP 339.034 (INACAL, 2021).

Figura 32 Prueba a Compresión en Probetas de Concreto con Cal



3.6.2. *Procesamiento de datos*

Se han procesado los resultados utilizando técnicas de agrupamiento, codificación y ordenamiento, presentando el promedio de las propiedades físico mecánicas de las materias primas y el concreto en tablas y diagramas de barras, dispersión, entre otros, haciendo uso del programa Microsoft Excel 2022.

3.6.3. *Análisis de datos*

En el análisis estadístico inferencial, se utilizó el software Minitab 22 para determinar si se debe aceptar o rechazar la hipótesis nula (H_0) o la hipótesis alternativa (H_1). En primer lugar, se evaluó la normalidad de los datos y, si los datos seguían una distribución normal, se aplicaron pruebas paramétricas como el análisis de varianza (ANOVA). El ANOVA se utiliza para determinar si existen diferencias significativas entre las medias, es una extensión de las pruebas t independientes para más de dos grupos (Amat, 2016).

3.7. Aspectos éticos

Según Acevedo (2002) los aspectos éticos que, debe cumplir la investigación científica son:

Validez científica y social: Para garantizar la validez científica, se han seguido los procedimientos y metodologías aceptadas en el campo de la investigación en concreto. Se han utilizado técnicas y herramientas adecuadas, como el software Minitab 22, para realizar un análisis estadístico inferencial preciso. En términos de validez social, se ha considerado el impacto y la relevancia de la investigación en la comunidad local de Chota, lo que puede resultar en mejoras en la construcción de concreto.

Maximización de beneficios y reducción de riesgos: Se han tomado medidas para maximizar los beneficios de la investigación, como la posible mejora en la

resistencia del concreto y la reducción en el consumo de cemento, que puede tener implicaciones económicas y ambientales positivas. Además, se han considerado y minimizado los riesgos asociados con el uso de la cal, asegurándose de cumplir con los estándares de seguridad y probando diferentes proporciones para determinar los niveles óptimos de sustitución.

Uso de protocolos de experimentación: Se ha utilizado un protocolo de experimentación riguroso para asegurar la validez de los resultados. Esto puede incluir la selección aleatoria de muestras de concreto, la estandarización de los procedimientos de mezcla y curado, y la realización de pruebas de resistencia y otros análisis específicos. Estos protocolos permiten obtener datos confiables y reproducibles, lo que aumenta la confianza en los resultados.

Mantener la veracidad de los resultados: Para garantizar la veracidad de los resultados, se han seguido buenas prácticas de investigación, como la documentación adecuada de los procesos y los datos obtenidos, y la presentación objetiva de los resultados sin sesgos o manipulación. Además, se ha utilizado el análisis estadístico adecuado para determinar la significancia de las diferencias encontradas entre los diferentes niveles de sustitución de cemento por cal. Esto ayuda a garantizar la objetividad y la representación precisa de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. *Propiedades químicas y físicas de la cal*

La cal de Bambamarca tiene propiedades químicas que la hacen adecuada para su uso en la industria de la construcción (Tabla 19). En primer lugar, la cal supera el contenido mínimo de cal activa ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) con Óxido de calcio (CaO) requerido por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016), que es del 90%. Esto significa que la cal analizada contiene una cantidad mayor de $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaO}$ de la necesaria, lo que la convierte en un producto de alta calidad y mayor eficiencia. Además, la cal también, supera el contenido disponible individual de Óxido de calcio (CaO) del 60%; el CaO es un componente esencial para la cementación y endurecimiento de los materiales en la construcción, por lo que, al tener un contenido superior al requerido, la cal de Bambamarca proporciona beneficios adicionales en términos de calidad, rendimiento y durabilidad para su uso en la industria constructiva.

Además, la cal analizada cumple con los tiempos de fraguado establecidos por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) y la NTP 334.168 (INACAL, 2019). El tiempo de fraguado inicial de la cal es de 60 minutos; esto significa que la cal comienza a solidificarse y adquirir propiedades mecánicas después de transcurrido este tiempo, este tiempo de fraguado inicial es importante ya que brinda un margen de maniobra para el manejo y aplicación de la cal durante la construcción; si el tiempo de fraguado inicial fuera demasiado corto, sería difícil trabajar con la cal antes de que empiece a endurecerse. Por otro lado, el tiempo final de fraguado de la cal es de 16 horas; este tiempo indica que la cal se ha endurecido por completo y ha adquirido todas las propiedades mecánicas que

exige la norma; si este tiempo es muy corto la cal no logra alcanzar toda su capacidad mecánica según la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) y la NTP 334.168 (INACAL, 2019); por lo que, se resalta que, en el estudio se supera el tiempo mínimo dado por la norma (15 horas), esto garantiza que la cal sea adecuada para su uso en la industria de la construcción.

Sin embargo, la cal analizada presenta un contenido de agua libre que excede el límite máximo establecido por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) y la NTP 334.168 (INACAL, 2019). La mezcla de cal contiene un 3.7% de agua libre, superando el límite máximo permitido de 2.5%. Esto indica que la cal tiene una mayor cantidad de agua no reaccionada en su matriz. El exceso de agua libre puede tener impactos negativos en el comportamiento y la calidad de la cal, ya que puede afectar sus propiedades físicas y mecánicas. Cabe destacar que, a pesar de que el contenido de humedad de la cal es de solo 0.5%, dentro del rango de 0.1% a 1% establecido por la normatividad, este valor se refiere al agua presente en la cal que está químicamente unida a su matriz y no al agua libre. A pesar de ello, la cal puede ser utilizada en la industria de la construcción, pero con una adecuada proporción de mezcla, ya que, según indica Alavéz-Ramírez et al. (2012) cal con mayor contenido de agua libre puede tender a reducir la capacidad mecánica del concreto.

Tabla 19 *Propiedades Químicas de la Cal de Bambamarca*

Propiedades químicas	Cal de Bambamarca	Requisitos norma UNE 459-1 (AENOR, 2016)
Cal activa Ca(OH) ₂ +CaO (%)	92.8	≥ 90
Cao Disponible (%)	66.4	≥ 60
Agua libre (%)	3.7	≤ 2.5
Tiempo de fraguado		
Inicial (minutos)	70	> 50
Final (h)	16	≥ 15

La cal de Bambamarca es un material ampliamente utilizado en la construcción por sus propiedades físicas (Tabla 20). Una de las características más distintivas de esta cal es su color, que va desde blanco humo hasta grisáceo; esta tonalidad es apreciada en la industria de la construcción, ya que permite que la cal se mezcle fácilmente con otros materiales y se integre de manera armoniosa en las estructuras y acabados. Además del aspecto estético, la cal de Bambamarca se destaca por su baja humedad, presenta un contenido de humedad del 0.5%. Esta cifra se encuentra dentro del rango establecido por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) de 0.1% a 1%, por lo que, se considera adecuado para el uso de cal en la construcción, ya que una humedad excesiva podría comprometer las propiedades del material. La granulometría es un aspecto importante a considerar en los materiales de construcción, ya que se refiere al tamaño de las partículas que forman dicho material; en el caso de la cal, su granulometría influye en su capacidad para mezclarse con otros materiales y en su capacidad de adherencia según indica la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016), por ello, establece que la cal debe presentar diámetro fino (porcentaje retenido en tamiz N° 200 menor a 7%); el porcentaje retenido en la malla 30 y en la malla 200 de la cal es menor al sugerido en la normatividad; esto indica que el tamaño de las partículas de la cal son lo suficientemente finas, ya que una menor retención en estas mallas significa que hay menos partículas de gran tamaño; en este caso, el hecho de que la cal de Bambamarca cumpla con los límites establecidos indica que el tamaño de sus partículas está dentro de rangos aceptables.

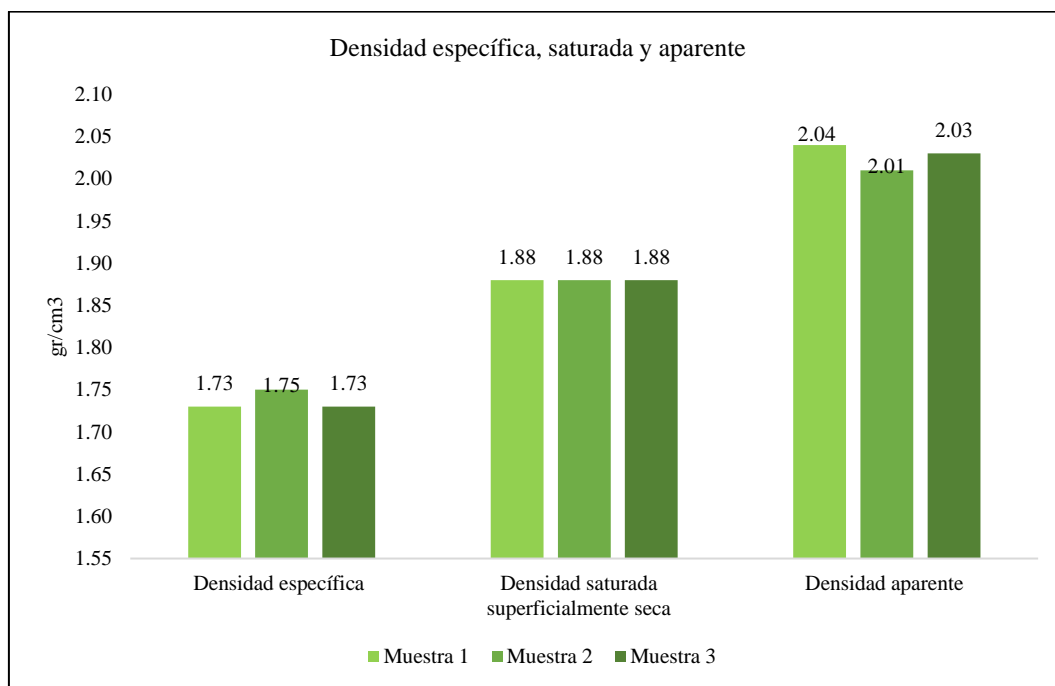
La densidad específica, absorción y peso unitario son propiedades físicas importantes para determinar la cantidad de material que ingresará a una mezcla. Aunque estas características no están normalizadas en la norma UNE 459-1

(AENOR, 2016), su conocimiento es fundamental para estimar la cantidad adecuada de cal que se necesita, por lo que, la norma ASTM C110 (2020) establece el proceso para determinar dichas propiedades de la cal. La densidad saturada superficialmente seca (SSS) de la cal es de 1.88 g/cm^3 , lo que indica que es un material ligero en comparación con otros aglomerantes como el cemento, cuya densidad específica es de 3.08 g/cm^3 , esto significa que una cantidad dada de cal tendrá menos masa y ocupará un mayor volumen en comparación con el cemento u otros materiales más densos. La absorción de la cal puede variar dependiendo de su grado de calcinación y finura; según Billong et al. (2020) la cal hidratada, tiene una mayor capacidad de absorción de agua en comparación con la cal viva; en este caso en particular, la capacidad de absorción es del 8.23%, esto significa que, por cada 0.1 m^3 de agua colocado en la mezcla de concreto, la cal será capaz de absorber 8.23 litros de agua. Finalmente, el peso unitario suelto de la cal es de 529.38 kg/cm^3 , esto implica que, si se toma una muestra de cal suelta y se mide su volumen, al multiplicar este volumen por el peso unitario suelto, se obtendrá el peso total de la muestra de cal suelta. Por otro lado, el peso unitario compactado de la cal es de 629.52 kg/cm^3 , por lo que, al igual que en el caso del peso unitario suelto, si se conoce el volumen de la cal compactada y se multiplica por el peso unitario compactado, se obtendrá el peso total de la muestra de cal compactada. La diferencia entre el peso unitario suelto y compactado de la cal se debe a la compresión o apisonado de la misma, durante el proceso de compactación, los espacios vacíos entre las partículas de cal se reducen, lo que resulta en un aumento en la densidad de la cal y, por lo tanto, en su peso unitario; esto significa que la cal compactada ocupa menos volumen en comparación con la cal suelta, dado que las partículas están más cercanas entre sí.

Tabla 20 *Propiedades Físicas de la Cal de Bambamarca*

Propiedades físicas		Cal de Bambamarca	Requisitos norma UNE 459-1 (AENOR, 2016)
Color		Blanco humo - gris	
Humedad (%)		0.1	0.1-1%
Granulometría	<i>Retenido, malla 30 (%)</i>	0.02	<4%
	<i>Retenido, malla 200 (%)</i>	0.93	<7%
	<i>Pasa malla 200 (%)</i>	99.05	
Densidad específica (g/cm ³)	<i>De masa (Pem)</i>	1.74	
	<i>Saturado superficialmente seca (SSS)</i>	1.88	
	<i>Aparente (Pea)</i>	2.03	
Absorción (%)		8.23	
Peso unitario (kg/m ³)	<i>Suelto (PUS)</i>	529.38	
	<i>Compactado (PUC)</i>	629.52	

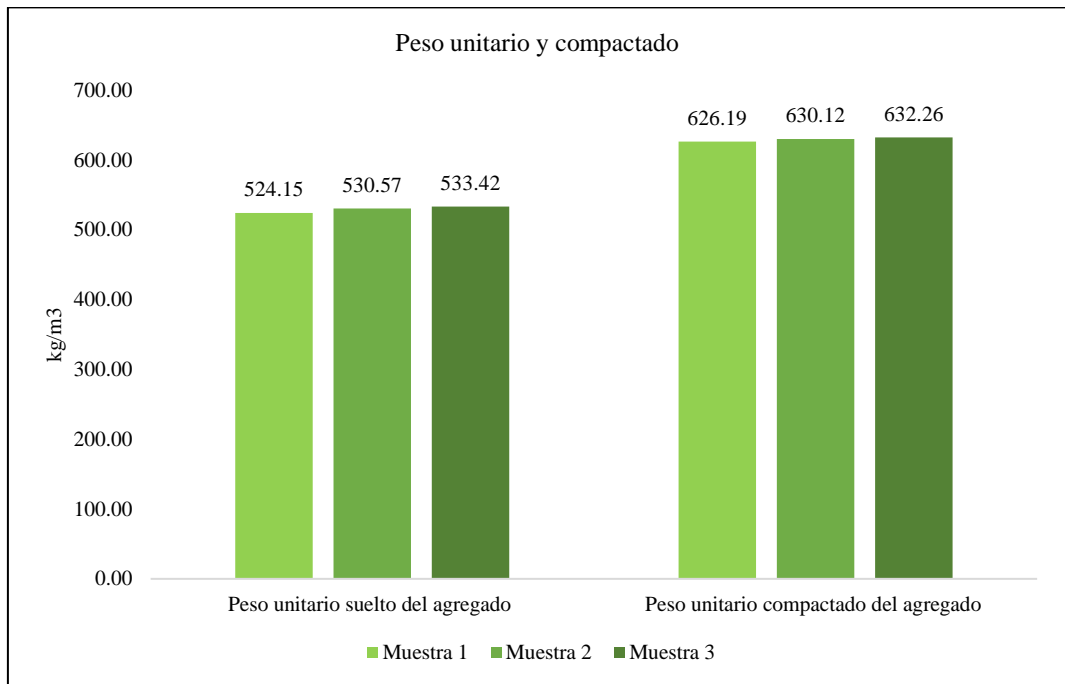
Figura 33 *Tipos de Densidades de la Cal de Bambamarca*



Nota: El valor máximo obtenido de densidad específica fue de 1.75 gr/cm³ que corresponde a la muestra 2, frente a 1.73 gr/cm³ que alcanzaron las muestras 1 y 3; los valores de densidad saturada superficialmente seca fueron igual para las 3 muestras con 1.88 gr/cm³; sin embargo, la muestra 2 alcanzó el mínimo valor de densidad aparente con un 2.01 gr/cm³, seguido de 2.03 que alcanzó la muestra 3 y la muestra 1 alcanzó el máximo valor con 2.04 gr/cm³.

Figura 34

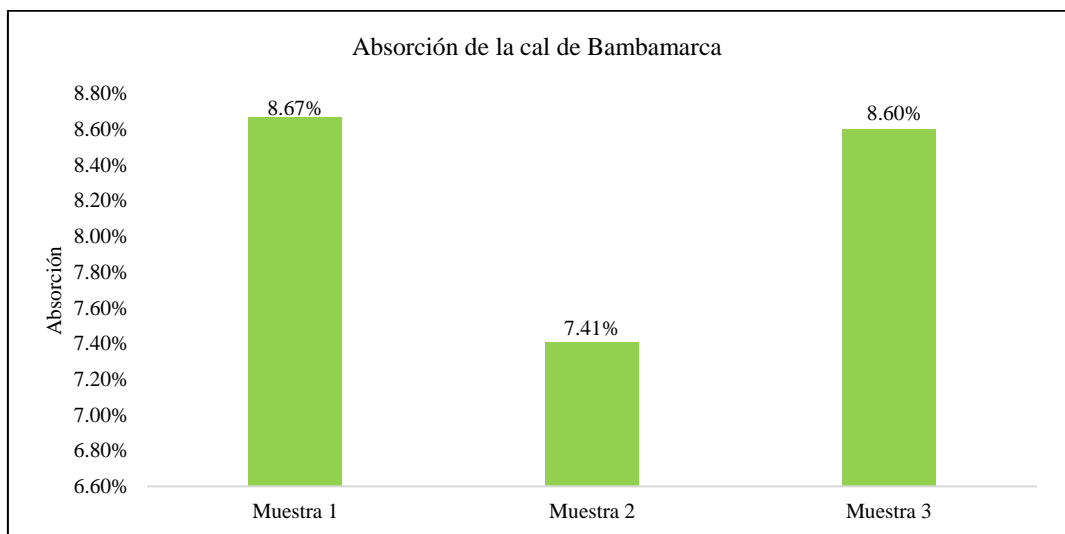
Peso Unitario y Compactado de la Cal de Bambamarca



Nota: Respecto a los pesos: unitario y compactado, la muestra 3 alcanzó valores máximos con 533.42 kg/m³ y 632.26 kg/m³ respectivamente, frente a los valores mínimos (524.15 kg/m³ y 626.19 kg/m³) que alcanzó la muestra 1.

Figura 35

Porcentaje de Absorción de la Cal de Bambamarca



Nota: El porcentaje de absorción más alto lo obtuvo la muestra 1 con 8.67%, seguido de la muestra 3 que alcanzó 8.60%, frente a un 7.41% que alcanzó la muestra 2.

4.1.2. *Diseño de mezclas para concreto de alta resistencia*

4.1.2.1. Propiedades físico mecánicas de los agregados

La arena de Conchán cumple parcialmente con el huso granulométrico para agregado fino, lo cual implica que no cumple completamente con todos los requisitos específicos establecidos por la norma técnica peruana NTP 400.037 (INACAL, 2021) en relación al tamaño de las partículas que componen el agregado fino. En este caso, el porcentaje de arena que pasa en el tamiz N° 30, supera el rango máximo establecido por la norma mencionada; esto significa que existe una mayor cantidad de partículas de arena de tamaño más pequeño de lo permitido.

La grava de la cantera Chuyabamba cumple con el huso granulométrico para agregado grueso especificado en la misma norma técnica NTP 400.03 (INACAL, 2021) 7; esto implica que la grava cumple totalmente con los requisitos establecidos en cuanto a la graduación de tamaño de las partículas para ser considerada como un agregado grueso adecuado.

Hay dos situaciones diferentes en relación a la cantidad de material que pasa a través del tamiz N° 200 tanto para la grava como para la arena; en el caso de la grava, se indica que la cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 es menor al 1%; esto significa que la grava cumple con los lineamientos establecidos por la normativa en cuanto a la cantidad de finos permitidos; en contraste, la arena presenta un 5.64% de material que pasa el tamiz N° 200; esto indica que la cantidad de finos presentes en la arena supera el límite del 5% establecido por la NTP 400.037 (INACAL, 2021), lo cual puede afectar las propiedades del agregado y su comportamiento en mezclas de concreto u otros materiales.

El módulo de finura de la arena está fuera del rango establecido por la norma NTP 400.037 (INACAL, 2021); en este caso, se menciona que la arena es mucho más fina de lo especificado en la norma; sin embargo, a pesar de que la arena no cumple con los husos granulométricos establecidos en la norma, se menciona que es posible utilizarla en la producción de concreto siempre y cuando el concreto cumpla con las características mecánicas requeridas; esto significa que, aunque la arena pueda ser más fina de lo recomendado, el concreto final aún podría cumplir con las propiedades mecánicas necesarias, como la resistencia y durabilidad.

La arena tiene un porcentaje de humedad del 4.48%, mientras que la grava tiene un porcentaje de humedad del 1.96%. En general, un mayor porcentaje de humedad en la arena indica que la misma contiene una mayor cantidad de agua en relación a su peso, esto genera que la arena esté más suelta y tenga una mayor plasticidad; por otro lado, un porcentaje de humedad relativamente bajo en la grava implica que el agua presente en el material es menor, lo que resulta en una grava más compacta y menos propensa a los cambios de volumen causados por la expansión y contracción del agua.

El peso específico de la arena es ligeramente superior al de la grava, con valores de 2576 kg/m³ y 2533 kg/m³ respectivamente; la arena es un poco más pesada por unidad de volumen que la grava, debido a la composición y densidad de los minerales presentes en cada uno de estos materiales. Además, la arena tiene una mayor capacidad de absorción de agua que la grava; esto está relacionado con la estructura y porosidad de la arena, que permite que se almacene una mayor cantidad de agua en sus partículas; en cambio, la grava, al tener una estructura más compacta y menos porosa, puede retener menos agua en comparación con la arena. El peso unitario suelto de la arena es de 1463.06 kg/m³, mientras que el

peso unitario suelto de la grava es de 1384.33 kg/m³; esto significa que, por cada metro cúbico de arena suelta, su peso será de aproximadamente 1463.06 kg, y por cada metro cúbico de grava suelta, su peso será de aproximadamente 1384.33 kg. Por otro lado, el peso unitario compactado es mayor que el peso unitario suelto en ambos casos; la arena compactada tiene un peso unitario de 1608.16 kg/m³ y la grava compactada tiene un peso unitario de 1543.83 kg/m³; esto indica que cuando la arena y la grava son compactadas, su peso por metro cúbico aumenta. Finalmente, la grava cumple con el límite máximo del 50% de pérdida de peso establecido en la NTP 400.037 (INACAL, 2021). Esto implica que la grava ha sido sometida a ensayos de abrasión y ha demostrado ser resistente a este tipo de desgaste. Es decir, la grava es capaz de soportar la fricción y el roce constante sin experimentar un desgaste excesivo. Por tanto, tanto la grava de Chuyabamba y la arena de Conchán pueden aplicarse como agregado grueso y fino para la producción de concreto f'c 350 kg/cm², no obstante, se debe controlar la proporción de materiales a través del correcto diseño de mezclas.

Tabla 21 *Propiedades Físicas de los Agregados*

Propiedades	Arena	NTP 400.037 (INACAL, 2021)	Grava	NTP 400.037 (INACAL, 2021)
Contenido de Humedad (%)	4.48		1.96	
Módulo de Finura MF (%)	2.23	2.3-3.1	7.38	
Cantidad de material que pasa tamiz 200 (%)	5.64	<5	0.67	<1
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.576		2.533	
Peso específico SSS (gr/cm ³)	2.603		2.618	
Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.648		2.769	
Absorción %	1.05		0.98	
Peso Unitario suelto (Kg/m ³)	1463.06		1384.33	
Peso Unitario compactado (kg/m ³)	1608.16		1543.83	
Abrasión (%)			25	< 50%

Figura 36

Curva de Distribución del Agregado Fino

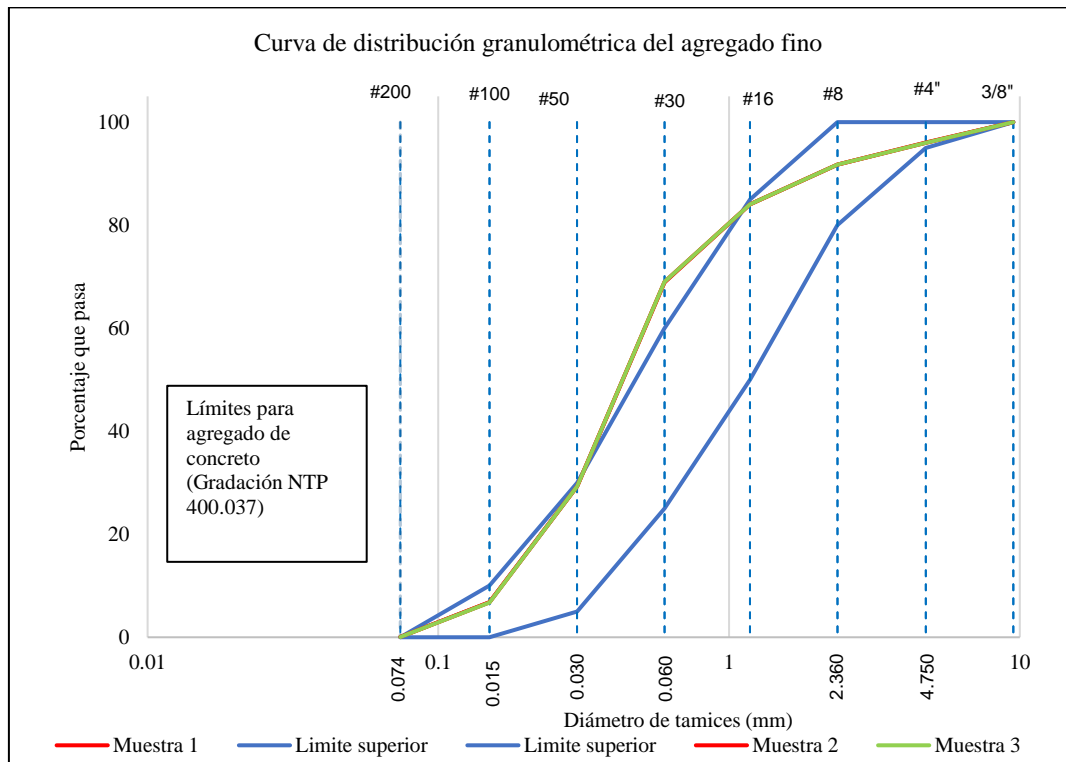


Figura 37

Curva de Distribución Granulométrica del Agregado Grueso

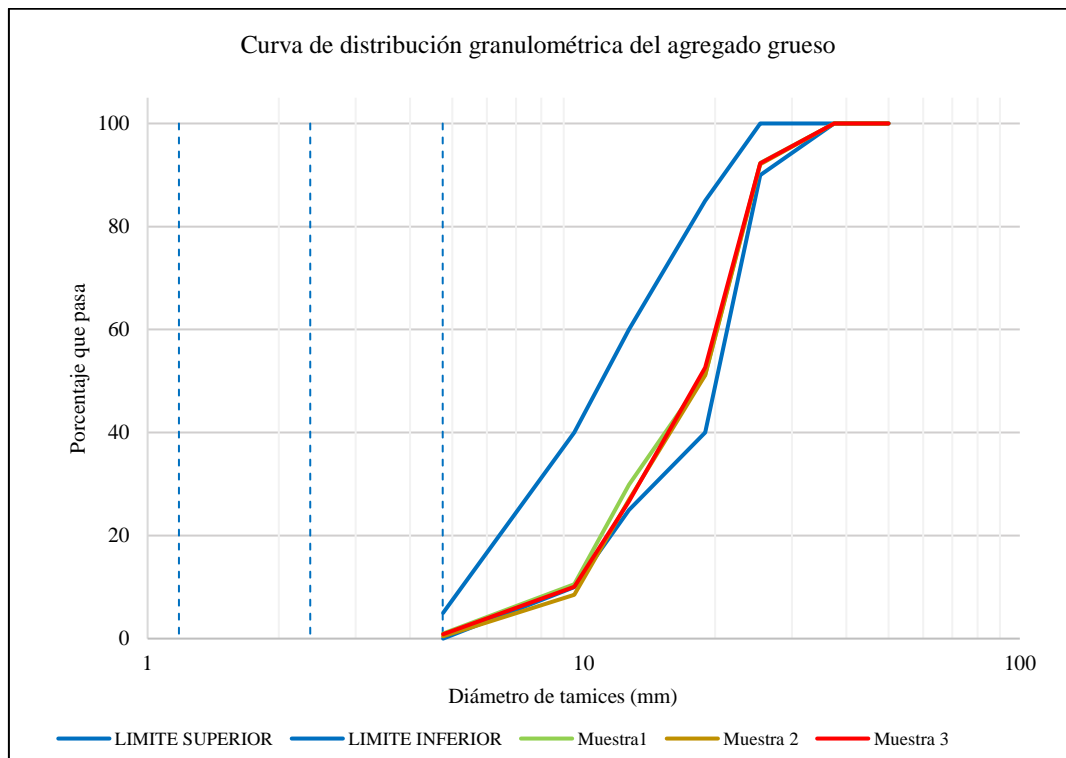
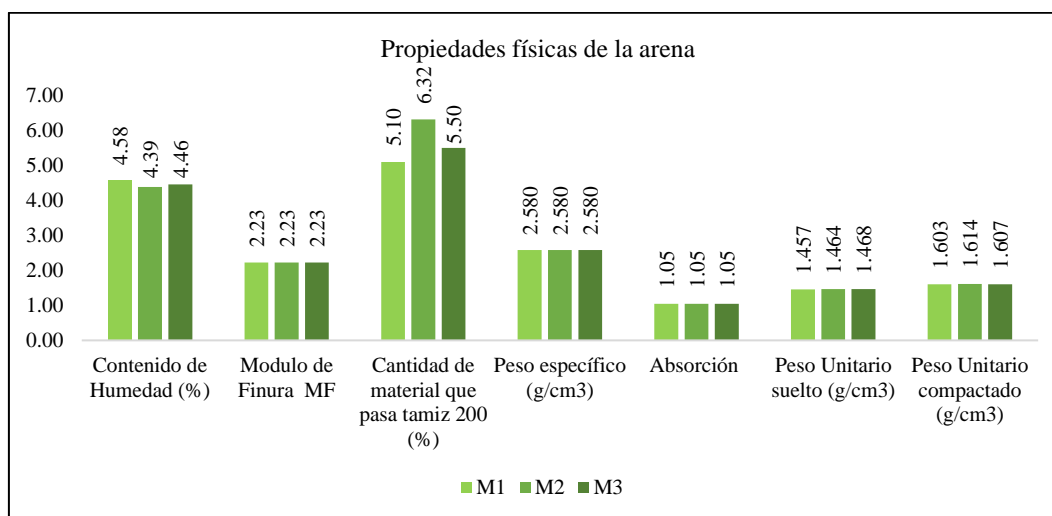
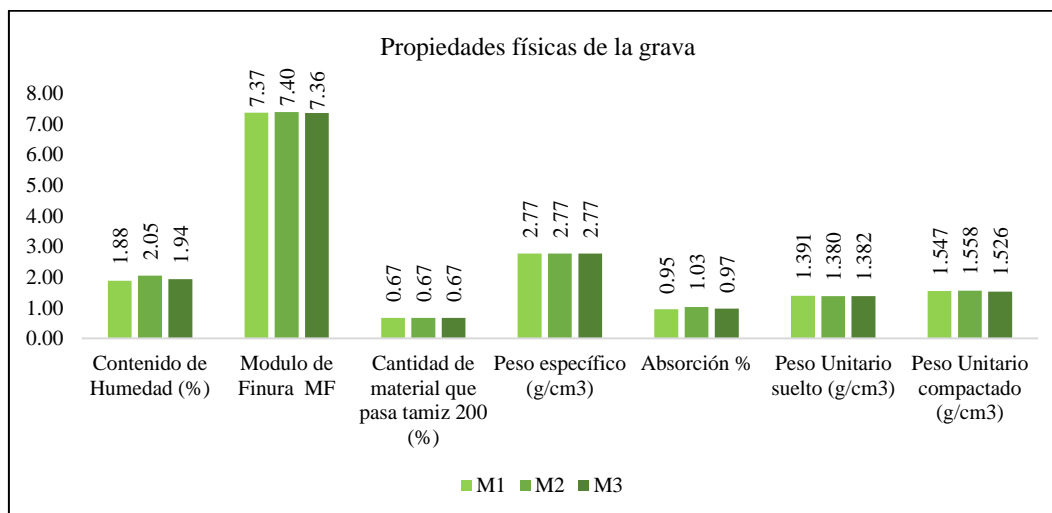


Figura 38 *Propiedades Físicas de la Arena de Conchán*



Nota: La humedad máxima lo obtuvo M1 con 4.58%; respecto al módulo de finura y absorción las 3 muestras alcanzaron el mismo valor de 2.23% y 1.05% respectivamente; sin embargo, el porcentaje más alto de cantidad de material que pasa por el tamiz 200 lo obtuvo la M2 con un 6.32%. El valor máximo de peso unitario suelto fue de 467.82 kg/m³ que corresponde la M3; sin embargo, el valor máximo de peso unitario compactado lo obtuvo la M2 con un 1614.11 kg/m³.

Figura 39 *Propiedades Físicas de la Grava de la Cantera Chuyabamba*



Nota: La M2 alcanzó los más altos valores en cuanto a porcentaje de contenido de humedad, módulo de finura y absorción cuyos valores correspondientes fueron de 2.05%, 7.40% y 1.03% respectivamente; sin embargo, el porcentaje de cantidad de material que pasa por el tamiz 200 fue de 0.67% para las 3 muestras. El peso unitario suelto máximo fue de 1391.49 kg/m³ (M1) y el mínimo lo obtuvo la M2 con un 1379.67 kg/m³. El máximo peso unitario compactado fue de 1557.74 kg/m³ que lo obtuvo la M2 y el valor mínimo lo obtuvo la M3 con un 1526.45 Kg/m³.

4.1.2.2. Proporción de la mezcla del concreto base

El resultado que se presenta es una proporción de mezcla de concreto base $f'c$ 350 kg/cm² que ha sido diseñada utilizando el método ACI 211.1 (2022). La relación A/C, que representa la relación de agua a cemento, es de 0.48; esta relación es importante ya que afecta directamente la resistencia del concreto; una relación A/C baja indica una menor cantidad de agua, lo que generalmente resulta en un concreto más resistente, no obstante, puede afectar la trabajabilidad. En esta proporción de mezcla, se requieren 9.46 bolsas de cemento; el uso de una cantidad específica de bolsas de cemento asegura que se cumplan las especificaciones de resistencia requeridas. Además del cemento, se requiere una cantidad específica de piedra chancada y arena fina. La piedra chancada es un agregado grueso que proporciona resistencia y estabilidad al concreto. En este caso, se necesitan 0.452 m³ de piedra chancada de 1" proveniente de la cantera Chuyabamba. La arena fina es un agregado fino que mejora la trabajabilidad del concreto y ayuda a llenar los espacios entre los agregados gruesos. Para esta mezcla, se requieren 0.228 m³ de arena fina proveniente de la cantera Conchán. Finalmente, se añade 161.77 litros de agua potable. El agua es necesaria para la hidratación del cemento y la activación de los procesos químicos que hacen que el concreto endurezca. Es importante utilizar agua potable para evitar contaminaciones que puedan afectar la calidad del concreto.

Tabla 22

Proporción de Mezcla Base del Concreto $F'c$ 350 kg/cm²

Proporción	Cemento	A.G.	A.F.	Agua (lts)
En peso (kg)	402.08	1144.26	586.81	161.77
En volumen (m ³)	9.46 bls	0.4518	0.2278	0.162
De diseño	1.00	2.85	1.46	17.10

4.1.2.3. Proporción de la mezcla del concreto con cal

La modificación en la proporción base, donde se reemplaza el cemento por cal en diferentes porcentajes: 10%, 20%, 30% y 40%, se especifica la cantidad de cal utilizada en la mezcla: 40.21 kg, 80.42 kg, 120.63 kg y 160.83 kg respectivamente. Para comprender el significado de estas cantidades, es importante saber que tanto las bolsas de cemento como las de cal tienen diferentes capacidades; cada bolsa de cemento tiene un peso de 42.5 kg, mientras que cada bolsa de cal pesa solamente 30 kg. Con base en estos datos, el resultado proporciona cuántas bolsas de cemento y de cal se utilizan para cada una de las dosificaciones, es decir, cada porcentaje de cal. Si se considera una dosificación con 10% de cal, se necesitan 8.51 bolsas de cemento y 1.34 bolsas de cal; de manera similar, para una dosificación con 20% de cal se requiere 7.57 bolsas de cemento y 2.68 bolsas de cal. Para una dosificación con 30% de cal, se necesitan 6.62 bolsas de cemento y 4.02 bolsas de cal. Por último, para una dosificación con 40% de cal, se utilizan 5.68 bolsas de cemento y 5.36 bolsas de cal. Además de los cambios en la proporción de cal, todas las dosificaciones utilizan la misma cantidad de grava (0.452 m³), arena (0.228 m³) y 161.77 litros de agua potable.

Tabla 23

Proporción de Mezcla del Cemento y Cal para un Concreto F'c 350 kg/cm²

Porcentaje (%) de cal	Cantidad (kg)		Cantidad en bolsas		Proporción	
	Cemento	Cal	Cemento	Cal	Cemento	Cal
0%	402.08	0.00	9.46	0.00	1	0
10%	361.88	40.21	8.51	1.34	0.9	0.1
20%	321.67	80.42	7.57	2.68	0.8	0.2
30%	281.46	120.63	6.62	4.02	0.7	0.3
40%	241.25	160.83	5.68	5.36	0.6	0.4

Nota: La bolsa de cemento tiene 42.5 kg del material, mientras que, la bolsa de cal solo trae 30 kg.

4.1.3. *Propiedades en estado fresco del concreto de alta resistencia con cal*

La siguiente tabla muestra los resultados de las propiedades en estado fresco o no endurecido del concreto $f'c$ 350 kg/cm², donde se ha sustituido el cemento por diferentes proporciones de cal en peso (10%, 20%, 30% y 40%). El objetivo de esta sustitución fue evaluar el efecto de la cal en las características de la mezcla de concreto. La primera propiedad evaluada es la consistencia de la mezcla, verificando que a medida que, se aumenta la proporción de cal, la consistencia tiende a aumentar haciendo que, la mezcla se vuelva más fluida y menos pegajosa a medida que se acrecienta la cantidad de cal presente. La proporción de aire atrapado en la mezcla es otra característica evaluada, evidenciando que, el contenido de aire atrapado en la mezcla disminuye a medida que, se aumenta el porcentaje de cal debido a la reacción química entre la cal y el agua. El peso unitario del concreto también se reduce conforme se aumenta la proporción de cal en la mezcla, siendo favorable la reducción del grado de segregación lo que, da mayor homogeneidad, consistencia y estabilidad a la mezcla de concreto con cal. No obstante, la temperatura difiere del comportamiento usual del resto de propiedades, incrementándose ligeramente al aumentar la cal en la mezcla, pero no forma parte de ningún cambio significativo en la mezcla debido a que, se encuentra en el rango usual de temperatura.

Tabla 24 Propiedades en Estado Fresco del Concreto $F'c$ 350 kg/cm² con Cal

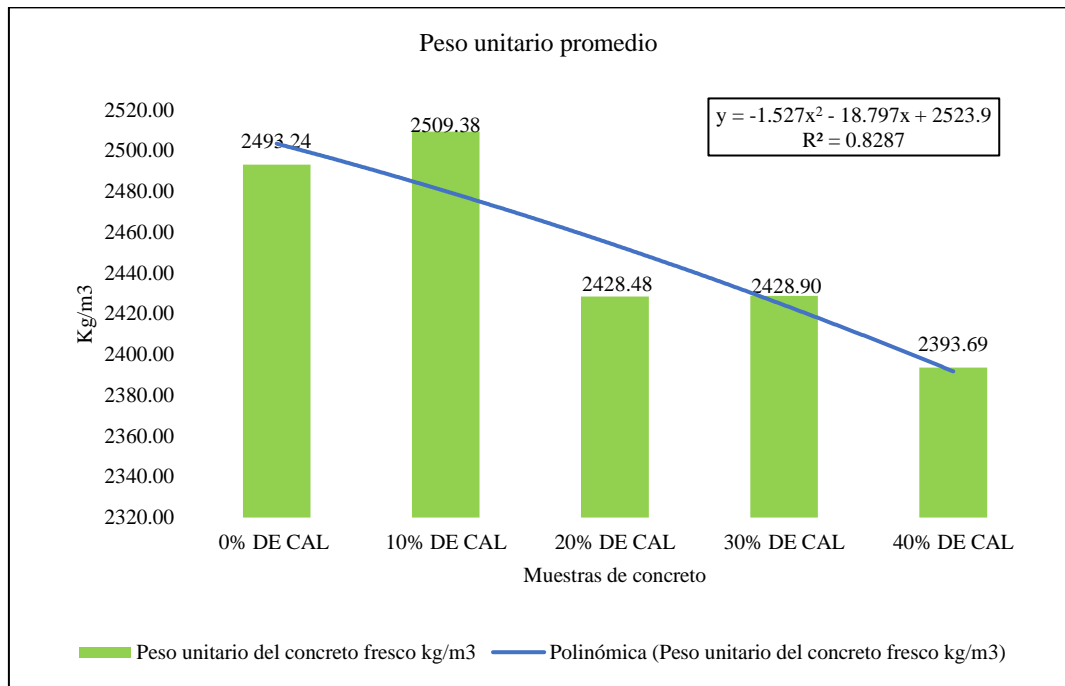
% de cal	Slump (cm)	Slump (Pulg)	Contenido de aire (%)	Peso unitario (kg/cm ³)	Grado de segregación (%)	Temperatura (°C)
0%	7.874	3.1	1.42	2493.24	3.87	17.00
10%	7.6708	3.02	1.43	2509.38	2.93	18.20
20%	7.747	3.05	1.41	2428.48	2.05	18.50
30%	8.382	3.3	1.40	2428.90	1.18	18.90
40%	9.144	3.6	1.38	2393.69	0.38	19.50

4.1.3.1. Peso unitario

El peso unitario del concreto de alta resistencia es inicialmente de 2493.24 kg/m³, que es el valor típico para una mezcla de concreto. Sin embargo, al reemplazar el 10% del peso del cemento por cal, la densidad aumenta ligeramente a 2509.38 kg/m³. Cuando la cal se mezcla con la arena y la grava, actúa como un agente de unión, creando una estructura más compacta y sólida. La cal tiene la capacidad de reaccionar químicamente con el agua presente en la mezcla, formando una especie de pegamento que une las partículas de los materiales sólidos. Este proceso de hidratación de la cal provoca que las partículas de arena y grava se adhieran entre sí, lo que resulta en una mayor densidad inicial, pero si esta dosificación se acrecienta en mayor porcentaje de sustitución, la densidad tiende a disminuir al reemplazar el cemento (aglomerante principal) por cal (aglomerante secundario). Siendo así, a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la mezcla, el peso unitario del concreto disminuye. Esto significa que la mezcla se vuelve más ligera, lo cual puede ser ventajoso en algunos casos en los que se desea utilizar mezclas de concreto más livianas. Sin embargo, esta disminución en el peso del concreto puede tener implicaciones en la resistencia a compresión del material. Por lo tanto, es fundamental determinar la proporción adecuada de cal en la mezcla de concreto para garantizar que se cumpla con los requisitos de resistencia a compresión. Esto implica evaluar las propiedades en estado no endurecido (como la trabajabilidad y consistencia de la mezcla) y endurecido (como la resistencia a compresión) para encontrar el equilibrio adecuado, sobre todo cuando se trata de un concreto de alta resistencia f'_c 350 kg/cm², como es el caso.

Figura 40

Peso unitario de la Mezcla de Concreto con Cal



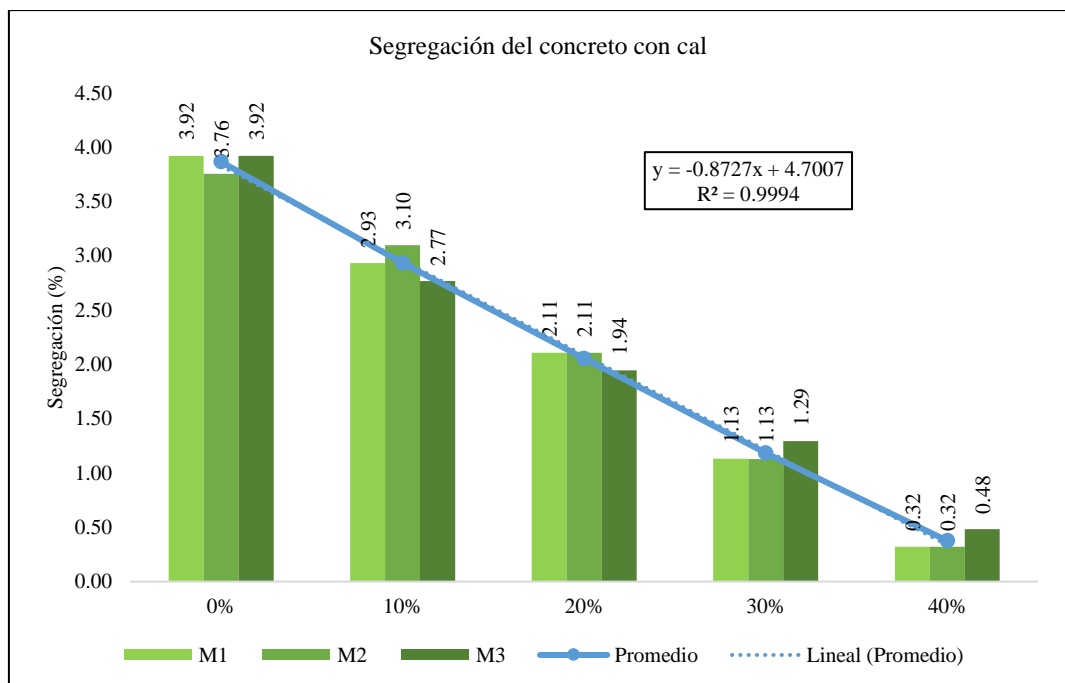
4.1.3.2. Grado de segregación

La segregación en el concreto se refiere a la separación de los componentes del concreto durante su manipulación y colocación, lo que puede resultar en una distribución no uniforme de los agregados, la pasta de cemento y el agua. Esta separación puede ser perjudicial para la resistencia y durabilidad del concreto, por lo que es importante limitarla a un máximo del 5% según la NTP 339.218 (INACAL, 2019). La adición de cal a la mezcla de concreto puede influir en la segregación. Cuando se añade una mayor cantidad de cal a la mezcla de concreto, se forma una mayor cantidad de hidratos de cal, lo que contribuye a mejorar la cohesión del concreto. Como resultado, los agregados, la pasta de cemento y el agua tienden a mantenerse juntos de manera más uniforme, lo que reduce la posibilidad de segregación. En general, una mayor cantidad de cal en la mezcla de concreto resulta en una reducción en el grado de segregación. Esto se debe a

que la cal actúa como un agente estabilizante que mejora la cohesión de la mezcla, evitando la separación de los componentes. No obstante, es importante destacar que, aunque una mayor cantidad de cal en la mezcla de concreto puede ayudar a reducir la segregación, no se debe exceder la cantidad recomendada. Un exceso de cal puede afectar negativamente las propiedades físicas y mecánicas del concreto, y puede resultar en una menor resistencia y durabilidad a largo plazo.

Figura 41

Segregación de la Mezcla de Concreto con Cal



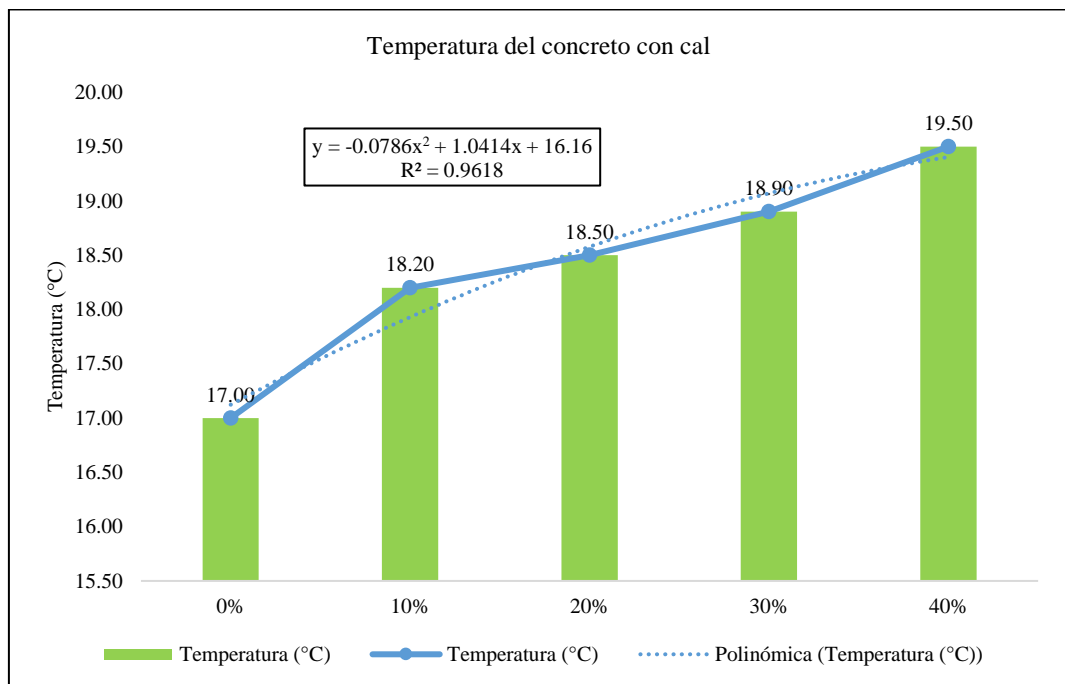
4.1.3.3. Temperatura

La temperatura del concreto se incrementa a medida que se añade una mayor cantidad de cal a la mezcla. Esta variación en la temperatura se debe al proceso de hidratación del concreto. La hidratación es la reacción química que ocurre entre el cemento y el agua presente en la mezcla, dando lugar a la formación de productos de hidratación, como el gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) y el hidróxido de calcio (CH). Este proceso de hidratación es exotérmico, es decir,

libera calor como resultado de la reacción química. La cal, también conocida como óxido de calcio (CaO), es un componente que se utiliza en la fabricación de concreto. Cuando se agrega cal a la mezcla, esta reacciona con el agua presente durante la hidratación, generando hidróxido de calcio (CH). Esta reacción también es exotérmica, lo que contribuye a un incremento adicional en la temperatura del concreto. El control de la temperatura durante el proceso de hidratación del concreto es esencial para garantizar la calidad y durabilidad del mismo. Temperaturas extremas pueden afectar negativamente las propiedades del concreto, como su resistencia y durabilidad. No obstante, es importante destacar que, a pesar de que se produce un aumento en la temperatura del concreto debido a la adición de cal, este se encuentra dentro del rango usual de temperatura de una mezcla de concreto; según Sharifi et al. (2015), el rango de temperatura típico de una mezcla de concreto varía entre 10°C y 35°C.

Figura 42

Temperatura de la Mezcla de Concreto con Cal



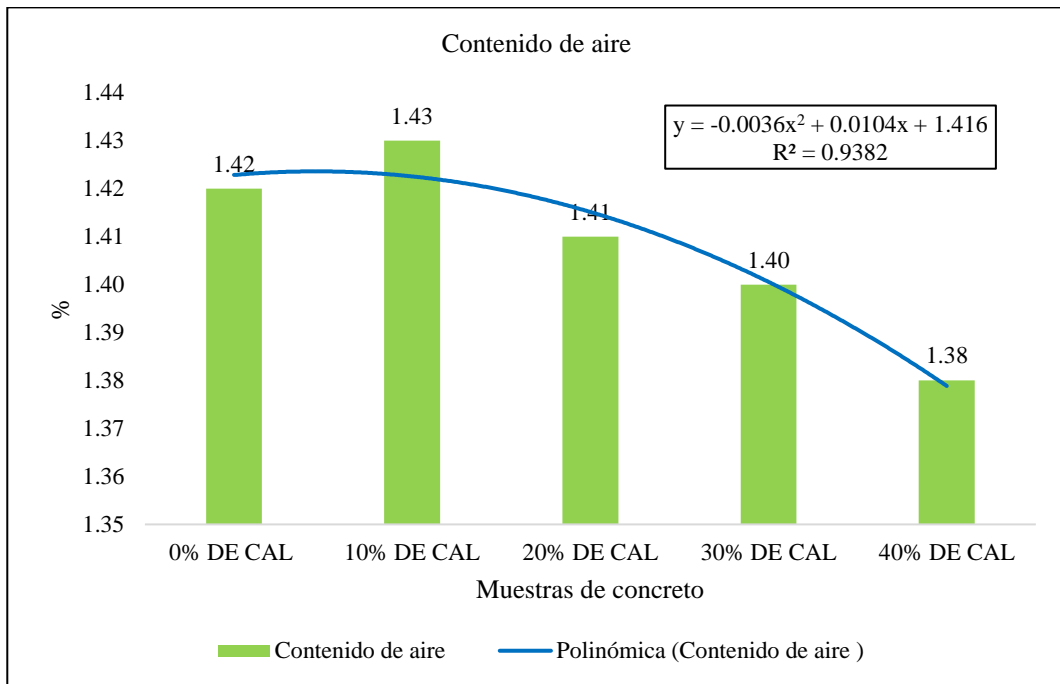
4.1.3.4. Contenido de aire

El contenido de aire en el concreto se reduce a medida que aumenta el porcentaje de cal en la mezcla. La regresión lineal entre el porcentaje de cal en la mezcla y el contenido de aire es negativa; eso indica que a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la elaboración del concreto los valores de contenido de aire disminuyen. La presencia de aire en el concreto es ventajosa, ya que proporciona una mayor durabilidad y resistencia al concreto. El aire atrapado actúa como una especie de lubricante, permitiendo que la mezcla sea más maleable; sin embargo, es importante que el contenido de aire no sea excesivo, ya que esto puede debilitar la resistencia del concreto. Por esta razón, se establece un límite máximo de contenido de aire en el diseño de mezclas, generalmente, alrededor del 1.5%, tal como, en el caso del estudio.

Con la adición de cal en la mezcla de concreto, se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de cal, el contenido de aire en la mezcla se reduce. Esto se debe a varias razones. En primer lugar, la cal tiene propiedades aglomerantes que ayudan a unir los componentes del concreto y reducir los espacios vacíos. Esto impide la formación de burbujas de aire en la mezcla. Además, la cal tiene propiedades que promueven la hidratación del cemento, lo que significa que ayuda a que el cemento se endurezca y se adhiera mejor a los agregados. Esto también reduce la cantidad de espacios vacíos en el concreto y, por lo tanto, disminuye la posibilidad de atrapar aire en la mezcla. Otra razón por la cual el contenido de aire se reduce con la adición de cal es que esta tiene propiedades estabilizadoras; la cal ayuda a mejorar la consistencia y la plasticidad del concreto, lo que significa que la mezcla es menos propensa a la segregación y al asentamiento; esto evita la formación de espacios vacíos donde podría atraparse aire.

Figura 43

Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto con Cal



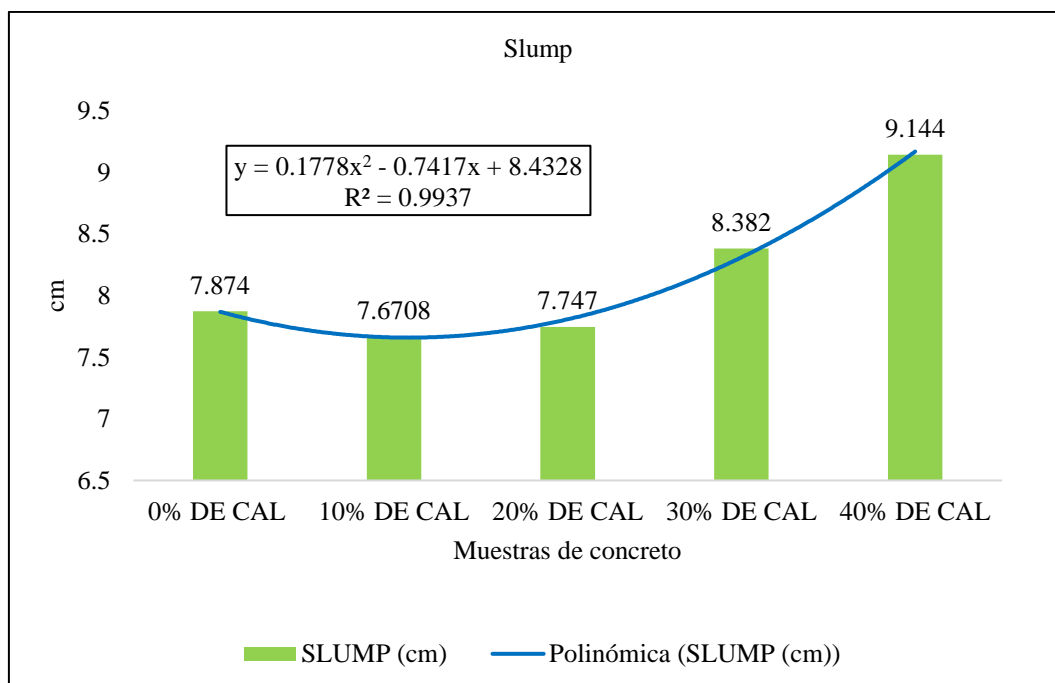
4.1.3.5. Asentamiento

El asentamiento de la mezcla de concreto en todos los casos se encuentra en el rango plástico (3-4”), pero a medida que, se incrementa la dosificación de cal en la mezcla también se acrecienta el slump, por tanto, la mezcla tiene mayor grado de trabajabilidad. La cal, que se utiliza comúnmente como un aditivo en el concreto, contribuye a la hidratación del cemento, lo que resulta en una reacción química que forma silicatos y aluminatos de calcio, conocidos como hidratos de cal. Estos hidratos aumentan la plasticidad y la trabajabilidad del concreto, lo que facilita su manipulación y colocación. En otras palabras, un mayor slump indica que la mezcla tiene una mayor capacidad de fluir y es más trabajable. Esto significa que el concreto puede ser fácilmente colocado y compactado en moldes o en la ubicación final de la estructura sin dificultad.

El aumento del slump debido a la dosificación de cal en la mezcla de concreto se debe a las propiedades físicas y químicas de la cal. La cal actúa como un agente lubricante, reduciendo la fricción entre las partículas de cemento y agregados en la mezcla. Esto permite que las partículas se deslicen y se acomoden más fácilmente, lo que resulta en un mayor asentamiento y mayor trabajabilidad. Además, la cal también contribuye a la formación de una pasta más suave y plástica en la mezcla, lo que facilita aún más el flujo y la compactación del concreto. Esta pasta suave y plástica es el resultado de la reacción química entre la cal y el agua presente en la mezcla, lo que produce hidróxido de calcio y una pasta más fluida. Por tanto, la cal actúa como un plastificante natural, mejorando la fluidez y la cohesión de la mezcla.

Figura 44

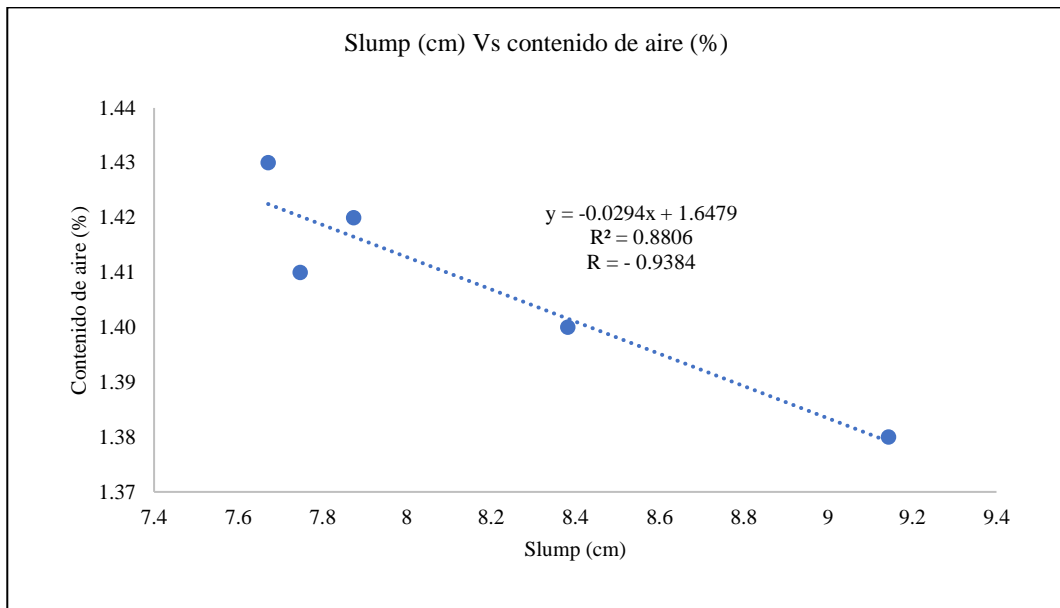
Slump de la Mezcla de Concreto con Cal



Nota: El Slump presenta regresión lineal positiva, eso indica que a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la elaboración del concreto los valores de slump aumentan.

Figura 45

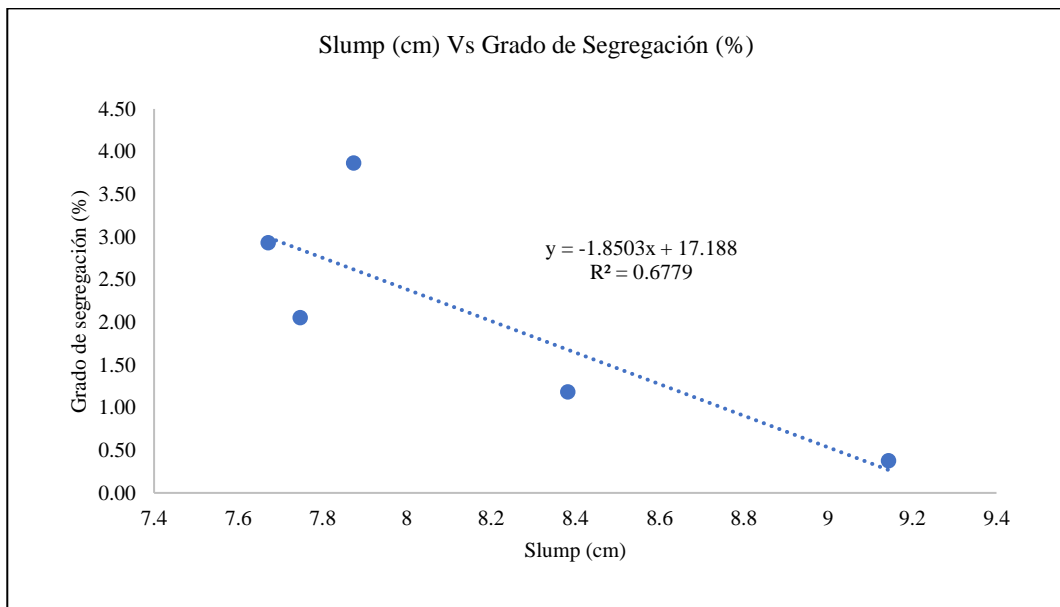
Correlación entre Slump y Contenido de Aire de la Mezcla de Concreto con Cal



Nota: se observa que entre Slump y contenido de aire, existe una correlación inversa significativa, lo que indica que mientras más alto es el Slump, más bajo es el contenido de aire, R de -0.9384.

Figura 46

Correlación entre Slump y Segregación de la Mezcla de Concreto con Cal



Nota: se observa que entre Slump y segregación, existe una correlación positiva media, lo que indica que mientras más altos son los valores de Slump, también son más altos los valores de segregación, con R2 de 0.6779.

4.1.4. *Propiedades en estado endurecido del concreto de alta resistencia con cal*

El concreto producido con cal en remplazo del cemento presenta diferentes características en relación al concreto convencional, principalmente debido a la menor densidad de la cal en comparación con el cemento. Como resultado, a medida que se aumenta el porcentaje de cal en la mezcla, el concreto producido presenta un menor peso. Además de esto, el uso de cal en la mezcla de concreto también tiene un impacto en la absorción de agua por parte del material; en el concreto endurecido, se ha observado que el porcentaje de absorción disminuye cuando se utilizan dosificaciones de cal, esto implica que el concreto se vuelve más impermeable, lo cual puede ser beneficioso en climas con bajas temperaturas donde la presencia de agua puede dañar la estructura del concreto. Otro aspecto relevante a mencionar es que, en comparación con el concreto sin cal, el concreto con dosificaciones de cal presenta un menor grado de eflorescencia cuando se expone a condiciones de humedad con sales solubles. Sin embargo, a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la mezcla, se ha observado una disminución en la resistencia a compresión del concreto endurecido.

Tabla 25

Propiedades en Estado Endurecido del Concreto F'c 350 kg/cm2 con Cal

Porcentaje de cal	Peso del concreto endurecido (kg)	Absorción (%)	Eflorescencia (%)		Resistencia a la compresión (kg/cm2)
0%	13.19	11.75	23.14	Eflorecido	376.60
10%	13.27	10.85	13.62	Ligeramente eflorecido	374.95
20%	12.82	10.29	11.12	Ligeramente eflorecido	258.82
30%	12.82	9.68	8.93	No eflorecido	216.04
40%	12.55	8.28	6.37	No eflorecido	135.07

4.1.4.1. Peso y peso unitario

El peso y peso unitario del concreto se ven afectados por la cantidad de cal utilizada como reemplazo del cemento. Se encontró que a medida que se incrementa el porcentaje de cal en el concreto, el peso y peso unitario se reducen; esto se debe principalmente a la menor densidad de la cal en comparación con el cemento. Sin embargo, los resultados iniciales mostraron que cuando se sustituye solo el 10% del cemento por cal, se produce un leve aumento en el peso y peso unitario del concreto. La diferencia observada fue de aproximadamente 0.08 kg (80 g) entre el concreto convencional y el concreto con cal; esto se debe a otros factores presentes en la composición del concreto que contrarrestan el efecto de la cal en la reducción de peso y que se adhieren mejor a la misma dando un mayor peso y peso unitario. Pero, a medida que se aumenta el porcentaje de cal utilizado (20%, 30%, 40%), se observa una disminución notable en el peso del concreto modificado en comparación con el concreto convencional sin cal; esto indica que el concreto con cal es un material más liviano en general: aunque es importante destacar que el peso unitario del concreto sin y con cal independientemente del porcentaje de cal en la mezcla, se encuentra dentro del rango usual para un concreto convencional, que según Singh & Kumar (2020) es 2240 a 2400 kg/m³. Así mismo, tanto el concreto fresco como el concreto endurecido presentan un peso unitario similar, con una diferencia máxima de 25 kg/m³ a favor del concreto fresco. Esta similitud en el peso unitario del concreto fresco y endurecido puede parecer sorprendente, ya que durante el proceso de endurecimiento del concreto se produce una pérdida de agua debido a la hidratación del cemento, lo que podría suponer una disminución en el peso unitario del material. Sin embargo, diversos estudios (Kovler & Roussel, 2011) han demostrado que esta diferencia en el peso

unitario se debe principalmente al contenido de agua presente en el concreto fresco. Durante la mezcla del concreto, se añade una cantidad precisa de agua para obtener la consistencia adecuada y permitir un buen mezclado de los componentes. Esta agua es esencial para la hidratación del cemento, que es el proceso químico responsable de la formación de la estructura sólida y resistente del concreto. Una vez que el concreto ha sido colocado y comienza el proceso de endurecimiento, parte de esta agua se evapora o se consume en la reacción química de hidratación, lo que hace que el concreto se vuelva más compacto y adquiera su resistencia característica. Como resultado, se produce una pérdida de peso en el concreto endurecido en comparación con el peso unitario del concreto fresco. Es importante destacar que esta pérdida de agua y, por ende, de peso, no afecta significativamente la capacidad de carga del concreto endurecido. Es decir, aunque el concreto endurecido pueda tener un peso unitario inferior al concreto fresco, su resistencia y capacidad de soporte siguen siendo óptimas para cumplir con los requerimientos de una estructura según Felekoğlu et al. (2007).

Tabla 26

Peso y Peso Unitario del Concreto con Cal

Porcentaje de cal	Peso del concreto endurecido (kg)	Peso unitario del concreto fresco (kg/m3)	Peso unitario del concreto endurecido (kg/m3)
0%	13.19	2493.24	2487.59
10%	13.27	2509.38	2503.09
20%	12.82	2428.48	2419.05
30%	12.82	2428.90	2418.21
40%	12.55	2393.69	2368.12

Figura 47

Peso del Concreto Endurecido con Cal

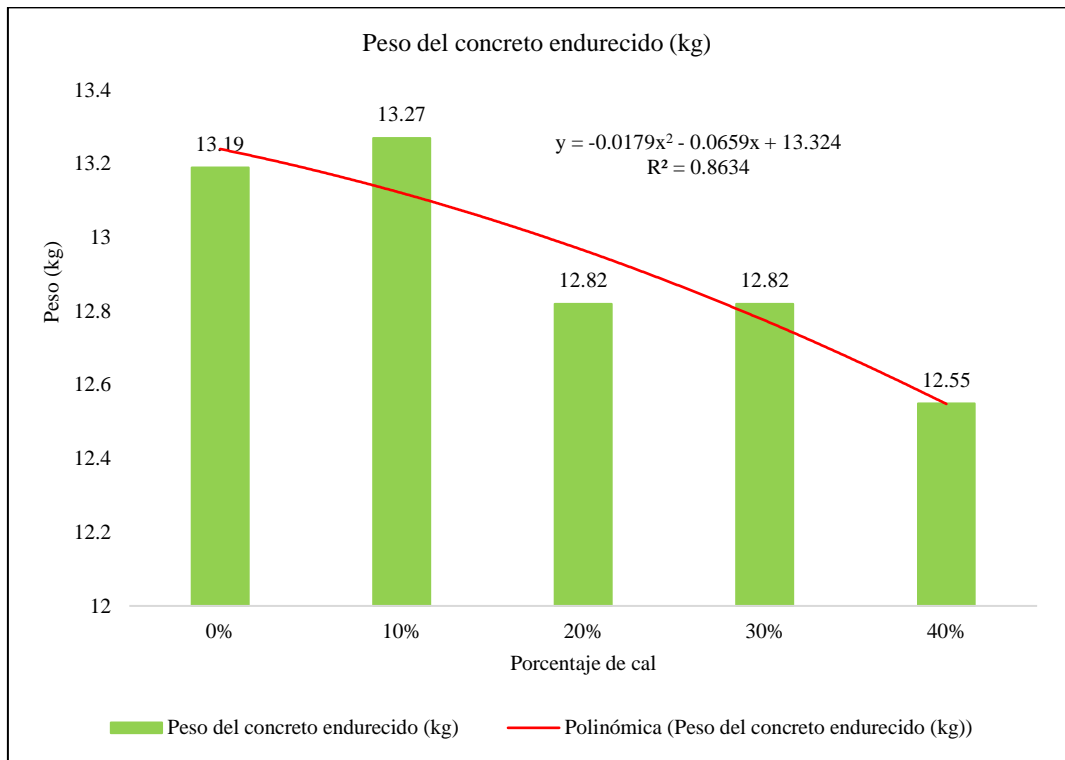
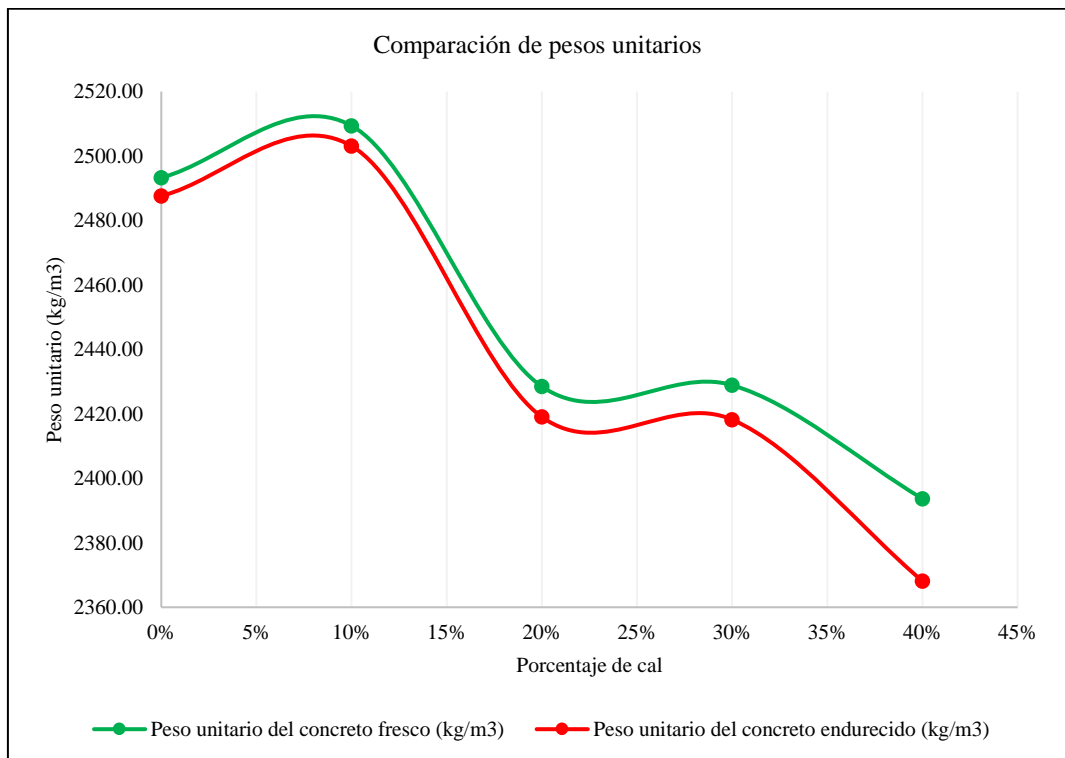


Figura 48

Comparación del Peso Unitario Suelto del Concreto Endurecido con Cal



4.1.4.2. Absorción (Resistencia a la penetración del agua)

El concreto endurecido se usa por su resistencia y durabilidad. Sin embargo, al estar sometido al entorno externo, según Chemrouk (2015) una de sus principales desventajas es su susceptibilidad a la absorción de agua (permeabilidad), lo que puede causar problemas como la corrosión de las armaduras internas y la formación de grietas. En este sentido, se ha investigado el efecto de la cal como remplazo del cemento en el concreto endurecido, sobre su absorción. Los resultados obtenidos muestran que a medida que se incrementa la cal, se produce una reducción significativa en la absorción de agua por parte del concreto. La cal actúa como un aditivo estabilizador; ayuda a reducir la cuantía de agua necesaria para la mezcla de concreto, lo que a su vez disminuye la cantidad de poros en el material final; menos porosidad significa menos espacio para que el agua penetre en el concreto, lo que reduce su absorción (Prošek et al., 2019). La cal también reacciona químicamente con el agua durante el proceso de hidratación; esta reacción forma compuestos de calcio que mejoran la durabilidad del concreto y reducen su permeabilidad (Acharya & Patro, 2015); menos permeabilidad significa que el agua tiene menos posibilidades de filtrarse en el concreto, lo que reduce su absorción. Inicialmente, el concreto presenta una absorción de agua del 11.75%. Sin embargo, al remplazar solo el 10% del cemento por cal, se observa una reducción del 7.68% en la absorción, alcanzando un porcentaje del 10.85%. Este dato es particularmente relevante, ya que demuestra que incluso un pequeño porcentaje de cal puede tener un impacto significativo en la capacidad del concreto para resistir la penetración del agua. Además, a medida que se continúa remplazando el cemento por cal, se observa una reducción aún mayor en la absorción de agua. Cuando se utiliza un 40% de cal, la absorción disminuye hasta

un 8.28%, lo que representa una reducción del 29.55% en comparación con el concreto convencional. Estos resultados demuestran claramente que la cal tiene un efecto positivo en la reducción de la absorción de agua por parte del concreto; esto es beneficioso en regiones o climas lluviosos, donde el concreto está expuesto a una mayor cantidad de humedad.

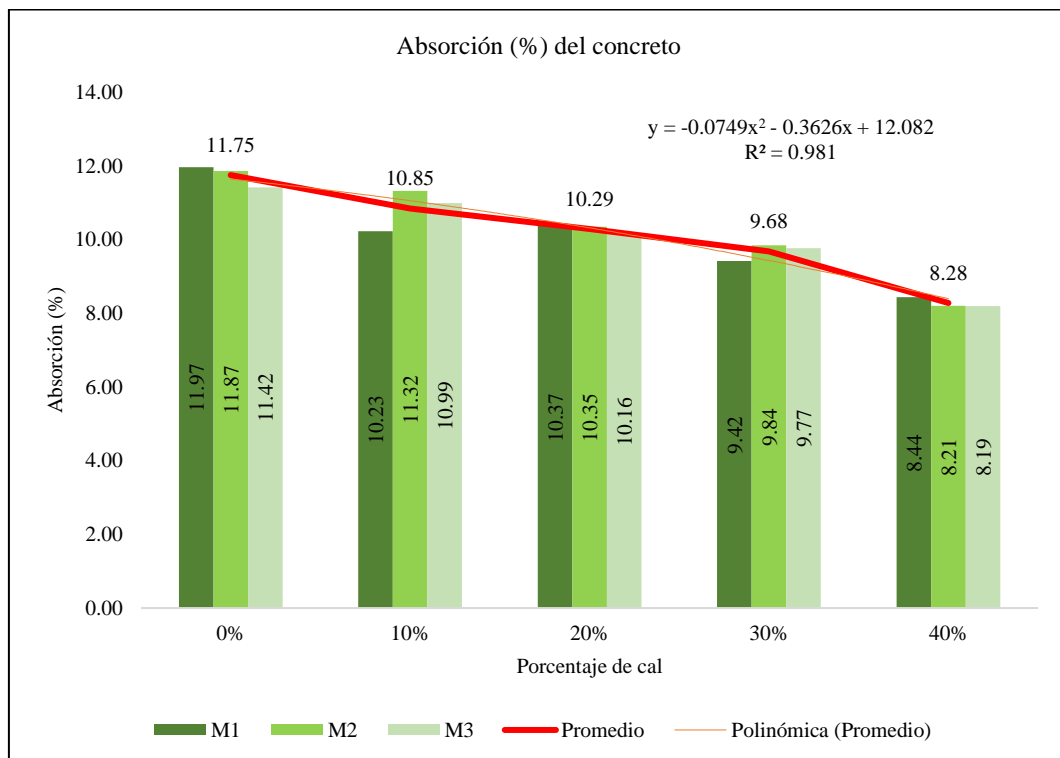
Tabla 27

Porcentaje de Absorción en el Concreto con Cal

Absorción según porcentaje de cal en la mezcla					
Muestras	0%	10%	20%	30%	40%
M1	11.97	10.23	10.37	9.42	8.44
M2	11.87	11.32	10.35	9.84	8.21
M3	11.42	10.99	10.16	9.77	8.19
Promedio	11.75	10.85	10.29	9.68	8.28

Figura 49

Porcentaje de Absorción en el Concreto con Cal



4.1.4.3. Eflorescencia cuando se expone a condiciones de humedad con sales solubles

El estudio realizado muestra que el concreto con cal ostenta una mayor resistencia a la eflorescencia en comparación con el concreto convencional en condiciones de humedad y presencia de sales solubles. Los resultados revelan que, a mayor proporción de cal en la mezcla del concreto, menor es la cantidad de eflorescencia presente en el concreto endurecido. Mientras que el concreto convencional presentaba manchas de eflorescencia en el 23.14% de su superficie, el concreto con un 10% de cal tan solo presentaba un 13.62% de su superficie afectada con un velo grueso, lo cual lo califica como ligeramente eflorescente. Por otro lado, el concreto con un 40% de cal presentaba únicamente un 6.37% de la superficie afectada con un velo fino, clasificándolo como no eflorescente. Estos resultados demuestran la alta capacidad del concreto con cal para resistir entornos con presencia de humedad y sales solubles sin presentar rasgos eflorescentes. Esto lo convierte en un tipo de concreto ideal para aplicaciones en la industria minera, sistemas de drenaje, túneles, entre otros.

La presencia de eflorescencia en el concreto es estéticamente desagradable y además puede ocasionar problemas de durabilidad y resistencia a largo plazo. Por lo tanto, la capacidad del concreto con cal para evitar o reducir la eflorescencia es una ventaja importante, ya que garantiza un mejor aspecto visual y una mayor vida útil del concreto en aplicaciones donde la humedad y la presencia de sales solubles son factores preponderantes. La cal en el concreto actúa como un elemento químico que ayuda a neutralizar y estabilizar las sales solubles presentes en la mezcla. Esta reacción química entre la cal, las sales y el agua evita la migración de las sales hacia la superficie del concreto, evitando así la formación de manchas de eflorescencia.

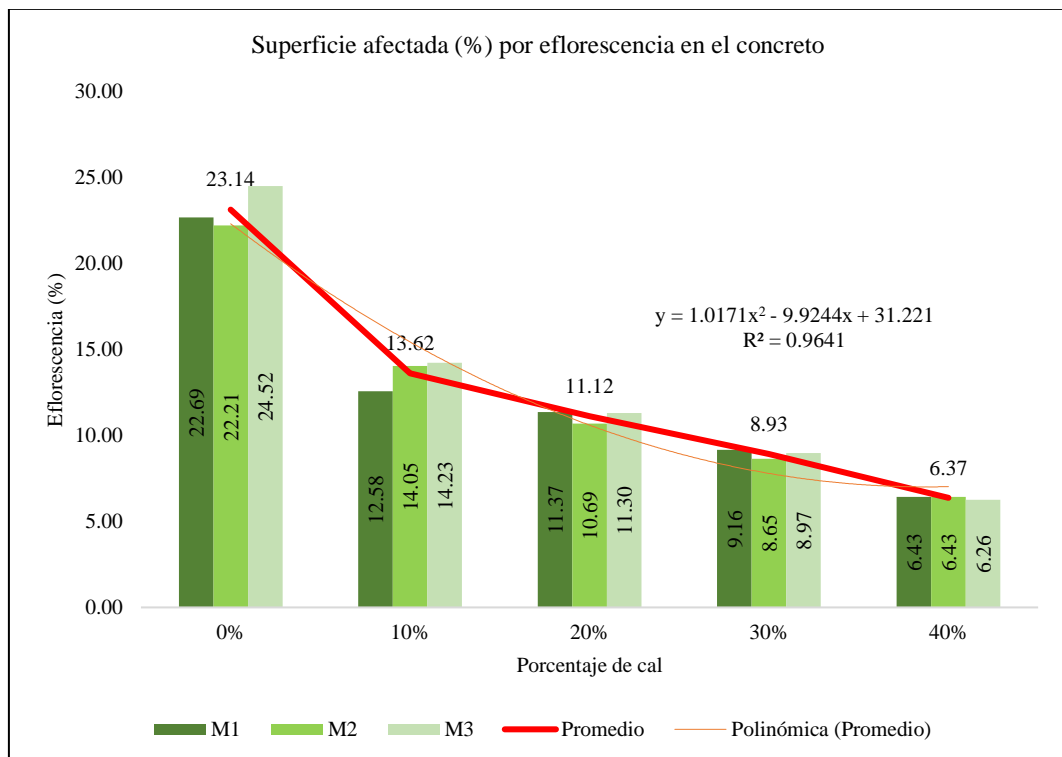
Tabla 28

Porcentaje de Superficie Afectada por Eflorescencia en el Concreto con Cal

Especímenes de concreto	Eflorescencia según porcentaje de cal en la mezcla				
	0%	10%	20%	30%	40%
Base superior	26.00	15.92	13.16	9.55	6.77
1 Superficie lateral	29.33	13.33	11.40	9.35	6.17
Base inferior	12.73	8.49	9.55	8.59	6.37
Base superior	23.77	14.47	11.46	9.17	6.37
2 Superficie lateral	30.40	19.60	12.67	9.35	6.82
Base inferior	12.48	8.06	7.96	7.43	6.11
Base superior	19.74	15.13	13.37	10.19	6.77
3 Superficie lateral	40.00	18.00	14.17	10.20	5.63
Base inferior	13.81	9.55	6.37	6.54	6.37
Superficie afectada en promedio (%)	23.14	13.62	11.12	8.93	6.37
Intensidad	Mancha	Velo grueso	Velo grueso	Velo fino	Velo fino
Tipo de eflorescencia	Eflorecido	Ligeramente eflorecido	Ligeramente eflorecido	No eflorecido	No eflorecido

Figura 50

Porcentaje de Superficie Afectada por Eflorescencia en el Concreto con Cal



4.1.4.4. Resistencia a compresión

Al sustituir parte del cemento por cal en la mezcla de concreto, se ha observado que la resistencia a compresión disminuye significativamente. A medida que aumenta el porcentaje de cal en la mezcla, la resistencia a compresión del concreto se reduce aún más. Por ejemplo, a los 7 días de curado, el concreto convencional alcanza una resistencia a compresión de 291.13 kg/cm², mientras que el concreto con un 40% de cal apenas alcanza 98.77 kg/cm², lo que equivale solo al 33.93% de la resistencia alcanzada por el concreto convencional. Estos resultados indican que la pérdida de resistencia a compresión es considerable cuando se utiliza cal en lugar de cemento en la mezcla de concreto. Es importante tener en cuenta que, a los 7 días, se espera que el concreto alcance al menos el 70% de su resistencia de diseño, que en este caso es de 350 kg/cm². Sin embargo, solo el concreto convencional y el concreto con un 10% de cal superan los 245 kg/cm², que representa el 70% de la resistencia de diseño. Es interesante destacar que el concreto con un 10% de cal a los 7 días alcanza el 88.4% de la resistencia a compresión alcanzada por el concreto convencional. Esto indica que, aunque la adición de cal afecta la resistencia a compresión, la disminución no es tan significativa como en el caso del concreto con mayor porcentaje de cal.

A los 14 días, el concreto incrementa su resistencia con respecto al concreto con 7 días de curado, por tanto, a mayor tiempo de curado mayor resistencia a la compresión. Sin embargo, también se encontró que el concreto con cal presenta una resistencia menor en comparación con el concreto convencional. Esto resulta interesante, ya que anteriormente se había demostrado que la adición de cal podía mejorar las propiedades físicas del concreto, pero no tiene efecto en la mejora de la capacidad mecánica. La resistencia a compresión del concreto con 40% de cal

(124.38 kg/cm²) representa el 37.29% de la resistencia del concreto convencional (333.51 kg/cm²). Esto revela que la adición de cal en grandes cantidades tiene un impacto significativo en la resistencia del concreto, disminuyéndola de manera considerable. Esta pérdida en la resistencia a compresión se debe a que, se está sustituyendo el cemento (aglomerante principal) por cal, que, si bien también es un aglomerante que, coadyuva a la hidratación del concreto, este compuesto según las especificaciones técnicas tiene menor densidad que, el cemento, y por sí sola presenta menor resistencia que el cemento. El cemento actúa como un aglutinante que une las partículas de agregado en el concreto, proporcionando resistencia estructural; y al reemplazar parcialmente el cemento por cal, se altera la coordinación y adherencia entre las partículas del concreto, lo que afecta negativamente su capacidad para resistir cargas de compresión. Así mismo, la cal tiene propiedades diferentes al cemento, tal como menor capacidad resistente que el cemento, por lo que, al sustituir parte del cemento por cal, se reduce la cantidad de material resistente en el concreto, lo que resulta en una disminución de su resistencia a compresión; no obstante, tiene otras características loables que, tienen un efecto positivo en otras propiedades del concreto.

A los 28 días, el concreto a alcanzado su máxima resistencia a compresión. En el caso del concreto convencional sin cal alcanzó una máxima resistencia a compresión de 376.60 kg/cm²; este valor es significativo, ya que demuestra la capacidad del concreto para soportar cargas externas sin sufrir deformaciones. Sin embargo, en el caso del concreto con 40% de cal, los resultados muestran que solo alcanzó una resistencia a compresión de 135.07 kg/cm²; esta cifra representa solo el 35.87% de la resistencia del concreto convencional y el 38.59% de la resistencia de diseño; lo que, indica que la incorporación de una cantidad importante de cal

en la mezcla tiene un impacto negativo en la resistencia a compresión del concreto a los 28 días. Por otra parte, el concreto con 10% de cal logró cumplir con la resistencia esperada a compresión, alcanzando un valor de 374.95 kg/cm². Este resultado representa el 107.1% de la resistencia esperada (f'_c de diseño), lo que indica que el concreto con cal superó las expectativas en términos de fuerza. Además, cabe destacar que esta mezcla alcanzó el 99.60% de la resistencia a compresión del concreto convencional, con una diferencia de tan solo 1.65 kg/cm². Esto demuestra que, a pesar de la ligera disminución de resistencia a compresión causada por el reemplazo del cemento por cal, este tipo de mezcla aún presenta buenas características mecánicas para su uso en estructuras.

Por tanto, tomando en cuenta que el uso de cal en la producción de concreto puede mejorar sus propiedades físicas; por ejemplo, se ha observado que el concreto con cal presenta una mayor trabajabilidad, lo que facilita su mezclado y colocación en las estructuras, esto es especialmente importante en la producción de concreto de alta resistencia, donde es necesario asegurar una distribución adecuada de los materiales y una buena compactación; se ha encontrado que un porcentaje del 10% de cal es adecuado para lograr concreto de alta resistencia con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² (f'_c de diseño). Además, la cal también actúa como un agente estabilizador, esto significa que el concreto con cal es menos propenso a sufrir daños por exposición a condiciones ambientales adversas, como la humedad, los cambios de temperatura y los agentes químicos (sales solubles); esto prolonga la vida útil del concreto, reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento costosos.

En resumen, el uso del 10% de cal en la producción de concreto de alta resistencia con una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² es altamente recomendado debido a los resultados positivos obtenidos.

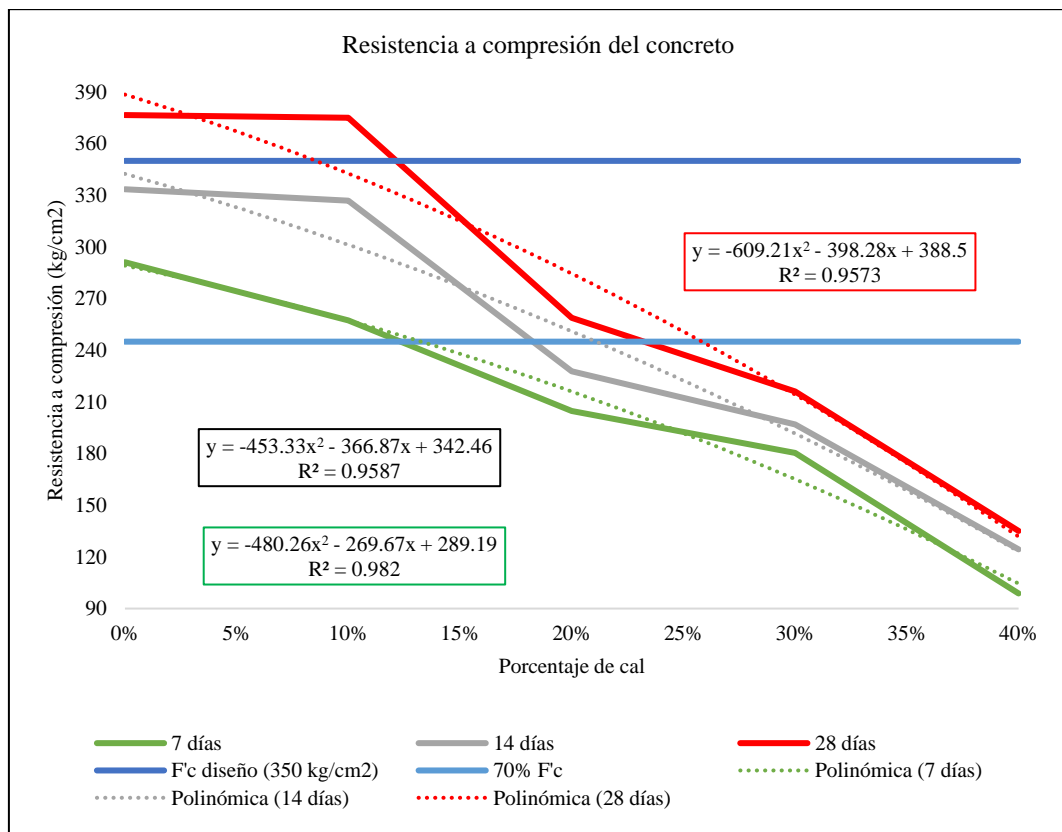
Tabla 29

Resistencia a Compresión del Concreto con Cal

Resistencia a compresión del concreto según porcentaje de cal					
Días	0%	10%	20%	30%	40%
7 días	291.13	257.34	204.70	180.29	98.77
14 días	333.51	326.88	227.71	196.95	124.38
28 días	376.60	374.95	258.82	216.04	135.07

Figura 51

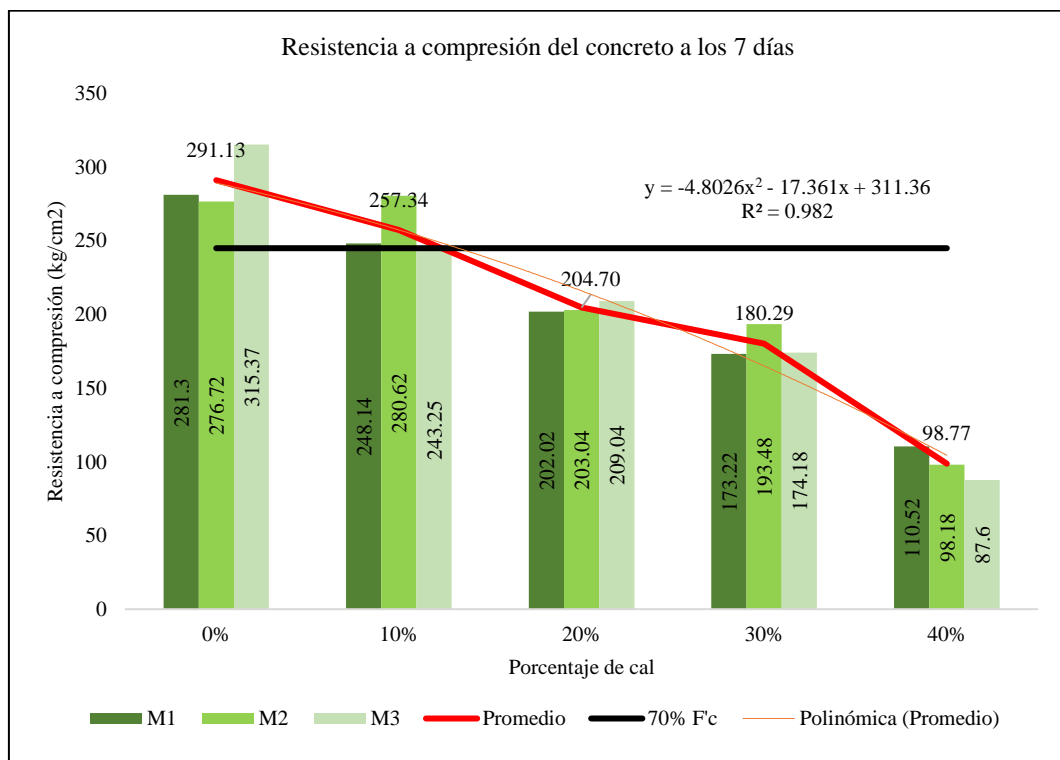
Resistencia a Compresión del Concreto con Cal



Nota: A mayor tiempo de curado, mayor resistencia a la compresión, pero a medida que se incrementa el porcentaje de cal en el concreto se reduce su capacidad mecánica.

Tabla 30*Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 7 Días*

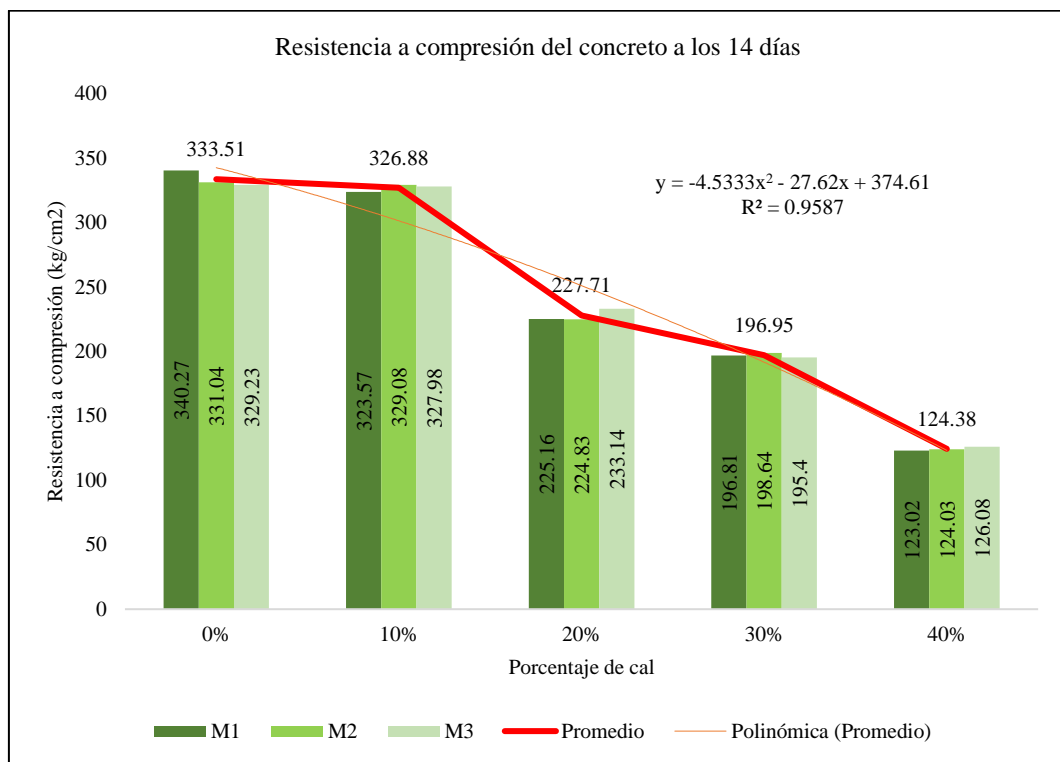
Resistencia a compresión del concreto según porcentaje de cal					
Muestras	0%	10%	20%	30%	40%
M1	281.3	248.14	202.02	173.22	110.52
M2	276.72	280.62	203.04	193.48	98.18
M3	315.37	243.25	209.04	174.18	87.6
Promedio	291.13	257.34	204.70	180.29	98.77

Figura 52*Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 7 Días*

Nota: Solamente el concreto con 0% y 10% de cal alcanzan el 70% de la resistencia a compresión de diseño $f'c$ 350 kg/cm² equivalente a 245 kg/cm². Así mismo, la correlación entre el porcentaje de adición de cal y la resistencia a compresión del concreto es alta, siendo el coeficiente R^2 igual a 0.982, por tanto, se puede utilizar la ecuación de regresión para proyectar la resistencia a compresión del concreto a los 7 días para otros porcentajes de adición de cal.

Tabla 31*Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 14 Días*

Resistencia a compresión del concreto según porcentaje de cal					
Muestras	0%	10%	20%	30%	40%
M1	340.27	323.57	225.16	196.81	123.02
M2	331.04	329.08	224.83	198.64	124.03
M3	329.23	327.98	233.14	195.4	126.08
Promedio	333.51	326.88	227.71	196.95	124.38

Figura 53*Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 14 Días*

Nota: Solamente el concreto con 0% y 10% de cal presentan resistencia a compresión cercanas, mientras que las otras muestras han disminuido su resistencia notablemente. Así mismo, la correlación entre el porcentaje de adición de cal y la resistencia a compresión del concreto es alta, siendo el coeficiente R^2 igual a 0.959, por tanto, se puede utilizar la ecuación de regresión para proyectar la resistencia a compresión del concreto a los 14 días para otros porcentajes de adición de cal.

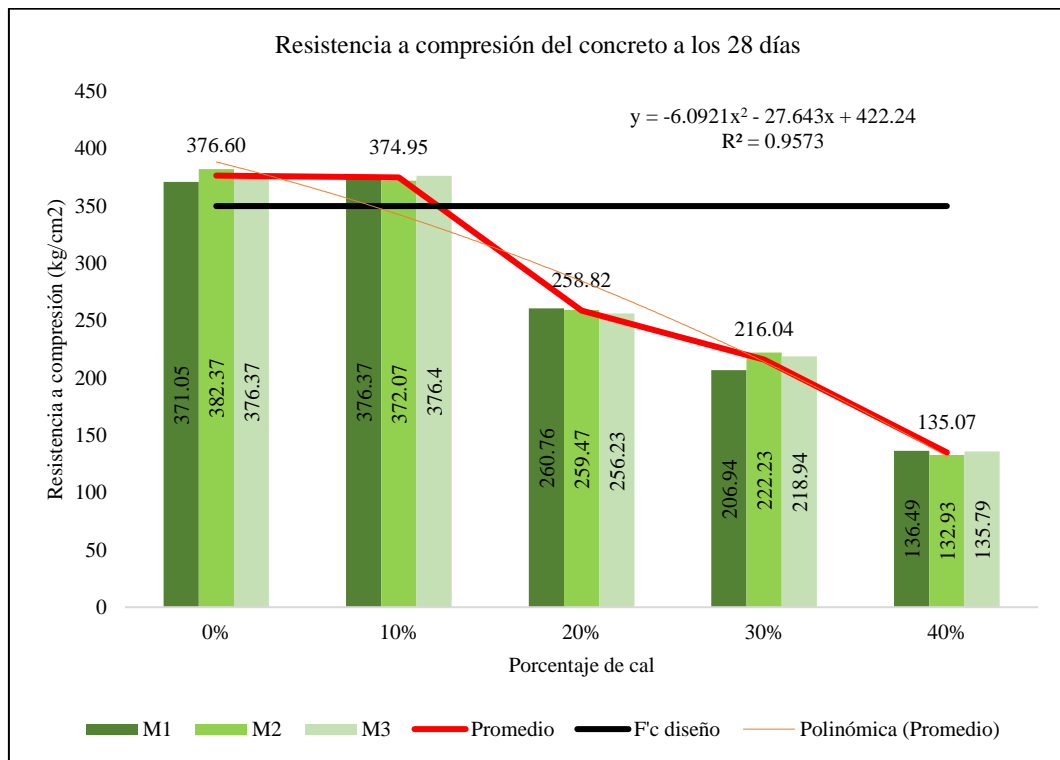
Tabla 32

Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 28 Días

Resistencia a compresión del concreto según porcentaje de cal					
Muestras	0%	10%	20%	30%	40%
M1	371.05	376.37	260.76	206.94	136.49
M2	382.37	372.07	259.47	222.23	132.93
M3	376.37	376.4	256.23	218.94	135.79
Promedio	376.60	374.95	258.82	216.04	135.07

Figura 54

Resistencia a Compresión del Concreto con Cal a los 28 Días



Nota: Solamente el concreto con 0% y 10% de cal alcanzan la resistencia a compresión de diseño $f'c$ 350 kg/cm². Así mismo, la correlación entre el porcentaje de adición de cal y la resistencia a compresión del concreto es alta, siendo el coeficiente R^2 igual a 0.957, por tanto, se puede utilizar la ecuación de regresión para proyectar la resistencia a compresión del concreto a los 28 días para otros porcentajes de adición de cal.

4.2. Discusión de resultados

Químicamente la cal supera el contenido mínimo de cal activa (Ca(OH)_2) con Óxido de calcio (CaO) requerido por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) de 90%, así mismo, también supera el contenido disponible de CaO de 60%, lo que significa que tiene la composición química adecuada para su uso en la industria de la construcción, tal como, la cal analizada por Velásquez (2020) y Pajuelo (2019). Concordando en que, estos componentes poseen propiedades cementantes debido a que, su producción se realiza a partir de piedra caliza. Pero difiere con el análisis de Malca (2018) quien encontró impurezas en la cal viva del distrito de Bambamarca, sin embargo, en el estudio se ha utilizado cal hidratada, que viene a ser el procesado de la cal viva, lo que, explica que, alcance una mayor calidad química. Además, el tiempo de fraguado de la cal inicial es de 60 minutos, mientras que el tiempo final es de 15 horas, lo que, significa que, la cal ocupa el tiempo necesario para endurecer y adquirir las propiedades mecánicas que exige la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016). Sin embargo, la cal supera el límite máximo de agua libre que puede contener la mezcla de 2.5%, alcanzando hasta 3.7% de agua libre, esto significa que, la cal tiene en su matriz mayor contenido de agua, a pesar de que, según el contenido de humedad este es de tan solo 0.5%, estando en el rango de 0.1% a 1% dado por la normatividad.

La cal es de color blanco humo a grisáceo, su humedad es de 0.5%, por lo que, se encuentra dentro del rango usual establecido como requisito por la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) de 0.1% a 1%. En cuanto a la granulometría, el porcentaje retenido en la malla 30 y en la malla 200 es menor al sugerido en la normatividad, por tanto, el material es lo suficientemente fino, además de que, no presenta grumos o fracciones gruesas. La densidad específica, absorción y peso

unitario no son características normada en la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016), pero su conocimiento permite estimar la cuantía de material que ingresará en la mezcla, por ello la norma ASTM C110 (2020) si establece el proceso para determinar estos parámetros físicos. La densidad saturada superficialmente seca (SSS) de la cal es de 1.88 g/cm³, lo que significa que es un material ligero, en contraste con otros aglomerantes, como el cemento cuy densidad específica es de 3.08 g/cm³. La capacidad de absorción de la cal es de 8.23%, por tanto, en la mezcla de concreto es capaz de absorber 8.23 lts de agua de 0.1 m³ de agua colocada en la mezcla; según Billong et al. (2020) la cal hidratada, tiene una mayor capacidad de absorción de agua en comparación con la cal viva; a pesar de ello, la cal puede ser utilizada en la industria de la construcción, pero con una adecuada proporción de mezcla, ya que, según indica Alavez-Ramírez et al. (2012) cal con mayor contenido de agua libre puede tender a reducir la capacidad mecánica del concreto. Finalmente, el peso unitario suelto y compactado de la cal es respectivamente 529.38 kg/cm³ y 629.52 kg/cm³, siendo este el peso que ocupan por unidad de volumen cuando se colocan de forma suelta y cuando se decide que pase por apisonado, correspondientemente.

La arena de Conchán cumple parcialmente con el huso granulométrico para agregado fino, el porcentaje de arena que pasa en el tamiz N° 30 supera el rango máximo, sugerido por la NTP 400.037 (INACAL, 2021); en cambio, la grava de Chuyabamba cumple con el huso granulométrico para agregado grueso especificado en la NTP 400.037 (INACAL, 2021) concordando con los hallazgos de Benavidez & Benavidez (2021) también para el agregado fino de Conchán. La cantidad de material que pasa el tamiz N° 200 para la grava es menor a 1%, por tanto, cumple con los lineamientos normados, en cambio, la arena presenta 5.64%

de material que pasa el tamiz N° 200, por tanto, supera crecientemente el límite de 5% dado por la normatividad. Así mismo, el módulo de finura de la arena está fuera del rango normado, lo que, significa que, la arena es mucho más fina que lo especificado en la NTP 400.037 (INACAL, 2021), no obstante, la misma norma, especifica que, aun cuando los agregados no cumplan los husos granulométricos pueden ser utilizados en la producción de concreto, siempre y cuando el concreto cumpla con las características mecánicas. La arena es más húmeda que la grava con porcentajes de 4.48% y 1.96%, respectivamente. En cuanto, al peso específico de masa la arena presenta un valor ligeramente superior al de la grava, siendo respectivamente 2576 kg/m³ y 2533 kg/m³, así mismo, la arena también presenta mayor absorción que, la grava siendo un material más húmedo y capaz de colectar en su matriz mayor cantidad de agua. El peso unitario suelto y compactado de la arena es superior al de la grava, pero en ambos casos el peso unitario compactado es mayor al peso unitario suelto, con valores de 1463.06 y 1384.33 kg/m³ de peso unitario suelto para la arena y grava, y 1608.16 kg/m³ y 1543.83 kg/m³ de peso unitario compactado para la arena y grava, correspondientemente. Finalmente, la grava es resistente a abrasión debido a que no supera el límite de 50% dado en la NTP 400.037 (INACAL, 2021), siendo así, el agregado grueso concuerda con las propiedades físico mecánicas determinadas por Medina (2022) quienes también analizaron la piedra triturada de la cantera Chuyabamba.

La proporción de mezcla de concreto base $f'c$ 350 kg/cm² para 1 m³ diseñado con el método ACI 211.1 (2022) para una relación A/C de 0.48, con un contenido de aire de 1.5%, está integrada por 9.46 bolsas de cemento, 0.452 m³ de piedra chancada de 1" de la cantera Chuyabamba, 0.228 m³ de arena fina de la cantera Conchán y 161.77 litros de agua potable. Siendo así, la proporción de

cemento: grava: arena es 1: 2.85: 1.46 con 17.10 lts de agua, siendo inferior a la dosificación base propuesta por Adesina & Olutoge (2019) quienes determinaron como dosificación base a 1:4:2, por tanto, si bien la cantidad de arena es similar, el volumen de grava en la mezcla de los autores es mucho mayor, a la propuesta dada en el presente estudio, dicha diferencia se da debido a que, en ambos casos, se han utilizado agregados y compuestos de diferentes países, lo que, explica la distinción, pero en ambos casos concuerdan que, la mezcla es sustentable al utilizar cal como modificador de la misma. Pero la mezcla base, es notablemente similar con la propuesta de Felipe (2019) y Resende (2019) cuyo concreto producido con agregados de Brasil fue elaborada con 1:2:2:0.58 (cemento, arena media, grava, agua/cemento), siendo así la única diferencia significativa entre ambas mezclas fue la relación agua/cemento, la cual es menor en la localidad de Chota, debido a que, se ha producido concreto de alta resistencia, en cambio, los autores antes mencionados plantearon un diseño para concreto convencional.

La proporción base se ha modificado sustituyendo el cemento por cal en porcentajes de 10%, 20%, 30% y 40%, siendo la cantidad de cal de la mezcla 40.21 kg, 80.42 kg, 120.63 kg y 160.83 kg, respectivamente, por tanto, considerando que, las bolsas de cemento se componen por 42.5 kg, mientras que, las bolsas de cal tan solo se componen por 30 kg de material, por tanto, para una dosificación con 10% de cal se utilizan 8.51 bolsas de cemento y 1.34 bolsas de cal, para una dosificación con 20% de cal se utilizan 7.57 bolsas de cemento y 2.68 bolsas de cal, para una dosificación con 30% de cal se utilizan 6.62 bolsas de cemento y 4.02 bolsas de cal, mientras que, para una dosificación con 40% de cal se utilizan 5.68 bolsas de cemento y 5.36 bolsas de cal; así mismo en todas las dosificaciones se ha utilizado igual cantidad de grava y arena con proporciones de

0.452 m³ de piedra chancada de 1” de la cantera Chuyabamba, 0.228 m³ de arena fina de la cantera Conchán y 161.77 litros de agua potable para la producción de la mezcla de concreto f'c 350 kg/cm².

Respecto a las propiedades en estado fresco del concreto f'c 350 kg/cm² sustituyendo 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% del peso del cemento por cal, se han analizado las propiedades físicas: segregación, asentamiento, peso unitario, temperatura y contenido de aire. La segregación en el concreto no debe ser superior al 5% de acuerdo a la NTP 339.218 (INACAL, 2019), por tanto, se ha verificado que, efectivamente en todos los casos la mezcla de concreto no supera la segregación, pero a mayor contenido de cal en la mezcla menor grado de segregación, siendo favorable para garantizar una mezcla homogénea, lo cual es corroborado por Anjos et al. (2020) quien argumenta que, la cal en la mezcla reduce la segregación del concreto.

El asentamiento de la mezcla de concreto en todos los casos se encuentra en el rango plástico (3-4”), pero a medida que, se incrementa la dosificación de cal en la mezcla también se acrecienta el slump, por tanto, la mezcla tiene mayor grado de trabajabilidad, tal como, argumentan Das et al. (2020) quienes mencionan que al aumentar el porcentaje de cal en la mezcla de concreto el asentamiento aumenta progresivamente, siendo la dosificación óptima 10% de cal, debido a que, si bien con mayores porcentajes se logra obtener mezclas más fluidas, con este porcentaje se alcanza la consistencia plástica que, se deseaba lograr del concreto; así lo confirman Beires et al. (2019) cuyo asentamiento del concreto , 5, 10 y 20% de cal hidratada alcanzó un slump de 55, 100, 150 y 130 mm, pero en todos los casos a pesar de este incremento son menores al asentamiento encontrado en el concreto producido con agregados locales en Chota

que, alcanza 787 mm de slump, debido a que, se trabajó para un rango plástico de 3” a 4”. El contenido de aire por el contrario a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la mezcla, se reduce, siendo en todos los casos menor al 1.5% dado en el diseño de mezclas. La temperatura del concreto se acrecienta conforme se aumenta la cantidad de cal en la mezcla, debido al proceso de hidratación del mismo, no obstante, en todos los casos se encuentra en el rango usual de temperatura de una mezcla de concreto; según Sharifi et al. (2015), el rango de temperatura típico de una mezcla de concreto varía entre 10°C y 35°C.

En cuanto al peso unitario del concreto de alta resistencia este inicialmente se encuentra en el rango usual de una mezcla de concreto, siendo 2493.24 kg/m³, pero al colocar 10% de cal en remplazo del peso del cemento, la densidad se acrecienta hasta 2509.38 kg/m³, pero al ir incrementando el porcentaje de cal en la mezcla, el peso unitario disminuye, la disminución del peso es favorable cuando se desean mezclas más ligeras pero puede tener implicancias en la resistencia a compresión del concreto, tal como argumenta Felipe (2019), por ello, se debe determinar la proporción adecuada de cal en la mezcla de concreto f^c 350 kg/cm², en base a las propiedades en estado no endurecido y endurecido en conjunto.

El concreto producido con cal en remplazo del cemento presenta diferentes características en relación al concreto convencional, principalmente debido a la menor densidad de la cal en comparación con el cemento. Como resultado, a medida que se aumenta el porcentaje de cal en la mezcla, el concreto producido presenta un menor peso, pero se encuentra dentro del rango usual para un concreto convencional, que según Singh & Kumar (2020) es 2240 a 2400 kg/m³; en cambio, el concreto lino-cal producido por Garikapati & Sadeghian (2020) alcanzaba una densidad media de 559 kg/m³, por lo que, podría calificarse como

concreto ligero, pero coinciden en que ambos concuerdan en que, la cal en la mezcla reduce el peso unitario del concreto; pero concuerda con el peso unitario estimado por Resende (2019) para su concreto en estado fresco 2300 kg/m³. Además, el peso unitario en estado fresco es mayor al peso unitario endurecido, tal como, lo afirma y verifica Resende (2019), sin embargo, diversos estudios (Kovler & Roussel, 2011) han demostrado que esta diferencia en el peso unitario se debe principalmente al contenido de agua presente en el concreto fresco; es decir, aunque el concreto endurecido pueda tener un peso unitario inferior al concreto fresco, su resistencia y capacidad de soporte siguen siendo óptimas para cumplir con los requerimientos de una estructura según Felekoğlu et al. (2007).

La cal también reacciona químicamente con el agua durante el proceso de hidratación; esta reacción forma compuestos de calcio que mejoran la durabilidad del concreto y reducen su permeabilidad (Acharya & Patro, 2015); menos permeabilidad significa que el agua tiene menos posibilidades de filtrarse en el concreto. Por tanto, el uso de cal en la mezcla de concreto también tiene un impacto en la absorción de agua por parte del material; en el concreto endurecido, se ha observado que el porcentaje de absorción disminuye cuando se utilizan dosificaciones de cal, lo que difiere con el estudio de Resende (2019) cuyo concreto veía acrecentada su absorción a medida que, se aumentaba el porcentaje de cal en la mezcla, esta diferencia se debe básicamente en la diferencia en la relación a/c utilizada para la producción del concreto, siendo mayor para Resende, pero también se debe a la variabilidad en el porcentaje de adición de cal, ya que, el autor solamente adicionó de 0 a 3% de cal, en cambio, en el estudio se han utilizado porcentajes de adición de cal mayores, y también se utilizó la cal como medio de sustitución del cemento, mientras que, Resende lo utilizó como aditivo

en la mezcla, además de que, finalmente concluyó que sus resultados no eran determinantes debido a la falta de sensores en sus equipos de análisis. Esto implica que el concreto se vuelve más impermeable, lo cual es beneficioso en climas con bajas temperaturas donde la presencia de agua puede dañar la estructura del concreto. Siendo favorable, según Chemrouk (2015) una de sus principales desventajas del concreto es su susceptibilidad a la absorción de agua (permeabilidad), lo que puede causar problemas como la corrosión de las armaduras internas y la formación de grietas. Así mismo; menos porosidad significa menos espacio para que el agua penetre en el concreto, lo que reduce su absorción (Prošek et al., 2019).

Otro aspecto relevante a mencionar es que, en comparación con el concreto sin cal, el concreto con dosificaciones de cal presenta un menor grado de eflorescencia cuando se expone a condiciones de humedad con sales solubles. La eflorescencia según Vilela (2022) se califica en base a la intensidad de la capa blanca que puede ser velo fino, velo grueso o mancha, lo que, calificará si se encuentra no eflorecido, ligeramente eflorecido o eflorecido, siendo así, Guevara-Fustamante & Silva-Tarrillo (2023) proponen un proceso acelerado para determinar la eflorescencia en estructuras que, tienen constante contacto con el agua, sirviendo para climas lluviosos, como el de la ciudad de Chota, siendo así, tal como, determinaron Guevara-Fustamante & Silva-Tarrillo (2023) se ha verificado unidades eflorescentes y ligeramente eflorescentes, pero el aporte de este estudio es que, también se ha verificado como la eflorescencia disminuye conforme los especímenes tienen mayor porcentaje de cal.

Sin embargo, a medida que se incrementa el porcentaje de cal en la mezcla, se ha observado una disminución en la resistencia a compresión del concreto

endurecido, esto difiere con Ghareeb et al. (2022) cuyo concreto con adición de cal tiende a acrecentar su capacidad mecánica al utilizar 20% de cal, pero al adicionar porcentajes mayores la resistencia comienza a disminuir, tal como, en el presente estudio; sin embargo, como se ha mencionado con porcentajes bajos de cal la capacidad mecánica aumenta difiriendo con el presente estudio, esta diferencia se debe a que, utilizaron otro aditivo más en combinación con la cal, siendo el polvo de vidrio, también trabajo con curado en caliente, y el $f'c$ de diseño fue mayor ya que, Ghareeb et al. (2022) plantearon concreto de ultra desempeño; Silva et al. (2019) quienes lograron optimizar la resistencia a compresión combinando la cal hidratada con residuos de mampostería, acrecentaron la capacidad mecánica en 25.1% a los 28 días; también Mauricio & Farfán (2021) lograron incrementar la resistencia a compresión al utilizar cal en la mezcla del concreto no obstante estos utilizaron cal de vieira y no cal hidratada además de que, los porcentajes fueron adicionados y no en remplazo del cemento como en el presente estudio; lo mismo sucedió con Aguilar & Díaz (2021) quienes obtuvieron mayores resistencias a compresión en el concreto pero adicionando cal, mientras que, en la investigación se ha remplazado, pero también confirmaron que, si el porcentaje de cal supera el 4%, la capacidad mecánica se reduce siendo así, se deben analizar porcentajes menores de aditamento de cal.

No obstante, la reducción en la capacidad mecánica del concreto al sustituir el cemento por cal, concuerda con Malca (2018) quien refiere que la cal tiene un efecto negativo en las propiedades mecánicas del concreto, Benavidez & Benavidez (2021) quienes argumentaron que el aditamento de cal en la mezcla de concreto reduce su resistencia a compresión respecto al diseño inicial pero continua cumpliendo el $f'c$ esperado; Pacco (2016) quien argumenta que, a mayor

porcentaje de cal menor capacidad mecánica; Gunasekara et al. (2020) quienes afirman que, si bien la adición de cal en la mezcla mejora sustancialmente algunas características físicas del concreto, reduce su capacidad mecánica, aunque afirmaron que, esto puede ser fácilmente contrastado con la adición de otros componentes llegando a acrecentar progresivamente la resistencia del concreto y superando los 40 MPa a los 28 días de curado; esta afirmación es validada por Sokolovicz (2020) quien produjo concreto de ultra altas prestaciones, pero no solamente utilizando cal, sino combinándola con otras adiciones puzolánicas y minerales inertes. También, Adesina & Olutoge (2019) concordaron en que la cal hidrata reduce la resistencia a compresión del concreto, pero que, esta mezcla era sustentable para la construcción.

A los 7 días, el concreto convencional alcanza 291.13 kg/cm², mientras que, el concreto con 40% de cal, tan solo alcanza 98.77 kg/cm², lo que representa apenas el 33.93% de la resistencia alcanzada por el concreto convencional; por tanto, la pérdida en la resistencia a compresión es considerable; pero además, a los 7 días se espera que, el concreto alcance el 70% de la resistencia de diseño (F'c 350 kg/cm²), pero solamente el concreto convencional y el concreto con 10% de cal superan los 245 kg/cm², así mismo, el concreto con 10% de cal a los 7 días representa el 88.4% de la resistencia a compresión alcanzada por el concreto convencional, resultados semejantes a Adesina & Olutoge (2019) quienes verificaron en contraste con el estudio que, el concreto con cal a los 7 días de curado alcanzaba mayor resistencia a compresión que el concreto convencional, pero para otros tiempo de curado continuaba siendo menor, por lo que afirmaron que, el concreto con cal alcanza en menor tiempo su máxima capacidad mecánica, pero esto difiere con el estudio y con otras investigaciones internacionales (Rolim,

2020) que, argumentan que el concreto adquiere mayor durabilidad con el paso del tiempo (91 días), siendo así, esta diferencia se debe al uso de la ceniza de cáscara de arroz, ya que, en el estudio se ha utilizado solamente cal, mientras que, Adesina & Olutoge (2019) combinaron la cal con la ceniza de cáscara de arroz, siendo así, este compuesto podría generar una diferencia entre la forma en que, alcanzan su capacidad mecánica en relación con el paso del tiempo.

A los 14 días, el concreto incrementa su resistencia con respecto al concreto con 7 días de curado, por tanto, a mayor tiempo de curado mayor resistencia a la compresión, esta afirmación concuerda con las investigaciones presentadas como antecedentes y con las normas técnicas peruanas e internacionales; pero el concreto con cal presenta menor resistencia que el concreto convencional (Pacco, 2016). La resistencia a compresión del concreto disminuye crecientemente conforme se incrementa el porcentaje de cal en la muestra. La resistencia a compresión del concreto con 40% de cal (124.38 kg/cm²) representa el 37.29% de la resistencia del concreto convencional (333.51 kg/cm²), siendo así, esta reducción es notablemente significativa, pero se debe a que, se está sustituyendo el cemento (principal aglomerante) en la mezcla por cal (aglomerante secundario), mientras que, para porcentajes menores de sustitución como 10% de cal en remplazo del cemento, la capacidad mecánica del concreto a los 14 días es similar, 333.51 kg/cm² para el concreto convencional y 326.88 kg/cm² para el concreto con 10% de cal como sustituto del cemento.

A los 28 días, el concreto a alcanzado su máxima resistencia a compresión, siendo 376.60 kg/cm² para el concreto convencional sin cal, pero tan solo 135.07 kg/cm² para el concreto con 40% de cal, lo que, representa el 35.87% de la resistencia del concreto convencional y el 38.59% de la resistencia de diseño ($f'c$

350 kg/cm²). No obstante, el concreto con 10% de cal cumple con la resistencia esperada a compresión, alcanzando 374.95 kg/cm², lo que, representa el 107.1% de la resistencia esperada (f'_c de diseño), y el 99.60% de la resistencia a compresión que, alcanza el concreto convencional siendo la diferencia de tan solo 1.65 kg/cm²; por tanto, esta mezcla presenta buenas características mecánicas para su uso estructural, a pesar de la ligera disminución de la resistencia a compresión a causa del remplazo del cemento por cal. La resistencia alcanzada es equivalente con la capacidad mecánica alcanzada por el concreto SCC-LC producido por Anjos et al. (2020) cuya resistencia a compresión a los 28 días oscilaba entre 25 a 40 MPa, siendo un concreto de alta resistencia. Pero, mayor a la resistencia máxima (29.4 MPa) alcanzada por el concreto producido por Beires et al. (2019) con 20% de cal, no obstante, en ambos casos se verifica la reducción del concreto con cal respecto al concreto convencional, aunque mientras que para Beires et al. (2019) esta diferencia es notable debido a que su concreto base tenía 40 MPa, en el caso del estudio la diferencia, como ya se ha mencionado es de apenas 1.65 kg/cm.

Siendo así, y considerando que, la cal brinda mejores propiedades físicas al concreto, se ha considerado al 10% de cal como el porcentaje adecuado para su uso y aplicación en la producción de concreto de alta resistencia con (f'_c 350 kg/cm²), mientras que, para Ghareeb et al. (2022) la dosificación adecuada de cal era 20%, pero esta era combinada con polvo de vidrio para mejorar su capacidad mecánica; así mismo, Pedroso (2020) consideró como dosificación óptima de cal a 25%, no obstante, también mezcló este compuesto con residuos de mineral de hierro y de producción de celulosa para lograr una mayor resistencia; también Beires et al. (2019) recomendaron como dosificación adecuada a 20% de cal, no

obstante, estos adicionaron la cal en la mezcla, mientras que, en el estudio se ha colocado como sustituto. En cambio, Das et al. (2020) encontraron como dosificación adecuada para tener un equilibrio entre capacidad mecánica y trabajabilidad de la mezcla a 7.5% de cal y 2.5% de humo de sílice, siendo en conjunto el mismo porcentaje de dosificación planteado en el presente estudio, pero utilizando solamente cal (10%), así mismo, Pacco (2016) determinó que, es aceptable 5% de cal en la mezcla para mantener los límites aceptables de la capacidad mecánica; Benavidez & Benavidez (2021) quienes recomendaron una dosificación de 9% de cal en la mezcla de concreto; tal como, Velasquez (2020) quien determinó que el porcentaje adecuado de sustitución del cemento era 8% (6% de cal y 2% de ceniza de planta de maíz) debido a que, con esta dosificación la resistencia a compresión se incrementaba notablemente; y Pajuelo (2019) quien sugirió el uso de 10% de cal y 7% de arcilla como sustituto del cemento en la producción de concreto que cumpla con el f^c esperado. Así mismo, Adesina & Olutoge (2019) concordaron con el presente estudio en que, la dosificación óptima para la producción de concreto con cal era solamente de 10% de este compuesto.

Si bien las investigaciones difieren en el porcentaje adecuado de cal en la mezcla según sus propias características del diseño de mezclas en todos los casos concuerdan en la viabilidad de utilizar cal para mejorar las propiedades físicas del concreto y mantener sus propiedades mecánicas e incluso algunos autores (Ghareeb et al., 2022) han determinado mayor resistencia de la mezcla con cal en lapsos prolongados, es decir adquiere mayor durabilidad en el tiempo. Por tanto, se concluye que se puede producir concreto con 10% de cal.

4.3. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se ha utilizado el programa Minitab 22, donde se verificó la normalidad de los datos, luego para comprobar la hipótesis general de estudio, H_0 : El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaborar concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota es 10% y H_1 : El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaborar concreto $f'c$ 350 kg/cm² en Chota es mayor a 10%; se plantearon inicialmente hipótesis específicas para corroborar la diferencia en las propiedades físico mecánicas del concreto al utilizar cal como sustituto del cemento, las cuales fueron analizadas mediante la prueba ANOVA. Cuando el valor p de probabilidad es menor a 0.05 (nivel de significancia) para un nivel de confianza del 95% se acepta la hipótesis alternativa (H_1) y cuando el valor p es superior se acepta la hipótesis nula (H_0).

a) Diferencia de medias (ANOVA)

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) se realizó en el programa Minitab 22 para aceptar o rechazar la hipótesis H_1 o H_0 . El modelo se ajusta al modelo lineal general, y las hipótesis que, se analizaron fueron:

H_0 : No hay diferencia significativa en las mediciones de las propiedades físico mecánicas del concreto respecto al porcentaje de sustitución de cemento por cal.

H_1 : Si hay diferencia significativa en las mediciones de las propiedades físico mecánicas del concreto respecto al porcentaje de sustitución de cemento por cal.

Se determinó que, el porcentaje de cal en la mezcla afecta sustancialmente todas sus propiedades: peso unitario, asentamiento, segregación, absorción, porcentaje de eflorescencia y resistencia a la compresión, debido a que, en todos los casos el valor p es 0.00, siendo menor al valor de significancia 0.05, por lo que, se acepta H_1 , y se rechaza H_0 . Así mismo, debido a la relación entre los

factores se ha planteado gráficos de regresión que relacionan el porcentaje de cal en la mezcla con las propiedades físico mecánicas del concreto.

Tabla 33 *Análisis de Varianza del Efecto del Porcentaje de Cal en las Propiedades Físicas y Mecánicas del Concreto*

Propiedad	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
Segregación	4	22.8651	5.71628	454.59	0.000
Peso unitario del concreto fresco	4	85253	21313.2	126.92	0.000
Peso unitario del concreto endurecido	4	3.1169	0.779230	159.51	0.000
Peso del concreto	4	110902	27725.4	159.51	0.000
Slump	4	4.52836	1.13209	1350943.32	0.000
Eflorescencia	4	499.596	124.899	248.47	0.000
Absorción	4	20.3877	5.09692	53.16	0.000
Resistencia a compresión					
Tiempo de curado	2	32584	16291.8	59.40	0.000
Porcentaje de cal	4	284067	71016.7	258.94	0.000

Figura 55 *Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Segregación del Concreto*

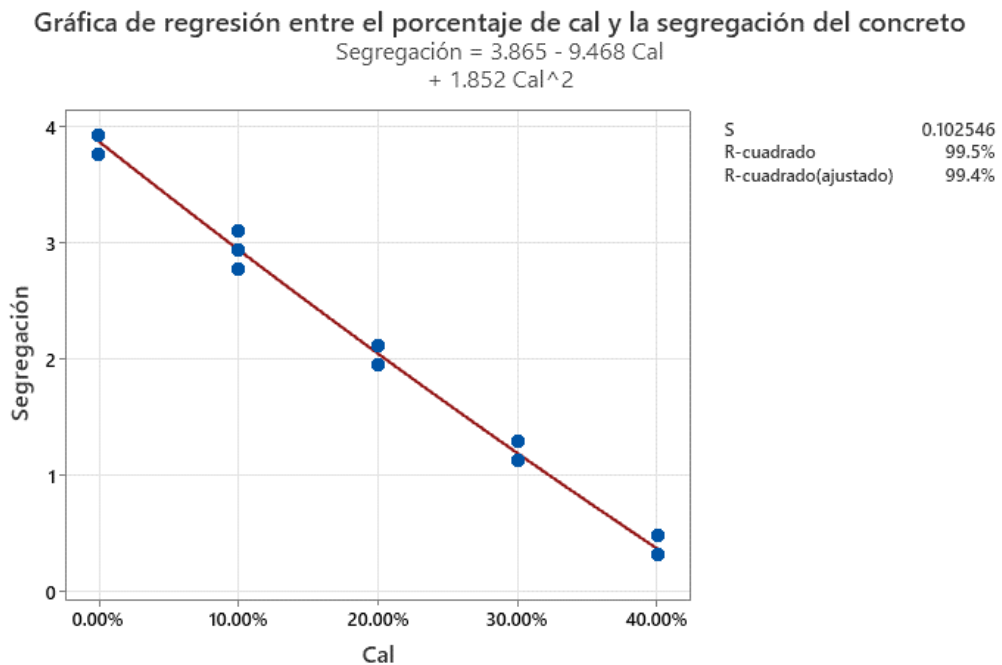


Figura 56

Regresión entre el Porcentaje de Cal y el peso del Concreto

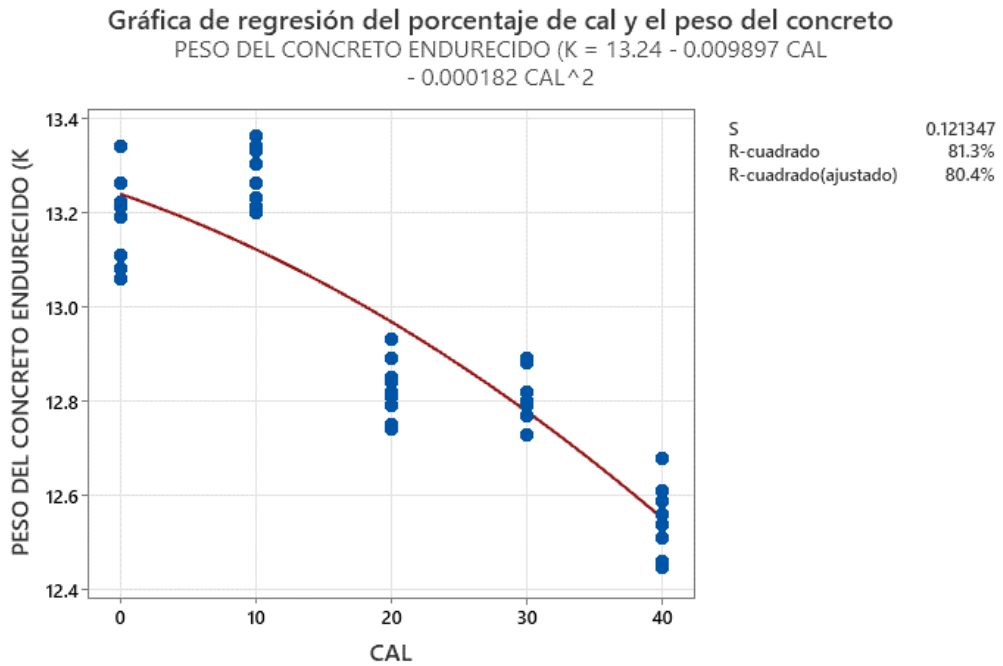


Figura 57

Regresión entre el Porcentaje de Cal y el Slump del Concreto

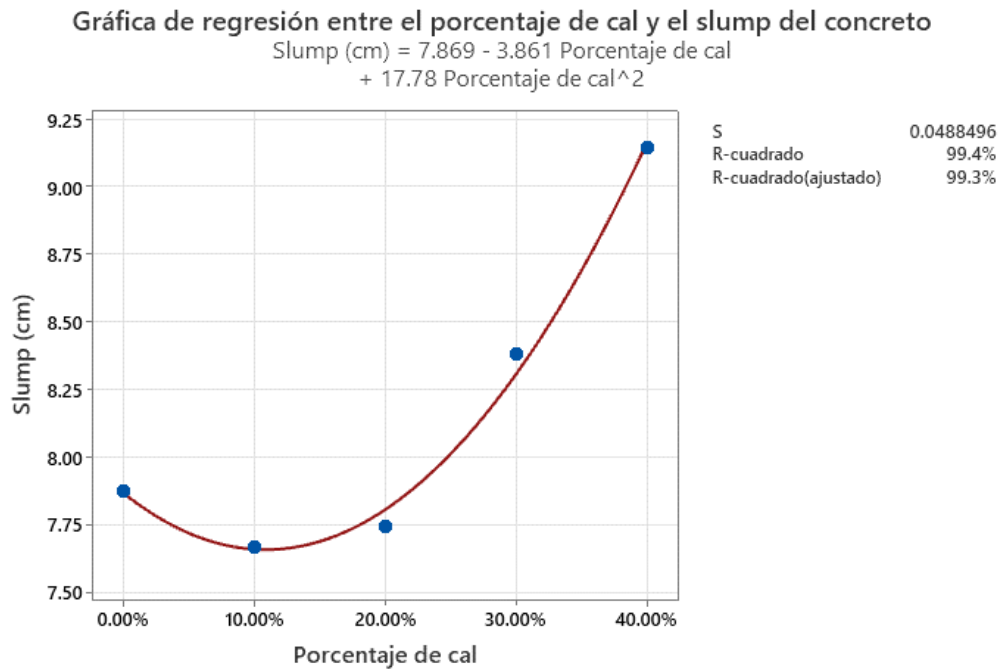


Figura 58

Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Eflorescencia del Concreto

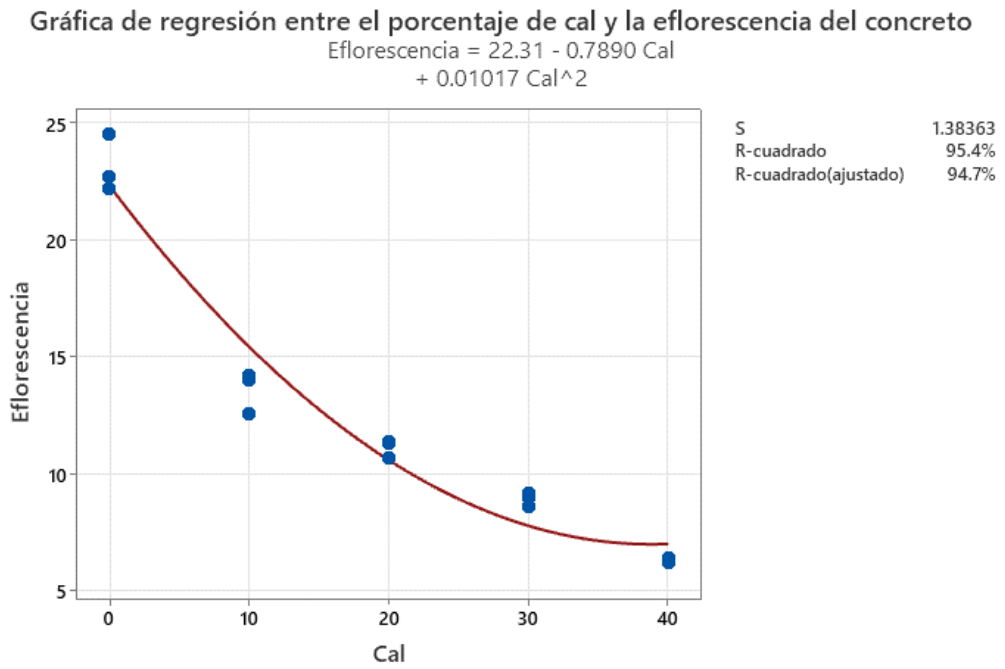


Figura 59

Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Absorción del Concreto

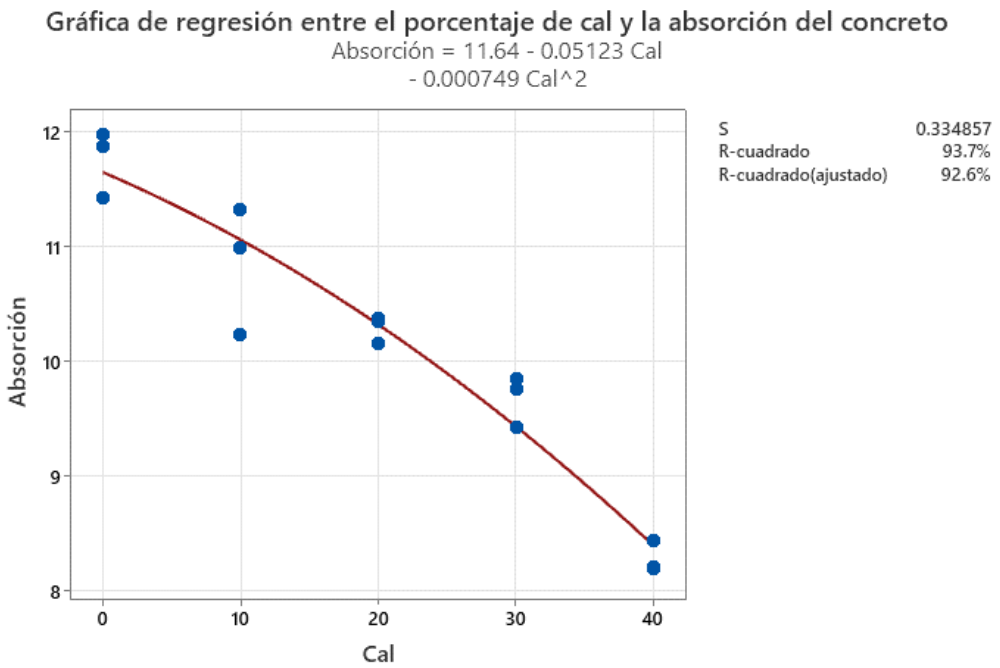


Figura 60

Regresión entre el Porcentaje de Cal y la Segregación del Concreto

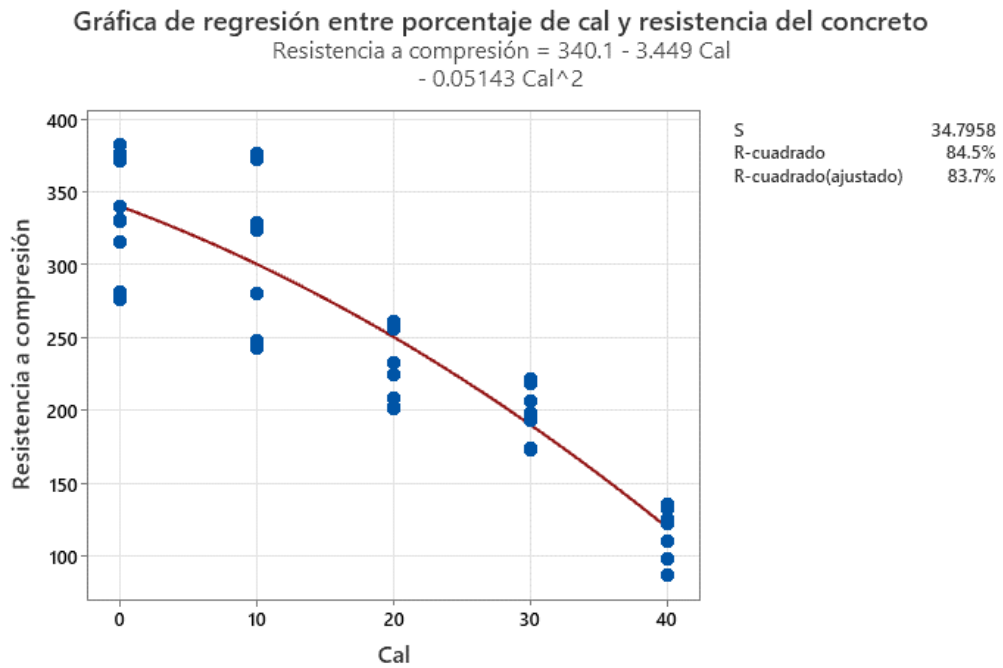
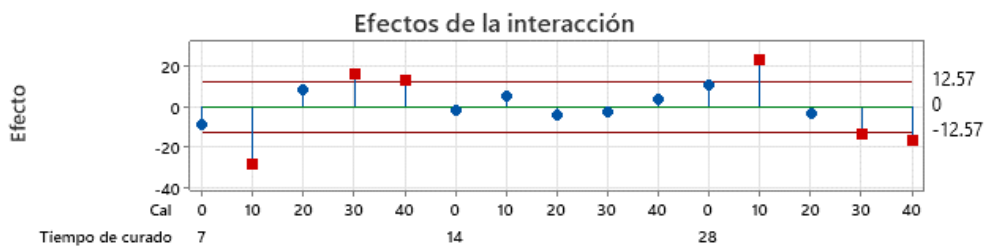


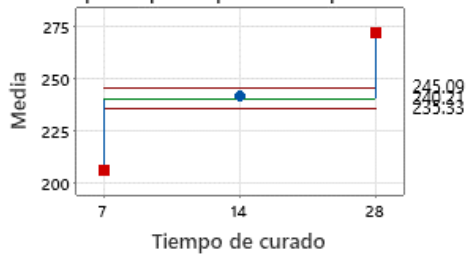
Figura 61

ANOM Normal de Dos Factores: Resistencia a Compresión en Relación con el Porcentaje de Cal y Tiempo de Curado

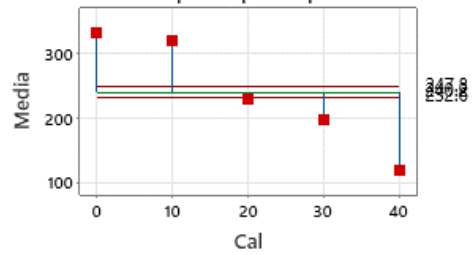
Resistencia a compresión en relación al % de cal y tiempo de curado
 $\alpha = 0.05$



Efectos principales para Tiempo de curado



Efectos principales para Cal



b) Prueba t-student

El análisis t-student se realizó en el programa Minitab 22 para aceptar o rechazar la hipótesis H1 o Ho. Las hipótesis que, se analizaron fueron:

Ho: La resistencia a compresión del concreto con cal al 0%, 10%, 20%, 30% y 40% en remplazo del cemento no supera el $f'c$ esperado a los 28 días 350 kg/cm² ($u < 350$ kg/cm²)

H1: La resistencia a compresión del concreto con cal al 0%, 10%, 20%, 30% y 40% en remplazo del cemento supera el $f'c$ esperado a los 28 días 350 kg/cm² ($u \geq 350$ kg/cm²)

Se determinó que, solamente las dosificaciones con 0% y 10% de cal en remplazo del cemento superan el $f'c$ esperado, mientras que, las otras dosificaciones no cumplen con la capacidad mecánica de un concreto $f'c$ 350 kg/cm². Por tanto, respecto a la hipótesis general se puede concluir que, el porcentaje de cemento que se puede sustituir por cal para la elaborar concreto $f'c$ 350 kg/cm² que, cumpla con el código ACI 363 en la provincia Chota es menor o igual a 10%, siendo esta la dosificación más adecuada con la que, se logran óptimas propiedades físicas y mecánicas del concreto.

Tabla 34

Prueba t-student del Concreto con Cal como Sustituto del Cemento

Hipótesis nula $\rightarrow H_0: \mu = 350$

Hipótesis alterna $\rightarrow H_1: \mu > 350$

Porcentaje de cal en remplazo del cemento	Valor T	Valor p
0	8.13	0.007
10	17.34	0.002
20	-67.67	1.000
30	-28.83	0.999
40	-197.38	1.000

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se ha concluido de forma general que el porcentaje de sustitución de cemento por cal (10, 20, 30 y 40%) para elaborar un concreto $f'c$ 350 kg/cm², que cumpla con el código ACI 363 (ACI, 2010), en la provincia de Chota, más óptimo es 10% de cal, considerando que, con este porcentaje como sustituto del cemento se logra alcanzar la resistencia mecánica a compresión esperada y se mejoran las características físicas del concreto. Así mismo, las conclusiones específicas a las que, se ha llegado son:

- 1) La cal de la calera Inversiones 3MB SRL presenta propiedades físicas tales como: 0.5% de humedad, 0.02% de porcentaje retenido en la malla N° 30 y 0.93% en la malla N° 200, 8.23% de absorción, 1.88 g/cm³ de densidad y 529.38 kg/m³ de peso unitario suelto; así mismo, sus propiedades químicas indican que, contiene 92.8% de cal activa y 66.4% de CaO disponible. Por lo que, cumple con los requisitos físico químicos de la norma UNE 459-1 (AENOR, 2016) a excepción del agua libre en la mezcla que es mayor a 2.5%.
- 2) Se realizó el diseño de mezcla base para la producción de concreto $f'c$ 350 kg/cm² con una relación agua/cemento de 0.48 y contenido de aire al 1.5%, estando conformada por 9.46 bolsas de cemento, 0.4518 m³ de grava, 0.2278 m³ de arena y 0.162 lts de agua, no fue necesario la inclusión de aditivos. Pero, la mezcla fue modificada reemplazando el cemento por cal al 0%, 10%, 20%, 30% y 40%, lo que, equivale a 0, 1.34, 2.68, 4.02 y 5.36 bolsas de 30 kg de cal, correspondientemente.

- 3) Las propiedades del concreto $f'c$ 350 kg/cm² en estado fresco, con sustituciones de 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de cemento por cal, muestran cambios significativos. El asentamiento o “slump” se mantiene dentro del rango plástico de 3” a 4” en todos los casos, con una ligera disminución al 10% de cal (7.67 cm) en comparación con la mezcla sin cal (7.87 cm). El peso unitario del concreto fresco disminuye a medida que aumenta el porcentaje de cal, siendo de 2493.24 kg/m³ para el concreto sin cal y de 2393.69 kg/m³ con un 40% de cal, lo que lo hace más ligero, pero aún dentro del rango de peso para concretos normales (2200 a 2400 kg/m³). La segregación del concreto se reduce considerablemente hasta 0.38%, pero en todos los casos cumple con la NTP 339.218 (INACAL, 2019), que establece un máximo del 5%. Además, la temperatura del concreto fresco aumenta con el contenido de cal, favoreciendo una hidratación más rápida, aunque siempre dentro de los límites de las normas técnicas nacionales.
- 4) Las propiedades del concreto en estado endurecido con una resistencia de diseño de $f'c$ 350 kg/cm², al reemplazar el 0%, 10%, 20%, 30% y 40% del peso del cemento por cal, se ven afectadas de manera significativa. La resistencia a compresión disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de cal, lo que provoca que solo las mezclas con 0% (376.60 kg/cm²) y 10% (374.95 kg/cm²) cumplan con la resistencia esperada de $f'c$ 350 kg/cm². Además, el porcentaje de absorción también se reduce, pero en todos los casos se mantiene por debajo del 12%, cumpliendo con los requisitos de la norma E.070 para bloques de concreto. Asimismo, el porcentaje de eflorescencia acelerada disminuye considerablemente, desde un 23.14% en el concreto sin cal hasta un 6.37% al reemplazar el 40% del cemento con cal. En

consecuencia, el uso de cal como reemplazo parcial del cemento presenta ventajas al reducir la absorción y la eflorescencia, lo que lo hace adecuado para condiciones climáticas adversas con alta pluviosidad, como en la localidad estudiada. Sin embargo, no debe superarse un 10% de reemplazo de cemento por cal para mantener la resistencia deseada y evitar un impacto significativo en las propiedades mecánicas del concreto.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

Se recomienda utilizar 10% de cal como sustituto del cemento para la producción de concreto $f'c$ 350 kg/cm², por los múltiples beneficios físicos como resistencia a la segregación, absorción y eflorescencia, además de que mantiene la capacidad mecánica del concreto y representa un beneficio ambiental por la reducción del uso del cemento en el medio local.

Aunque la investigación considera la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, se sugiere realizar pruebas de resistencia a largo plazo para determinar si la adición de cal afecta positivamente a la durabilidad y estabilidad del concreto como argumentan otros autores.

Se deben analizar porcentajes menores de sustitución del cemento por cal, considerando que, Aguilar & Díaz (2021) argumentan que, con hasta 4% de cal se logra aumentar la capacidad mecánica del concreto y Velasquez (2020) sugiere como máximo 6% de cal, pero ambos concuerdan que, con porcentajes mayores la resistencia a compresión se reduce, no obstante, esto difiere con otras investigaciones cuyos porcentajes adecuados son 20%-25%. Mientras que, en el estudio con 10% de cal la reducción en la capacidad mecánica ha sido menor a 3 kg/cm², así que, podría tener sentido las afirmaciones de Aguilar & Díaz (2021)

y Velasquez (2020). Siendo así, se recomienda que, en futuras investigaciones se analicen porcentajes de remplazo del cemento de 0% a 10% con cal.

La investigación se centró principalmente en el concreto $f'c$ 350 kg/cm². Sería interesante explorar la viabilidad de la sustitución de cal por cemento en otros tipos de concreto, como concreto de alta resistencia, concreto autocompactante o concreto liviano.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- Acevedo, I. (2002). Aspectos éticos en la investigación científica. *Ciencia y enfermería*, 8(1), 1-5. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95532002000100003>
- Acharya, P. K., & Patro, S. K. (2015). Effect of lime and ferrochrome ash (FA) as partial replacement of cement on strength, ultrasonic pulse velocity and permeability of concrete. *Construction and building materials*, 94, 448-457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.081>
- ACI. (2010). *ACI PRC-363-10 Report on High-Strength Concrete*. American Concrete Institute (ACI). https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=36310&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_AND_METRIC
- ACI 211.1. (2022). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, reapproved 2022*. American Concrete Institute. ACI Committee 211 .
- ACI 318S-14. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14) (Versión en español y en sistema métrico SI)*. Comité ACI 318.
- Adesina, P. A., & Olutoge, F. A. (2019). Structural properties of sustainable concrete developed using rice husk ash and hydrated lime. *Journal of Building Engineering*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100804>
- AENOR. (2016). *UNE-EN 459-1:2016. Cales para la construcción. Parte1: Definiciones, especificaciones y criterios de selección*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). https://www.academia.edu/24874009/Norma_UNE_escayola
- AENOR. (2022). *UNE-EN 459-2:2022. Cales para la construcción. Parte2: Métodos de ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0068550>
- Aguilar, J. L., & Díaz, V. L. (2021). *Adición de cal para mejorar la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ – Moyobamba – San Martín*. [Tesis

- para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/69549>
- Aguilar, J. M. (2015). *Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y sílices con cemento Portland Tipo IP en la ciudad de Tacna*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna]. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2813>
- Aguilar, O. E., Rodríguez, E. A., & Sermeño, M. J. (2019). *Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio*. [Tesis de grado, Universidad de El Salvador]. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/158707>
- Alavéz-Ramírez, R., Montes-García, P., Martínez-Reyes, J., Altamirano-Juárez, D. C., & Gochi-Ponce, Y. (2012). The use of sugarcane bagasse ash and lime to improve the durability and mechanical properties of compacted soil blocks. *Construction*, 34(1), 296-205.
<https://doi.org/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061812001493>
- Al-Fadala, S., Chakkamalayath, J., Al-Bahar, S., Al-Aibani, A., & Ahmed, S. (2017). Significance of performance based specifications in the qualification and characterization of blended cement using volcanic ash. *Construction and Building Materials*, 144(1), 532-540.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.180>
- Aliaga, A. J. (2018). *Evaluación de ceniza de cascarilla de arroz y tipos de agregados finos sobre la compresión, sorptividad y densidad de morteros de cemento portland tipo I, Trujillo 2017*. [Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13124>
- Amat, J. (enero de 2016). *ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias*. Ciencia de datos: https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova
- Anjos, M. A., Camões, A., Campos, P., Azeredo, G. A., & Ferreira, R. L. (2020). Effect of high volume fly ash and metakaolin with and without hydrated lime on the properties of self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 27(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100985>
- ASTM C110. (2020). *Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone*. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/c0110-20.html>

- ASTM C25. (2019). *Standard Test Methods for Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime*. American Society for Testing and Materials (ASTM). <https://www.astm.org/c0025-19.html>
- Beires, Y., Miguel, J., & Silva, I. L. (2019). Influência da Cal Hidratada na Massa de Concreto Convencional. *Revista ETIS*, 1(1), 17-27. <https://doi.org/http://revistas2.unievangelica.edu.br/index.php/etis/article/view/3106>
- Benavidez, D. Y., & Benavidez, C. E. (2021). Caracterización de ladrillo de concreto con cal hidratada y plástico PET reciclado. *Revista Nor@ndina*, 3(1), 1-16.
- Benito, F., Parra, C., Valcuende, M., Miñano, I., & Rodríguez, C. (2015). Método para cuantificar la segregación en hormigones autocompactantes. *Concreto y Cemento, Investigación y Desarrollo*, 6(2), 48-63. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361235333003>
- Bentz, D. P., Ardani, A., Barrett, T., Jones, S. Z., Lootens, D., Peltz, M. A., & Weiss, W. J. (2015). Multi-scale investigation of the performance of limestone in concrete. *Construction and Building Materials*, 75(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.10.042>
- Billong, N., Boubakar, L., Bayiha, B. N., Njimbouombouo, S. M., Melo, U. C., Oti, J., & Kinuthia, J. (2020). An investigation on the suitability of hydrated building lime from travertine limestone outcrop of Bogongo, South West of Cameroon. *Case Studies in Construction Materials*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00369>
- Boixader, D. (18 de junio de 2019). *Los módulos de elasticidad del hormigón*. Estructurando: <https://estructurando.net/2019/06/18/los-modulos-de-elasticidad-del-hormigon/>
- Bravo, M. (2004). *Caracterización y utilización del hormigón autocompactable*. [Tesis de grado, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins Barcelona]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3358>
- Calabuig, R. (2015). *Efecto de la adición de cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de concreto con altos contenidos en cenizas volantes silíceas*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/59468/Calabuig%20-%20Efecto%20de%20la%20adici%C3%B3n%20de%20cal%20en%20las%20pr>

- opiedades%20mec%C3%A1nicas%20y%20durabilidad%20de%20hormigones%20c....pdf?sequence=1
- Callupe, E. J. (2018). *Diseño de mezcla de concreto de alta resistencia $f'c=600$ kg/cm², para edificaciones de gran altura*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/55922>
- Cerón, Z. A., Ruge, J., & Rodríguez, Á. (2014). Una mirada probabilística al concreto de alta resistencia. *Ingenio Magno*, 5(1), 18-27. <https://doi.org/http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/876>
- Chávez, B., Del Águila, N., Luna, V. D., & Ocares, F. (2018). *Plan estratégico para el desarrollo de la industria de la cal en la región Cajamarca*. [Tesis para obtener el grado de magíster en administración estratégica de empresas, Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10234>
- Chemrouk, M. (2015). The deteriorations of reinforced concrete and the option of high performances reinforced concrete. *Procedia Engineering*, 125(1), 713-724. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.112>
- COGUANOR. (06 de noviembre de 2015). NTG 41017 h29 Método de ensayo. Segregación estática del concreto autocompactable utilizando la técnica de la columna. *Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR)*.
- Colangelo, F., Navarro, T. G., Farina, I., & Petrillo, A. (2020). Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: A circular economy mindset in Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(9), 1790-1804. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149250>
- Contreras, S., & Velazco, C. (2018). *Análisis comparativo del método de curado en especímenes de losas de concreto simple, simulando condiciones constructivas de obra en la ciudad de Arequipa*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5522>
- Córdova, C. E. (2018). *Análisis del concreto simple utilizando vidrio pulverizado como adición para concreto de alta resistencia con agregados de la ciudad de Chiclayo*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/1197>
- Cotrina, N. E. (2018). *Comportamiento mecánico del concreto de alta resistencia de $F'c=450$ kg/cm² con aditivo superplastificante sikament® - 290n y adición*

- mineral sika® fume*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1979>
- Das, S. K., Mustakim, S. M., Adesina, A., Mishra, J., Alomayri, T. S., Assaedi, H. S., & Kaze, C. R. (2020). Fresh, strength and microstructure properties of geopolymer concrete incorporating lime and silica fume as replacement of fly ash. *Journal of Building Engineering*, 32(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101780>
- Davidovits, J. (1994). Impacto del calentamiento global en las industrias del cemento y los agregados. *Revisión de recursos mundiales*, 6(2), 263-278. <https://doi.org/https://www.geopolymer.org/wp-content/uploads/5GWPROCE.pdf>
- EcoUltravioleta. (16 de julio de 2020). *¿Por qué cal y no cemento? cal vs cemento*. ecoUltravioleta: <https://ecoultravioleta.coop/por-que-cal-y-no-cemento/>
- Enders, J. C., & Remig, M. (2014). Theories of sustainable development: An introduction. *Theories of sustainable development*, 1(1), 1-5. <https://doi.org/https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315757926-1/theories-sustainable-development-judith-enders-moritz-remig>
- Felekoğlu, B., Türkel, S., & Baradan, B. (2007). Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and environment*, 42(4), 1795-1802. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.012>
- Felipe, S. O. (2019). *Análise e estudo da influência da adição de cal no concreto com ar incorporado tendo em vista a redução da frente de carbonatação*. [Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia]. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/27943>
- García, T. M. (2013). *Diseño de concreto de alta resistencia $f_c = 480 \text{ kg/cm}^2$ usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/11458/326>
- Garikapati, K. P., & Sadeghian, P. (2020). Mechanical behavior of flax-lime concrete blocks made of waste flax shives and lime binder reinforced with jute fabric. *Journal of Building Engineering*, 29(1), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101187>
- Ghareeb, K. S., Ahmed, H. E., El-Affandy, T. H., Deifalla, A. F., & El-Sayed, T. A. (2022). The Novelty of Using Glass Powder and Lime Powder for Producing

- UHPSCC. *Buildings*, 12(5), 684.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings12050684>
- Giraldo, J. G. (2019). *Resistencia a la compresión y flexión de concreto con 10% y 20% de fibras de caucho reciclado*. [Tesis de grado, Universidad de San Pedro].
http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/14307/Tesis_63816.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gonzales, M. (1962). *Tecnología del concreto diseño de mezclas*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Guevara-Fustamante, J. W., & Silva-Tarrillo, M. Á. (2023). Nivel de sales, cloruros y sulfatos y su relación con la eflorescencia en ladrillos de cinco ladrilleras en Cajamarca, Perú. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 6(1), 81-93.
<https://doi.org/10.37518/2663-6360X2023v6n1p81>
- Gunasekara, C., Sandanayake, M., Zhou, Z., Law, D. W., & Setunge, S. (2020). Effect of nano-silica addition into high volume fly ash-hydrated lime blended concrete. *Construction and building materials*, 253(1), 1-10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119205>
- Horcalsa. (30 de diciembre de 2020). ¿Cuáles son los usos de la cal en la construcción? Blog Horcalsa: <https://www.horcalsa.com/blog/cuales-son-los-usos-de-la-cal-en-la-construccion/>
- INACAL. (14 de enero de 2016). NTP 331.017 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (03 de enero de 2018). NTP 339.081 CONCRETO. Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco. 3ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (03 de enero de 2018). NTP 339.082. CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. 4ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (03 de enero de 2018). NTP 399.602 UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Bloques de concreto para uso estructural. Requisitos. 2ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (17 de enero de 2019). NTP 334.168vCALES. Cal hidráulica puzolánica para propósitos estructurales. Requisitos. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

- INACAL. (06 de diciembre de 2019). NTP 339.046 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (06 de diciembre de 2019). NTP 339.218. CONCRETO. Método de ensayo para la segregación estática del concreto auto-compactado. Ensayo de columna. 2a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (18 de febrero de 2020). NTP 400.011 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (18 de febrero de 2020). NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (07 de diciembre de 2020). NTP 400.018 AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (26 de noviembre de 2020). NTP 400.019 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (01 de enero de 2020). NTP 400.020 AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (01 de enero de 2020). NTP 400.021 AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. *Instituto Nacional de Calidad*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.034 CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo. 5a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.183 CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.

- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.184 CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 339.185 AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.022 AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (15 de noviembre de 2021). NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5a Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- INACAL. (24 de marzo de 2022). NTP 339.035 CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo. 5ª Ed. *Instituto Nacional de Calidad (INACAL)*.
- Kovler, K., & Roussel, N. (2011). Properties of fresh and hardened concrete. *Cement and Concrete Research*, 41(7), 775-792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.009>
- León, M., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25(2), 215-240. <https://doi.org/https://www.scielo.cl/pdf/ric/v25n2/art03.pdf>
- León-Velez, A., & Guillén-Mena, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611-625. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
- López, L. (2011). *Influencia del porcentaje de adición de la microsilice y del tipo de curado, en la penetración del ion cloruro en el concreto de alto desempeño*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.- Colombia].
- López, L. B. (2015). *Determinación de características físicas y propiedades mecánicas de un suelo areno limoso estabilizado con cemento tipo ug y cemento ari*. [Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/3684>

- López, L., Duran, A., & Gonzáles, J. (2022). Estado del desarrollo y aplicaciones de la tecnología del concreto. *Ciencia Nicolaita*, 1(85), 27-43. <https://doi.org/https://doi.org/10.35830/cn.vi85.619>
- Malca, E. M. (2018). *Efecto de la incorporación de cal en la resistencia a la compresión del concreto, Cajamarca – 2018*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/28507>
- Mauricio, R. Á., & Farfán, M. G. (2021). Structural concrete modified with fan seashell lime. *Revista ingeniería de construcción*, 36(3), 380-388. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7764/ric.00010.21>
- Medina, E. J. (2022). *Evaluación de bloques de concreto adicionando poliestireno, Chota*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/223>
- Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plásticos y endurecidos. *Investigación y desarrollo*, 2(2), 35-47. <https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v2n2/v2n2a3.pdf>
- Molina, C. R., & Sencara, J. M. (2018). *Evaluación de la resistencia a la compresión y flexión de un concreto de alta resistencia, reutilizado en la etapa de Fraguado*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6735>
- Molina, O. I. (2008). *La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://doi.org/https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1139>
- Montoya, E. M. (2022). *Beneficios de la CAL en la construcción*. Calk. Calidra. <https://caltek.com.co/construccion-con-cal-hidratada/>
- MPCH. (2018). *Plan de desarrollo urbano, PDU 2017 – 2027, Chota*. Municipalidad Provincial de Chota, MPCH.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos; sección suelos y pavimentados*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
- Murillo, J. C., Gómez, J. E., Saldarriaga, C., & González, W. (2021). *La investigación: Transformando el contexto*. Universidad Tecnológica de Pereira. https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Cuadriga-del-desarrollo-sostenible-componentes-objetivos-e-intersecciones_fig3_350748250

- MVCS. (2009). Norma E.060 Concreto armado. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones* (págs. 1-201). Instituto de Construcción y Gerencia. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2009_E_060.pdf
- Nasrollahi, Z., Hashemi, M., Bameri, S., & Mohamad Taghvaei, V. (2018). Environmental pollution, economic growth, population, industrialization, and technology in weak and strong sustainability: Using STIRPAT model. *Environ. Dev. Sustain*, 1(2018), 1-18. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10668-018-0237-5>
- Nawy, E. G. (1996). *Fundamentals of high strength high performance concrete*. Addison-Wesley Longman.
- NewBloggerThemes.com. (2023). *CEMENTO: Proceso de elaboración*. NewBloggerThemes.com: https://cementopropiedadesquimicasugcgrupo2.blogspot.com/2014/11/proceso-de-elaboracion_9.html
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161-172. <https://doi.org/https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n2/0718-5073-ric-33-02-00161.pdf>
- Pacco, J. F. (2016). *Efecto de la adición de cal en la resistencia a la compresión de un concreto*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3275218>
- Pajuelo, L. E. (2019). *Resistencia del concreto con cemento sustituido por la combinación de cal (en 0%, 10% y 12%) y arcilla (en 0%, 7% y 9%)*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad San Pablo]. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/10409>
- Paredes, K. D. (2022). *Influencia de la incorporación del mucílago de nopal en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4922>

- Parra-Gómez, M. G. (2018). *Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <https://hdl.handle.net/10983/22856>
- Pedroso, C. L. (2020). *Compósitos à base de rejeito do minério de ferro, resíduo de concreto, resíduos da produção de celulose e resíduo da produção da cal*. [Tese Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba]. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4937>
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*. Lafayette.
- Prošek, Z., Nežerka, V., Hlůžek, R., Trejbal, J., Tesárek, P., & Karra'a, G. (2019). Role of lime, fly ash, and slag in cement pastes containing recycled concrete fines. *Construction and Building Materials*, 201, 702-714. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.227>
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de «tecnología del hormigón*. Universidad Mayor de San Simón.
- Rafael, P. (2015). *Efecto de la adición de cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de hormigones con altos contenidos en cenizas volantes silíceas*. [Tesis de doctorado en construcciones arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia].
- Resende, M. B. (2019). *Adição de cal aos concretos com ar incorporado visando a redução da frente de carbonatação*. [Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia]. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26087>
- Rivva, E. (2011). *Concretos de Alta Resistencia, 2da ed*. Instituto de la Construcción y Gerencia, Perú.
- Roldán, L. M., & Vargas, J. D. (2018). *Diseño de mezcla para un concreto de alta resistencia adicionando Sika ViscoCrete SC-50 y GAIA*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4182>
- Rolim, A. C. (2020). *Avaliação de parâmetros de resistência mecânica de material fresado estabilizado com cimento Portland, cal e rocha basáltica pulverizada para emprego em pavimentação*. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria]. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22195>
- Salazar, S. L. (2023). *Concreto - Cesar Useche*. Bibliocad: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/concreto_38689/

- Samimi, K., Kamali-Bernard, S., Maghsoudi, A. A., Maghsoudi, M., & Siad, H. (2017). Influence of pumice and zeolite on compressive strength, transport properties and resistance to chloride penetration of high strength self-compacting concretes. *Construction and building materials*, *151*(1), 292-311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.071>
- Segarra, L. B., Godoy, C. E., & Miranda, M. M. (2018). *Automatización de la producción de cemento y baldosas*. [Tesis para obtener el título de ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/44287>
- Sharifi, N. P., Freeman, G. E., & Sakulich, A. R. (2015). Using COMSOL modeling to investigate the efficiency of PCMs at modifying temperature changes in cementitious materials—case study. *Construction and Building Materials*, *101*(1), 965-974. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.162>
- Shi, L., Han, L., Yang, F., & Gao, L. (2019). The evolution of sustainable development theory: Types, goals, and research prospects. *Sustainability*, *11*(24), 1-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su11247158>
- Silva, Y. F., Rojas, J. E., Gamboa, J. A., Gordillo, M., & Delvasto, S. (2019). Optimización de la resistencia a compresión usando un diseño de mezcla de vértices extremos, en concretos ternarios basados en residuo de mampostería y cal hidratada. *Revista EIA*, *16*(31), 99-113. https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372019000100099
- Singh, R., & Kumar, R. (2020). Compressive Strength of Light Weight Concrete Using Natural and Artificial Aggregate. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, *7*(02), 196-201. <https://doi.org/https://www.academia.edu/download/64397954/IRJET-V7I240.pdf>
- Sokolovicz, B. C. (2020). *Avaliação das propriedades mecânicas e microestrutura de concreto de ultra alto desempenho com adições minerais e resíduos industriais*. [Tese doctorado, Universidade Federal de Santa Maria]. <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/19866>
- Varas, G. N. (2018). *Influencia de los tipos de cal y proporción en morteros para la conservación sobre la compresión, contracción, densidad, absorción y fraguado*,

- Trujillo 2018. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/13747>
- Velasquez, D. M. (2020). *Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la planta de maíz*. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad San Pedro]. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14296>
- Vilela, M. J. (2022). *Evaluación de las características de las unidades de albañilería para viviendas en la localidad de Ignacio Escudero, Sullana, Piura – 2021*. [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/3696/ICIV-VIL-RUI-2022.pdf?sequence=1>
- Walker, T. R. (2021). (Micro) plastics and the UN sustainable development goals. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 30(1), 1-10.
- Zeyad, A. M., Al-Qahtani, S. A., & Al-Shehri, H. A. (2019a). Production of high-strength concrete by utilizing volcanic pumice waste in KSA, Jazan region: particle size effect. *Int J Sci Res Eng Trends*, 5(1), 1677-1691. https://doi.org/https://ijsret.com/wp-content/uploads/2019/09/IJSRET_V5_issue5_456.pdf
- Zeyad, A. M., Khan, A. H., & Tayeh, B. A. (2020). Durability and strength characteristics of high-strength concrete incorporated with volcanic pumice powder and polypropylene fibers. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(1), 806-818. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.11.021>
- Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Yusuf, M. O. (2019b). Strength and transport characteristics of volcanic pumice powder based high strength concrete. *Construction and Building Materials*, 216(1), 314-324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.026>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesista: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

Tesis: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c 350 KG/CM², CHOTA

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología	
¿Qué porcentaje de sustitución de cemento por cal (10, 20, 30 y 40%) es el más óptimo para elaborar un concreto f'c=350 kg/cm ² en Chota?	Objetivo general Evaluar el porcentaje de sustitución de cemento por cal (10, 20, 30 y 40%) más óptimo para elaborar un concreto f'c 350 kg/cm ² en Chota.	Ho: El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaboración de concreto f'c 350 kg/cm ² en Chota es 10%.	Variable independiente "Sustitución del cemento por cal"	Cemento	Peso específico	Enfoque: CUANTITATIVO Tipo de investigación: APLICADO CORRELACIONAL Nivel de investigación: EXPLICATIVO Diseño de investigación: EXPERIMENTAL CON PRE TEST Y POST TEST Muestra: 45 especímenes de concreto elaborados sustituyendo el cemento por cal al 0%, 10%, 25% y 50% del peso, curados a los 7, 14, y 28.	
				Cal	Peso específico		
	Objetivos específicos – Determinar las propiedades físico químicas de la cal utilizada en remplazo del cemento para la producción de concreto. – Realizar el diseño de mezcla con cemento portland tipo I, agua, superplastificante y agregados locales de la provincia de Chota, para la producción de concreto f'c 350 kg/cm ² , simple y con adiciones de cal. – Analizar las propiedades en estado fresco del concreto f'c 350 kg/cm ² sustituyendo el cemento por 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% de cal. – Analizar las propiedades en estado endurecido del concreto f'c 350 kg/cm ² sustituyendo el cemento por 0%, 10%, 20%, 30%, y 40% de cal.	H1: El porcentaje de sustitución de cemento por cal más óptimo para la elaboración de concreto f'c 350 kg/cm ² en Chota es mayor a 10%.	Variable dependiente "Concreto f'c= 350 kg/cm ² "	Propiedades de los agregados	Contenido de humedad		
					Granulometría		
	Diseño de mezclas	Peso unitario	Cemento	Agregados	Aditivo		Agua
	Propiedades en estado fresco	Asentamiento	Temperatura	Peso unitario	Contenido de aire		Segregación
	Propiedades en estado endurecido	Absorción	Eflorescencia	Peso	Peso		Peso

Anexo B. Panel fotográfico

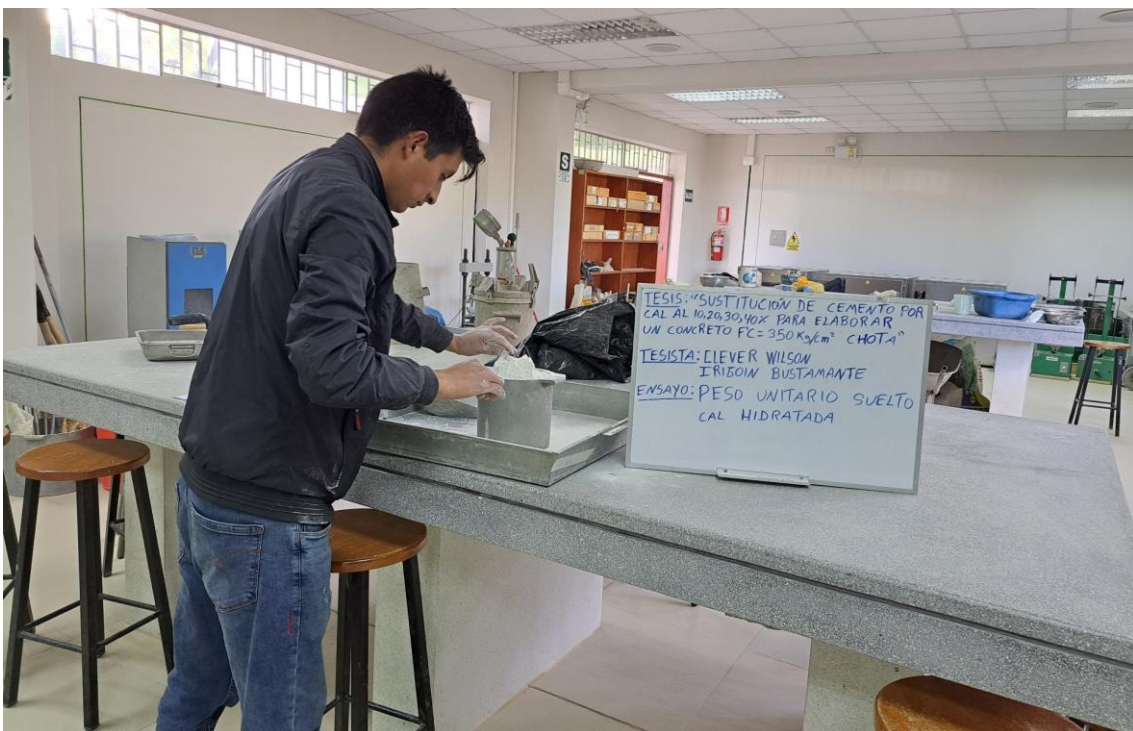
Fotografía 1. Ensayo de peso específico de la cal hidratada



Fotografía 2. Proceso de apisonado de la cal hidratada para determinar su peso unitario compactado



Fotografía 3. Peso unitario suelto de la cal hidratada

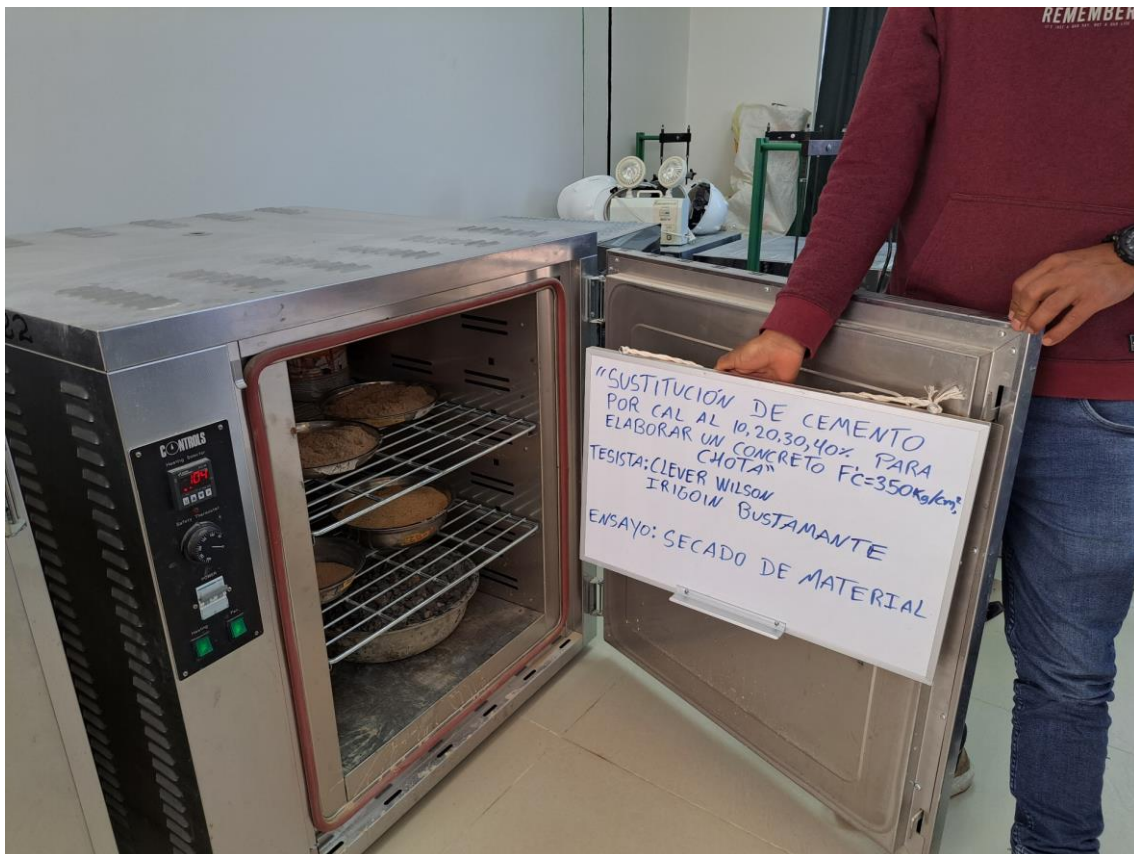


Fotografía 4. Secado de la cal para el análisis de contenido de humedad



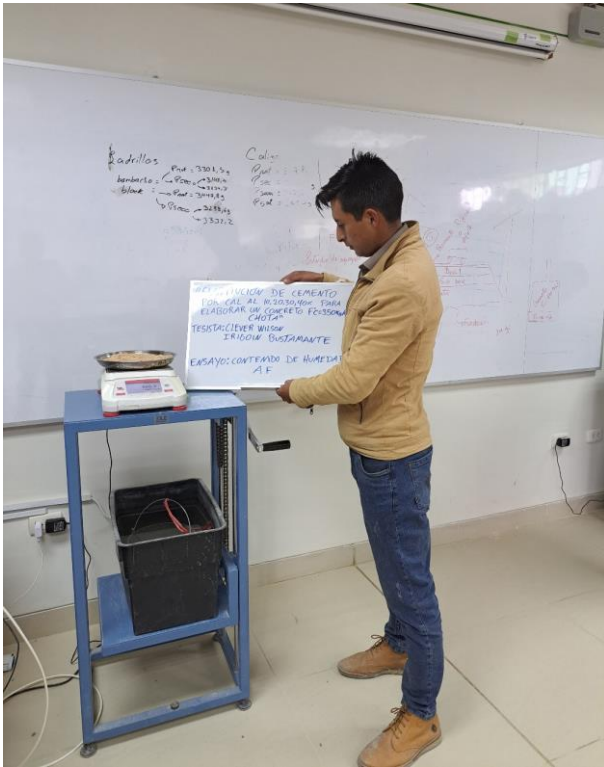
TESIS: "SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,20,30,40% PARA ELABORAR UN CONCRETO FC=350 Kg/cm² CHOTA"
TESISTA: CLEVER WILSON IRIGOW BUSTAMANTE
ENSAYO: SECADO DE MATERIAL (CAL HIDRATADA)

Fotografía 5. Secado de los agregados para determinar el contenido de humedad



"SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,20,30,40% PARA ELABORAR UN CONCRETO FC=350 Kg/cm² CHOTA"
TESISTA: CLEVER WILSON IRIGOW BUSTAMANTE
ENSAYO: SECADO DE MATERIAL

Fotografía 6. Pesado de la arena para realizar el ensayo de contenido de humedad



Fotografía 7. Ensayo material que pasa el tamiz N° 200



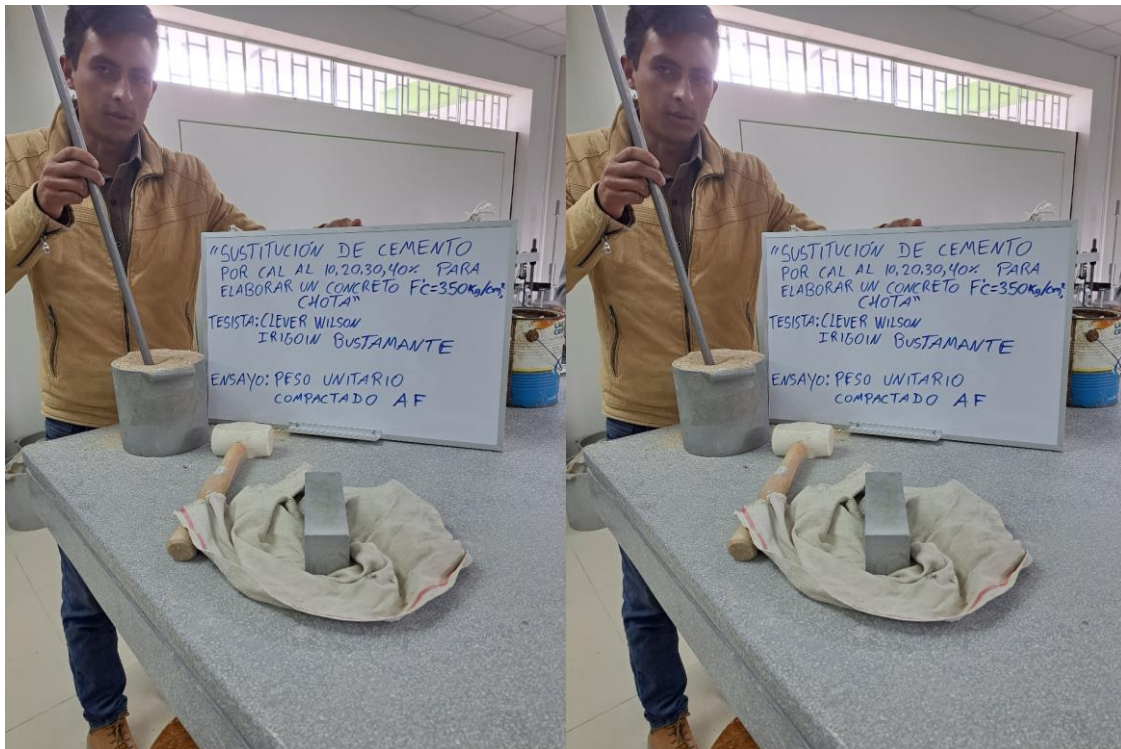
Fotografía 8. Granulometría de los agregados



Fotografía 9. Peso unitario compactado del agregado grueso



Fotografía 10. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino



Fotografía 11. Peso específico del agregado grueso



Fotografía 12. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Fotografía 13. Ensayo de abrasión del agregado grueso



Fotografía 14. Materiales aglomerantes utilizados



Fotografía 15. Probetas realizadas inicialmente para verificar el diseño base del estudio



Fotografía 16. Ensayo de asentamiento del concreto



Fotografía 17. Slump de la mezcla de concreto base



Fotografía 18. Slump de la mezcla de concreto con 10% de cal



Fotografía 19. Slump de la mezcla de concreto con 20% de cal



Fotografía 20. Slump de la mezcla de concreto con 30% de cal



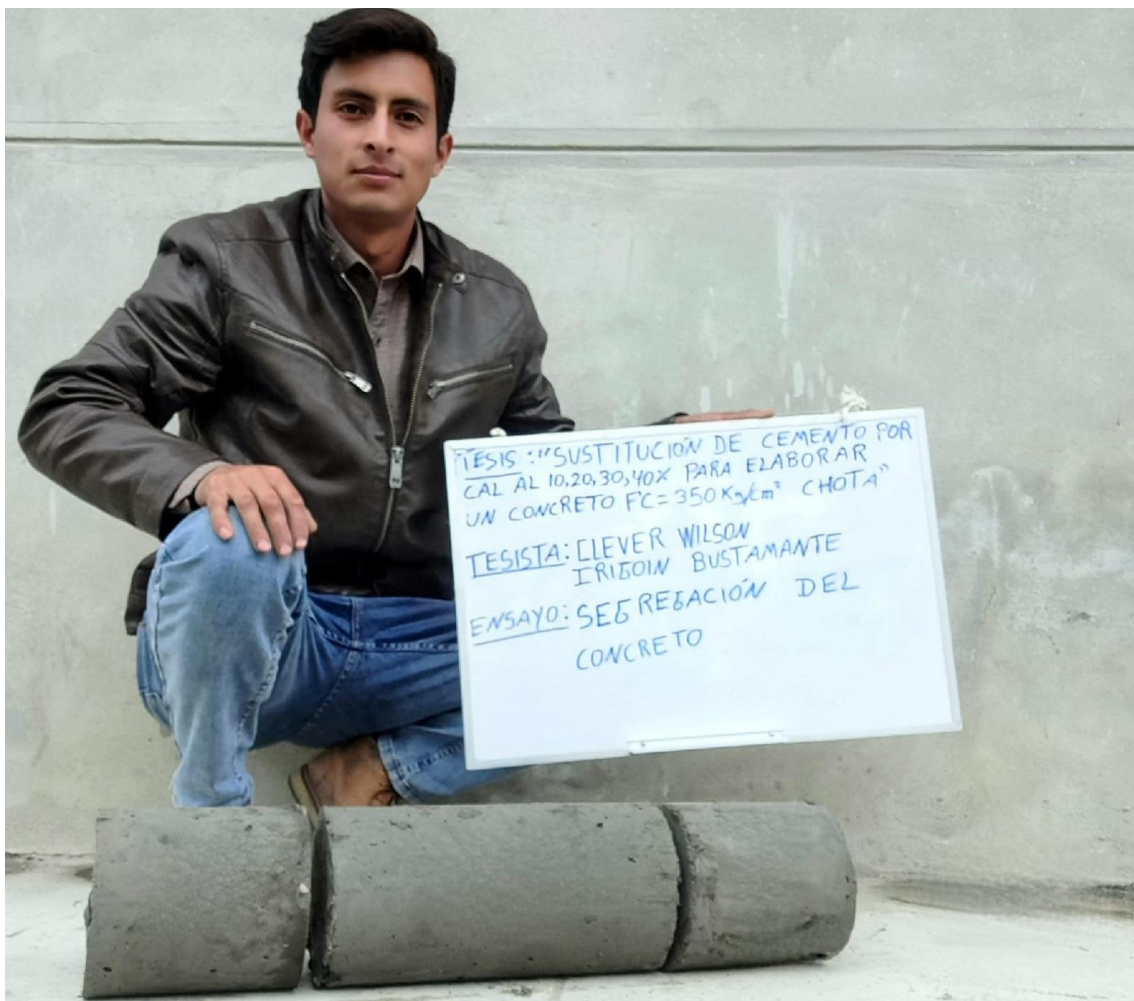
Fotografía 21. Slump de la mezcla de concreto con 40% de cal



Fotografía 22. Ensayo de contenido de aire del concreto



Fotografía 23. Ensayo de segregación del concreto



Fotografía 24. Ensayo de temperatura en el concreto



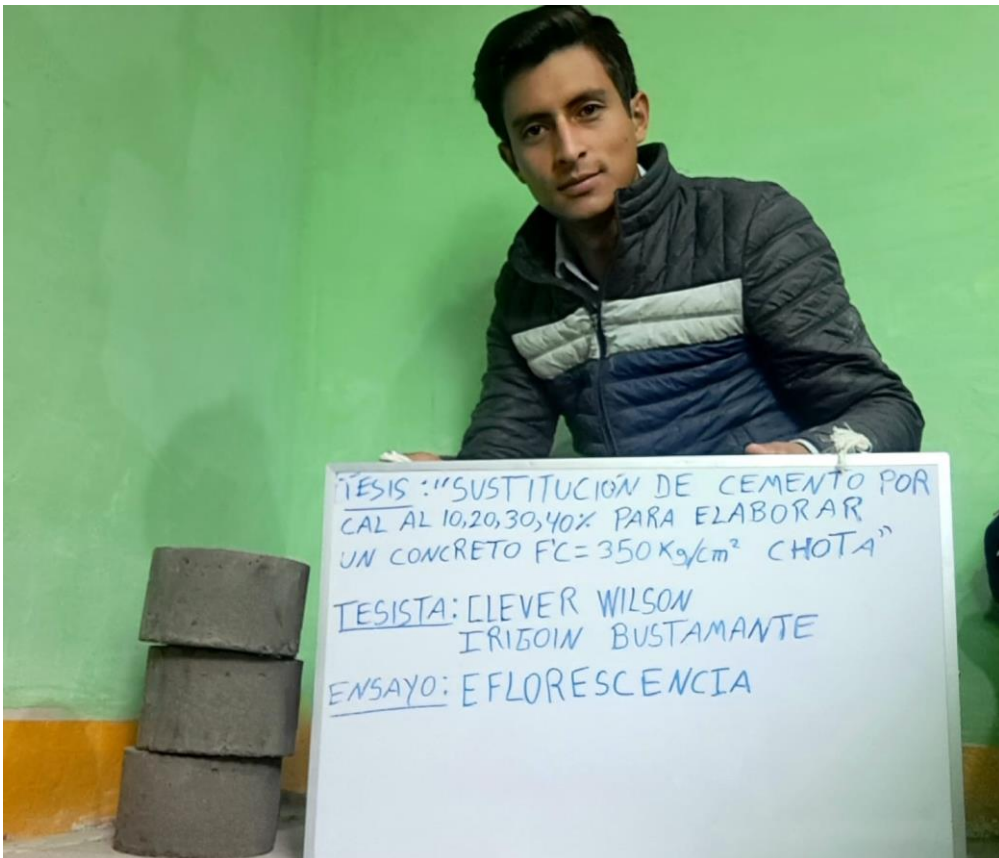
Fotografía 25. Elaboración de probetas de concreto



Fotografía 26. Curado de probetas de concreto



Fotografía 27. Muestras para ensayo de eflorescencia



Fotografía 28. Ensayo de eflorescencia en el concreto



Fotografía 29. Pesaje de probetas de concreto



Fotografía 30. Medida de las probetas de concreto



Fotografía 31. Colocación de las probetas en el equipo de compresión



Fotografía 32. Rotura de probetas de concreto con 0% de cal



Fotografía 33. Rotura de probetas de concreto con 10% de cal



Fotografía 34. Rotura de probetas de concreto con 20% de cal



Fotografía 35. Rotura de probetas de concreto con 30% de cal



Fotografía 36. Rotura de probetas de concreto con 40% de cal



Fotografía 37. Probeta de concreto luego del ensayo de compresión



Anexo C. Ficha técnica del cemento

CEMENTO TIPO I

“ESTRUCTURAL”



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland Tipo I. Gracias a su nuevo diseño de Clinker, se logra un concreto más durable brindando alta resistencia a todas las edades.

USOS

- Cemento de uso general.

ATRIBUTOS

Diseño que supera los requisitos de la normas nacionales

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.

RECOMENDACIONES



Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo, protegido de la humedad.



Almacenar en pilas de menos de 10 sacos.

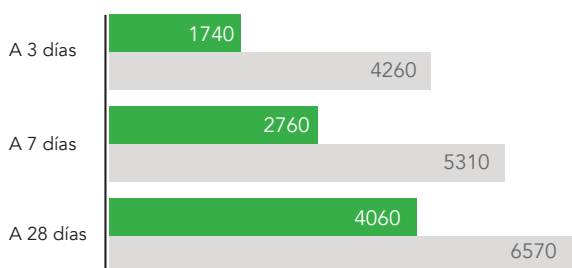


Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



Resistencia a la compresión (psi)

■ Resultado Promedio ■ Requisito mínimo NTP 334.009 / ASTM C150

Cemento Portland tipo I

Requisitos Normalizados

NTP 334.009 / ASTM C150

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADO ⁽²⁾
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	2.1
SO ₃	Máximo	3.0	%	NTP 334.086	2.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	3.1
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUERIMIENTOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADO ⁽²⁾
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	8
Finura, Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4000
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.07
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	29.4 (4260)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	36.6 (5310)
28 días ⁽¹⁾	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	45.3 (6570)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	139
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	250

(1) Requisito opcional

(2) Valores Promedios Referenciales

VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha y hora de envasado: para que utilices el cemento más fresco



Fecha de vencimiento: para aprovechar de mejor manera sus propiedades

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.

Anexo D. Ensayos físico químicos de la cal

Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS – ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELÉFONO: 364793

CERTIFICADO DE CALIDAD

Nombre del Material : CAL HIDRATADA
Solicita : Inversiones 3MB srl.
RUC : 20495700071
Dirección : Car. Bambamarca Chota Km 04 Bambamarca Hualgayoc
Cajamarca
Lote : 020523
Fecha de Emisión : 08/05/23

1.- ESPECIFICACIONES: ANÁLISIS QUÍMICO

DETERMINACIÓN	RESULTADO
Cal activa Ca (OH) ₂ + CaO %	92.80
Cao Disponible %	66.40
Agua Libre(H ₂ O) %	3.70
Gravedad especifica %	2.34

ANÁLISIS FÍSICO

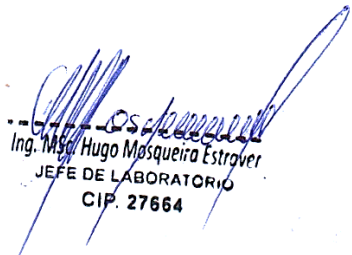
		Resultados
Granulometría		
Retenido Malla 30	%	0.02
Retenido Malla 200	%	0.93
Pasa Malla 200	%	99.05
Color		Blanco Humo Blanco Gris

2.- OBSERVACIONES:

MÉTODO AASTHO 216 (ASTM C 91)
GRANULOMETRÍA AASTHO 216 (ASTM C 977)

Precauciones de Manipuleo: Al manipular usar equipo de protección personal (guantes, anteojos, respirador)

Precauciones de Almacenaje: Almacenar en lugares secos y techados.


Ing. MsC Hugo Mosquera Estraver
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 27664



ENSAYOS DE CAL HIDRATADA

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM2, CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947


Asesor



PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN CAL HIDRATADA

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE BAMBAMARCA - HUALGAYOC - CAJAMARCA
CANTERA: INVERSIONES 3MB SRL
AGREGADO: CAL HIDRATADA **COLOR:** Blanco Humo Blanco Gris

ITEM	ENSAYO	1°	2°	3°
	Peso de la fiola (500 ml)	274.60	274.60	274.60
	Peso de la tara (gr)	114.00	116.20	116.30
	Peso final de la muestra + tara (gr)	574.10	581.70	576.70
A	Peso de la muestra seca en el horno	460.10	465.50	460.40
B	Peso de la fiola llenado con agua hasta la marca de calibración (gr)	1271.70	1271.70	1271.70
C	Peso de la fiola con la muestra y agua hasta la marca de calibración (gr)	1506.20	1506.10	1506.10
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00
	Densidad del agua (gr/cm3)	0.998	0.998	0.998
Pem	Densidad específica de masa (gr/cm3)	1.73	1.75	1.73
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca (gr/cm3)	1.88	1.88	1.88
Pea	Densidad aparente (gr/cm3)	2.04	2.01	2.03
Ab	Absorción (%)	8.67%	7.41%	8.60%
Pem	Densidad específica de masa promedio (gr/cm3)	1.74		
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca promedio (gr/cm3)	1.88		
Pea	Densidad aparente promedio (gr/cm3)	2.03		
Ab	Absorción promedio (%)	8.23%		


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



PESO UNITARIO CAL HIDRATADA

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM², CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE BAMBAMARCA - HUALGAYOC - CAJAMARCA

CANTERA: INVERSIONES 3MB SRL

AGREGADO: CAL HIDRATADA

COLOR: Blanco Humo Blanco Gris

PESO UNITARIO SUELTO DE LA CAL

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.6560	1.6560	1.6560
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	3.125	3.143	3.151
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	1.469	1.487	1.495
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m³)	524.15	530.57	533.42
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m³)	529.38		

PESO UNITARIO COMPACTADO DE LA CAL

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.6560	1.6560	1.6560
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	3.411	3.422	3.428
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	1.755	1.766	1.77
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m³)	626.19	630.12	632.26
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m³)	629.52		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor

Anexo E. Ensayos al agregado fino y grueso



ENSAYOS DE AGREGADO FINO

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM², CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DE LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO
(NTP 339.185)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
AGREGADO: ARENA **COLOR:** ANARANJADO

Método de secado al horno para determinar el contenido de humedad del agregado fino

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	82.50	77.70	74.40
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	886.20	988.80	1104.80
Peso de tara + muestra seca (gr)	851.00	950.50	1060.80
Peso de la muestra húmeda (gr)	803.70	911.10	1030.40
Peso de la muestra seca (gr)	768.50	872.80	986.40
Porcentaje de humedad	4.58%	4.39%	4.46%
Promedio (%)	4.48%		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



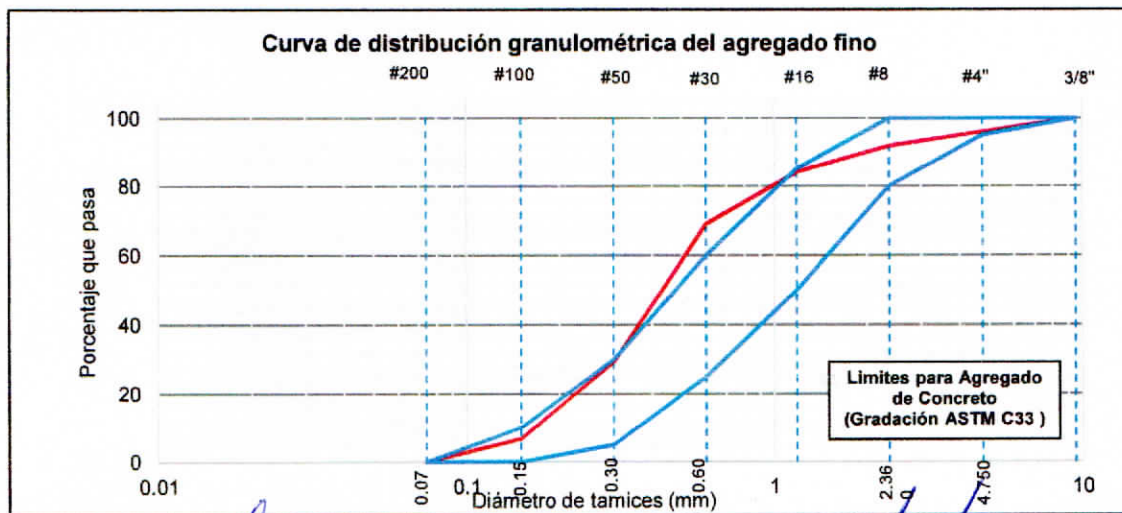
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
AGREGADO: ARENA **COLOR:** ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA 1

Peso de la muestra 1000 gr **Pérdida de la muestra** 0.07%
Tamaño máximo # 4 **Uso:** Agregado para concreto

	Tamiz	N°	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	
Tamizado usando peso seco fracción fina	ARENA	GRUESA						
		3/8"	9.500	0	0.00	0.00	100.00	
		# 4	4.750	40.10	4.01	4.01	95.99	
		# 8	2.360	42.39	4.24	8.25	91.75	
		MEDIA						
		# 16	1.180	77.32	7.73	15.98	84.02	
		# 30	0.600	150.3	15.03	31.01	68.99	
FINA								
# 50	0.300	396.8	39.68	70.69	29.31			
# 100	0.150	225.2	22.52	93.21	6.79			
Cazuela	#200	0.074	67.18	6.72	99.93	0.07		
TOTAL				999.29	Modulo de finura MF=		2.23	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio



Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



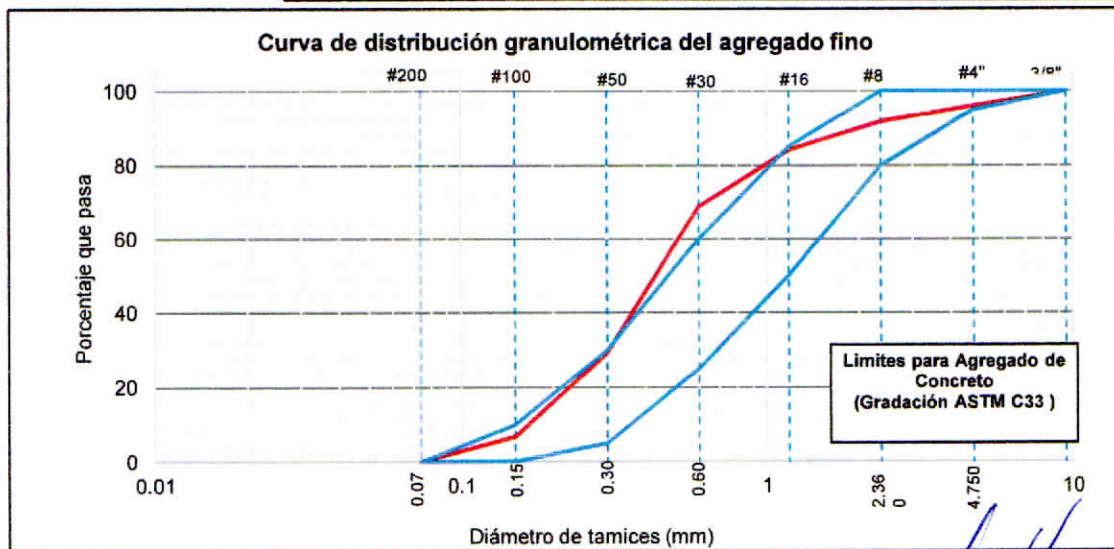
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
RESPONSABLE: F'C=350KG/CM2, CHOTA
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
AGREGADO: ARENA **COLOR:** ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA 2

Peso de la muestra 1000 gr **Pérdida de la muestra** 0.06%
Tamaño máximo # 4 **Uso:** Agregado para concreto

	Tamiz	N°	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Tamizado usando peso seco fracción fina	GRUESA	3/8"	9.500	0	0.00	0.00	100.00
		# 4	4.750	39.9	3.99	3.99	96.01
		# 8	2.360	42.3	4.23	8.22	91.78
	MEDIA	# 16	1.180	77.3	7.73	15.95	84.05
		# 30	0.600	151.53	15.15	31.10	68.90
		# 50	0.300	395.82	39.58	70.69	29.32
	FINA	# 100	0.150	225.32	22.53	93.22	6.78
# 200		0.074	67.23	6.72	99.94	0.06	
Cazuela							
TOTAL				999.4	Modulo de finura MF=		2.23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



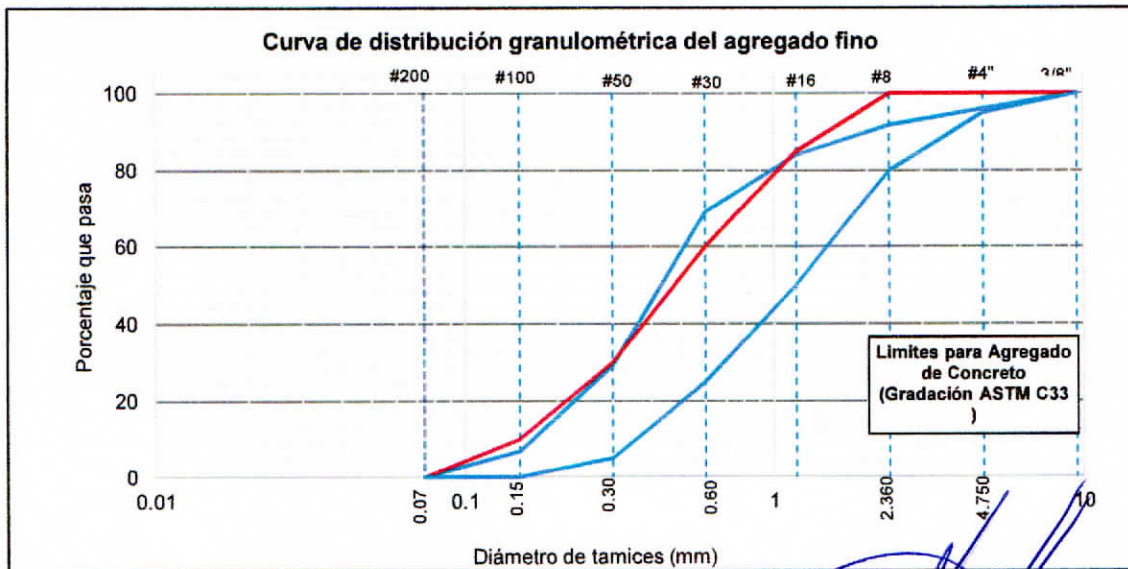
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
RESPONSABLE: F'C=350KG/CM2, CHOTA
UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CONCHAN
AGREGADO: ARENA **COLOR:** ANARANJADO

DATOS DE LA MUESTRA 3

Peso de la muestra 1000 gr **Pérdida de la muestra** 0.05%
Tamaño máximo # 4 **Uso:** Agregado para concreto

	Tamiz	N°	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Tamizado usando peso seco fracción fina	GRUESA	3/8"	9.500	0	0.00	0.00	100.00
		# 4	4.750	40	4.00	4.00	96.00
		# 8	2.360	42.43	4.24	8.24	91.76
	MEDIA	# 16	1.180	77.29	7.73	15.97	84.03
		# 30	0.600	150.52	15.05	31.02	68.98
		# 50	0.300	396.8	39.68	70.70	29.30
	FINA	# 100	0.150	225.32	22.53	93.24	6.76
		#200	0.074	67.18	6.72	99.95	0.05
	Cazuela	TOTAL		999.54	Modulo de finura MF=	2.23	



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES



CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ #200
(NTP 400.018)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CONCHAN

AGREGADO: ARENA

COLOR: ANARANJADO

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	73.10	73.10	73.00
Peso de tara + muestra (gr)	573.10	573.10	573.00
Peso seco de la muestra inicial (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso de tara + muestra lavada seca (gr)	547.60	541.50	545.50
Peso seco de muestra ensayada (gr)	474.50	468.40	472.50
Material que pasa la malla # 200 (gr)	25.50	31.60	27.50
Porcentaje que pasa la malla # 200	5.10%	6.32%	5.50%
Promedio (%)	5.64%		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.022)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'c=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CONCHAN

AGREGADO: ARENA

COLOR: ANARANJADO

ITEM	ENSAYO	1°	2°	3°
	Peso de la fiola (500 ml)	137.30	137.30	137.30
	Peso de la tara (gr)	73.10	73.10	73.10
	Peso final de la muestra + tara (gr)	567.90	567.90	567.90
A	Peso de la muestra seca en el horno	494.80	494.80	494.80
B	Peso de la fiola llenado con agua hasta la marca de calibración (gr)	636.30	636.30	636.30
C	P	944.60	944.60	944.60
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00
	Densidad del agua (gr/cm3)	0.998	0.998	0.998
Pem	Densidad específica de masa (gr/cm3)	2.58	2.58	2.58
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca (gr/cm3)	2.60	2.60	2.60
Pea	Densidad aparente (gr/cm3)	2.65	2.65	2.65
Ab	Absorción (%)	1.05%	1.05%	1.05%
Pem	Densidad específica de masa promedio (gr/cm3)	2.58		
PeSSS	Densidad saturada superficialmente seca promedio (gr/cm3)	2.60		
Pea	Densidad aparente promedio (gr/cm3)	2.65		
Ab	Absorción promedio (%)	1.05%		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



**PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.017)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM², CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CONCHAN - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CONCHAN


AGREGADO: ARENA **COLOR:** ANARANJADO

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.6462	1.6462	1.6462
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	5.730	5.750	5.760
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	4.084	4.1038	4.1138
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m³)	1457.12	1464.25	1467.82
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m³)	1463.06		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	1.6462	1.6462	1.6462
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	6.140	6.170	6.150
C	Volumen del molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.0028
D	Peso de la muestra (Kg)	4.4938	4.5238	4.50
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m³)	1603.41	1614.11	1606.97
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m³)	1608.16		

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
"TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS"

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



ENSAYOS DE AGREGADO GRUESO

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM2, CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO: CAJAMARCA


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES



**CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 339.185)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA

AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	248.00	248.00	248.00
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	4860.00	4630.00	4720.00
Peso de tara + muestra seca (gr)	4775.00	4542.00	4635.00
Peso de la muestra húmeda (gr)	4612.00	4382.00	4472.00
Peso de la muestra seca (gr)	4527.00	4294.00	4387.00
Porcentaje de humedad	1.88%	2.05%	1.94%
Promedio (%)	1.95%		


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TECNICO DEL LABORATORIO
MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



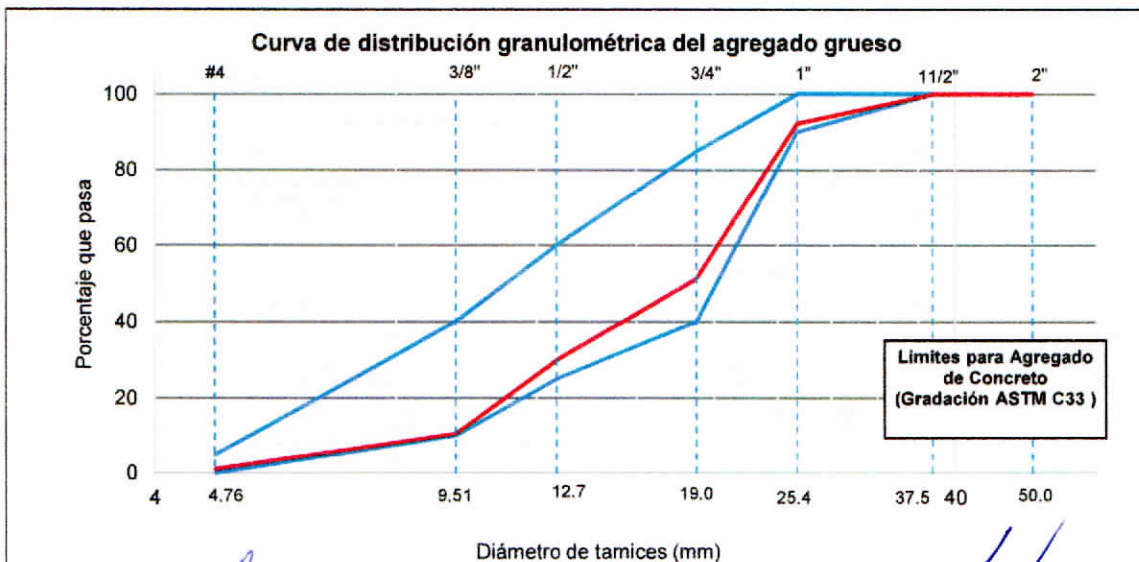
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

DATOS DE LA MUESTRA 1

Peso de la muestra	3000 gr	Pérdida de la muestra	0.10%
Tamaño máximo	1 1/2"	Uso:	Agregado para concreto

Tamiz	N°	Abertura (mm)	Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1 1/2"	37.500	0	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	230.23	7.67	7.67	92.33	92.33
3/4"	19.000	1233.45	41.12	48.79	51.21	51.21
1/2"	12.700	640.51	21.35	70.14	29.86	29.86
3/8"	9.510	579.92	19.33	89.47	10.53	10.53
# 4	4.760	286.10	9.54	99.01	0.99	0.99
CAZUELA		26.90	0.90	99.90	0.10	0.10
TOTAL		2997.11	Modulo de finura MF=			7.37



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



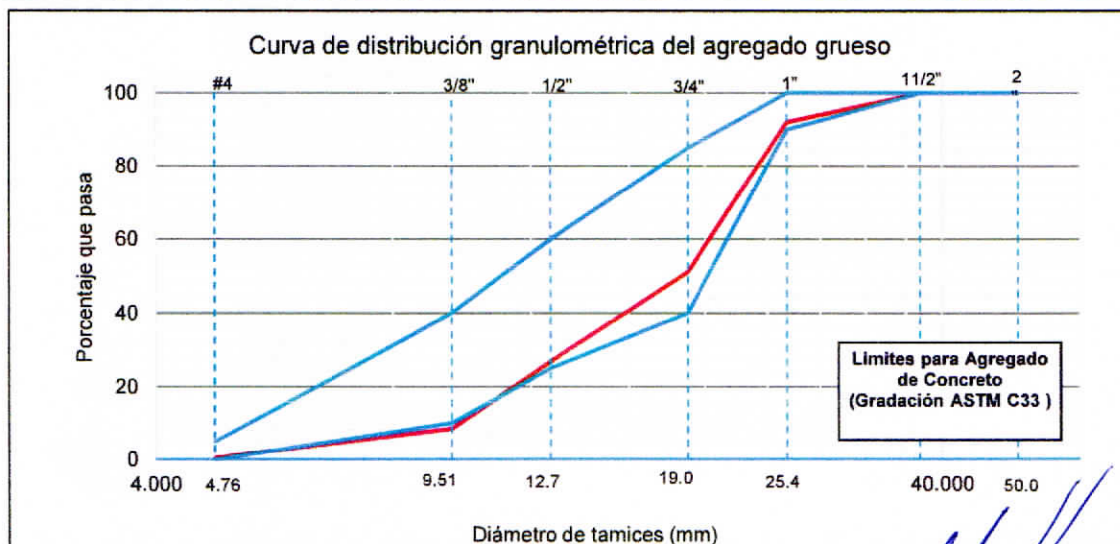
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

DATOS DE LA MUESTRA 2

Peso de la muestra	3000 gr	Pérdida de la muestra	0.03%
Tamaño máximo	1 1/2"	Uso:	Agregado para concreto

Tamiz		Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)				
2"	50.000	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	237.15	7.91	7.91	92.10
3/4"	19.000	1229.68	40.99	48.89	51.11
1/2"	12.700	723.7	24.12	73.02	26.98
3/8"	9.510	554.9	18.50	91.51	8.49
# 4	4.760	240.78	8.03	99.54	0.46
CAZUELA		12.9	0.43	99.97	0.03
TOTAL		2999.11	Modulo de finura MF=		7.40



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM 136-93 NTP 400.012

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA

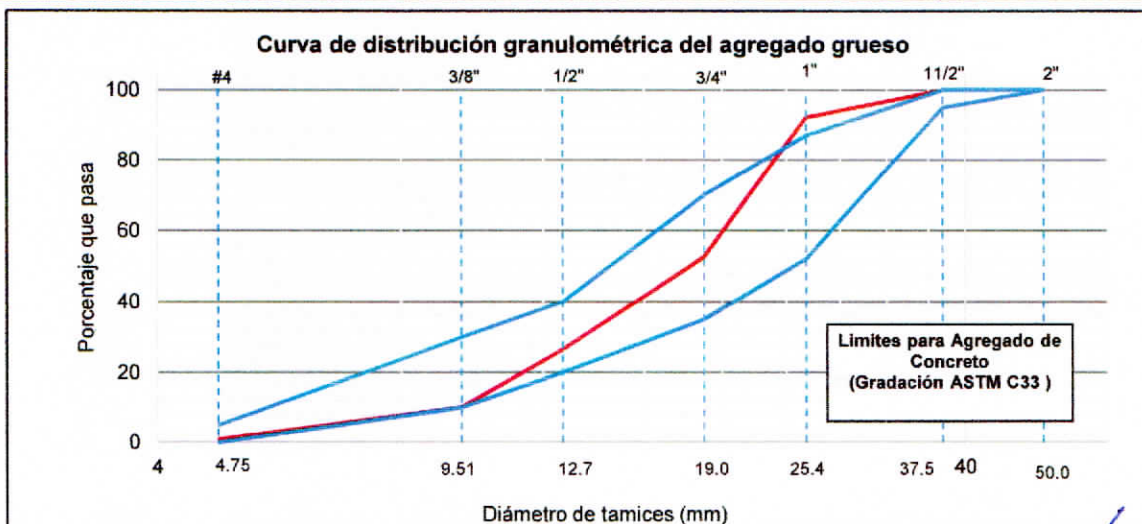
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

DATOS DE LA MUESTRA 3

Peso de la muestra 3000 gr **Pérdida de la muestra** 0.07%

Tamaño máximo 1 1/2" **Uso:** Agregado para concreto

Tamiz		Peso retenido parcial (gr)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)				
2"	50.000	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	232.22	7.74	7.74	92.26
3/4"	19.000	1188.52	39.62	47.36	52.64
1/2"	12.700	780.55	26.02	73.38	26.62
3/8"	9.510	496.85	16.56	89.94	10.06
# 4	4.760	276.35	9.21	99.15	0.85
CAZUELA		23.40	0.78	99.93	0.07
TOTAL		2997.89	Modulo de finura MF=		7.36



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 MATERIALES

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES



**CANTIDAD DE MATERIAL QUE PASA TAMIZ #200
(NTP 400.018)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA

AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

ENSAYO	1°	2°	3°
Peso de tara (gr)	888.80	888.80	888.80
Peso de tara + muestra (gr)	3888.80	3888.80	3888.80
Peso seco de la muestra inicial (gr)	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de tara + muestra lavada seca (gr)	3868.80	3868.80	3868.80
Peso seco de muestra ensayada (gr)	2980.00	2980.00	2980.00
Material que pasa la malla # 200 (gr)	20.00	20.00	20.00
Porcentaje que pasa la malla # 200	0.67%	0.67%	0.67%
Promedio (%)	0.67%		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO
 (NTP 400.022)**

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA
CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA
AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

PESO ESPECIFICO

DESCRIPCIÓN	Agregado Grueso		
	01	02	03
Muestra			
Peso del recipiente	290.00 gr	290.00 gr	290.00 gr
Peso de la muestra inicial + recipiente	5272.70 gr	5272.70 gr	5272.70 gr
Peso de la muestra seca en el aire	4982.70 gr	4982.70 gr	4982.70 gr
Peso del recipiente	290.00 gr	290.00 gr	290.00 gr
Peso de la muestra con superficie seca + recipiente	5440.00 gr	5440.00 gr	5440.00 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire	5150.00 gr	5150.00 gr	5150.00 gr
Peso en el agua de la muestra saturada	3185.80 gr	3185.80 gr	3185.80 gr
Peso del recipiente	290.00 gr	290.00 gr	290.00 gr
Peso final de la muestra + recipiente	2293.50 gr	2293.50 gr	2293.50 gr
Densidad del agua	0.99842 gr	0.99842 gr	0.998 gr/cm3
Peso específico de masa (pem)	2.53 gr/cm3	2.53 gr/cm3	2.53 gr/cm3
Promedio Peso específico de masa (pem)	2.53 gr/cm3		
Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.62 gr/cm3	2.62 gr/cm3	2.62 gr/cm3
Promedio Peso específico de masa saturada con superficie seca (PeSSS)	2.62 gr/cm3		
Peso específico aparente (Pea)	2.77 gr/cm3	2.77 gr/cm3	2.77 gr/cm3
Promedio Peso específico aparente (Pea)	2.77 gr/cm3		

Absorción Descripción	MUESTRAS		
	01	02	03
Peso del recipiente	290.00 gr	290.00 gr	290.00 gr
Peso de la muestra inicial + recipiente	2300.00 gr	2625.00 gr	2660
Peso de la muestra seca en el aire	2010.00 gr	2336.00 gr	2370
Peso de la muestra con superficie seca + recipiente	2320.00 gr	2650.00 gr	2690.00 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire	2029.00 gr	2360.00 gr	2393
Peso final de la muestra + recipiente	2293.50 gr	2615.00 gr	2380
Peso final de la muestra despues de la estufa	2003.50 gr	2325.00 gr	2340
Absorción (Ab)	0.95%	1.03%	0.97%
Absorción promedio %	0.98%		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.017)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CANTERA: CANTERA CHUYABAMBA

AGREGADO: PIEDRA CHANCADA

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.7100	4.7100	4.7100
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	17.651	17.541	17.561
C	Volumen del molde (m ³)	0.00930	0.00930	0.00930
D	Peso de la muestra (Kg)	12.941	12.8309	12.8509
	Peso unitario suelto del agregado (Kg/m³)	1391.49	1379.67	1381.82
	Peso unitario suelto promedio (Kg/m³)	1384.33		

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

ÍTEM	ENSAYO	1°	2°	3°
A	Peso del recipiente (Kg)	4.7100	4.7100	4.7100
B	Peso del recipiente + muestra (Kg)	19.100	19.197	18.906
C	Volumen del molde (m ³)	0.00930	0.00930	0.00930
D	Peso de la muestra (Kg)	14.39	14.487	14.20
	Peso unitario compactado del agregado (Kg/m³)	1547.31	1557.74	1526.45
	Peso unitario compactado promedio (Kg/m³)	1543.84		

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor

Anexo F. Diseño de mezclas



DISEÑO DE MEZCLA (MÉTODO ACI)

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM², CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO: CAJAMARCA


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio


Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO F'CR (MÉTODO ACI)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA
 RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
 UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

1 CÁLCULO DE F'cr (Resistencia Promedio Requerida)

$F'c = 350 \text{ kg/cm}^2$

a) Cuando Tenemos la Desviación Estandar

$F'cr = F'c + 1.34 * S \rightarrow (i)$

$F'cr = F'c + 2.33 * S - 35 \rightarrow (ii)$

$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$

$x_i = \text{Valores de resistencia obtenidos en probetas estándar.}$

$\bar{x} = \text{Promedio de valores de resistencia obtenidos en probetas estándar.}$

b) Cuando no Tenemos Registro de Resistencia, Correspondientes a Obras Anteriores

F'c	F'cr
Menos de 210	F'c + 70
210 - 350	F'c + 84
> 350	F'c + 98

c) Teniendo en Cuenta el Control de Calidad en la Obra

Regular o Malo	1.3*F'c a 1.5*F'c
Bueno	1.2*F'c
Excelente	1.1*F'c

$F'cr = 434 \text{ kg/cm}^2$

2 Contenido de Aire

Tamaño Máximo Nominal	1"
Contenido de Aire	1.50%

3 Contenido de Agua

Slump	4" - 1"
Contenido de Agua	193.00 lts/m3

4 Relación Agua/Cemento (Por Resistencia F'cr)

250.00	-----	0.62			
434.00	-----	X	-134.00	=	50.00
300.00	-----	0.55	0.38 - X		-0.07

$X = 0.480 \text{ A/C}$

5 Contenido de Cemento

$193.00 \text{ lts} = 0.480$
 $C = 402.08 \text{ kg}$
 Factor C = 9.46 bls

6 Peso del Agregado Grueso

$\text{Peso A.G.} = \frac{b}{b_0} * \text{Peso U.S.C.}$
 Peso A.G. 1122.37 kg

7 Volumen Absoluto

Cemento	0.131 m3
Agua	0.19327 m3
Aire	0.015 m3
A.G.	0.443 m3
Total	0.782 m3
A.F.	0.218 m3

8 Peso del Agregado Fino

Peso A.F. 561.65 kg

9 Presentación del Diseño en Estado Seco

Cemento	402.08 kg
A.F.	561.65 kg
A.G.	1122.37 kg
Agua	193.00 kg

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947



DISEÑO DE MEZCLAS PARA CONCRETO F'CR (MÉTODO ACI)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'CR=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

10 Corrección por Humedad de los Agregados

a) Agregado Fino

A.F. Final 586.81 kg

b) Agregado Grueso

A.G. Final 1144.26 kg

11 Aporte de Agua a la Mezcla

a) Agregado Fino

A.F. Final 20.13 lts

b) Agregado Grueso

A.G. Final 11.10 lts

Total 31.23 lts

12 Agua Efectiva

Agua = 161.7730 lts

13 Proporciónamiento del Diseño

	Cemento	A.G.	A.F.	Agua
	402.08 kg	1144.26 kg	586.81 kg	161.77 lts
Proporciones del Diseño	1.00	2.85	1.46	17.10 lts

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor

Anexo G. Ensayo preliminar de resistencia del concreto con aditivo y sin aditivo



GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L
PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

ENSAYOS DE ROTURA A COMPRESIÓN

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL
10,20,30 Y 40% PARA ELABORAR UN
CONCRETO FC=350 KG/CM²-CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO : CAJAMARCA

SOLICITANTE:

- CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE


JOSMARTHAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 237227

CHOTA, 2023.



GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L
PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

ANEXO I

ENSAYOS A COMPRESIÓN


JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
INGENIERO CIVIL
REG. CIP 237227

Dirección: Prolongación los Nogales N°125, Chota - Cajamarca



GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
 PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
 ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
 DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD	
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISION	
	H&M-ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		CODIGO: H&M/2023 - E.C - 03	
	DATOS DEL PROYECTO		DATOS DEL PERSONAL	
PROYECTO :	"SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30 Y 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO FC=350 KG/CM2-CHOTA"		GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DÍAZ VARGAS
UBICACIÓN :	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.		JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE :	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE		TECNICO DE LAB :	SACH. LENIN MIREZ RUIZ
DATOS				
FC	350 Kg/cm ²	LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO	

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

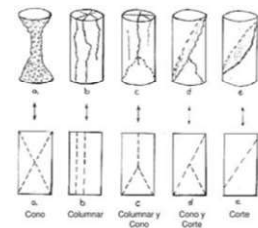
PROBETA N°	Fecha	Fecha	Edad	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro	Altura	Carga Rotura	Resistencia Maxima	Porcentaje
	Fabricación	Rotura	Días			Cm	Cm	Kg	Kg/cm ²	%
1.0	28/05/2023	04/06/2023	7.00	TESTIGO 0% ADITIVO	b	15.12	30.00	53480.00	297.85	85%
2.0	28/05/2023	04/06/2023	7.00	TESTIGO ADITIVO MÍNIMO	e	15.02	30.00	62490.00	397.15	113%
3.0	28/05/2023	04/06/2023	7.00	TESTIGO ADITIVO INTERMEDIO	b	15.09	30.00	69350.00	387.77	111%
4.0	28/05/2023	04/06/2023	7.00	TESTIGO ADITIVO MÁXIMO	b	15.12	30.00	70370.00	348.03	99%
5.0										
6.0										
7.0										
8.0										
7.0										
8.0										

OBSERVACIONES :

LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO

EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOP). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

Josmar Harold Fernández Pérez
JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP 237227

Dirección: Prolongación los Nogales N°125, Chota - Cajamarca

Anexo H. Propiedades del concreto



ENSAYOS DE PROPIEDADES DEL CONCRETO

PROYECTO:

“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350KG/CM², CHOTA”

UBICACIÓN:

- PROVINCIA : CHOTA
- DEPARTAMENTO: CAJAMARCA


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES
TÉCNICO DEL LABORATORIO

Resp. Laboratorio



Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor

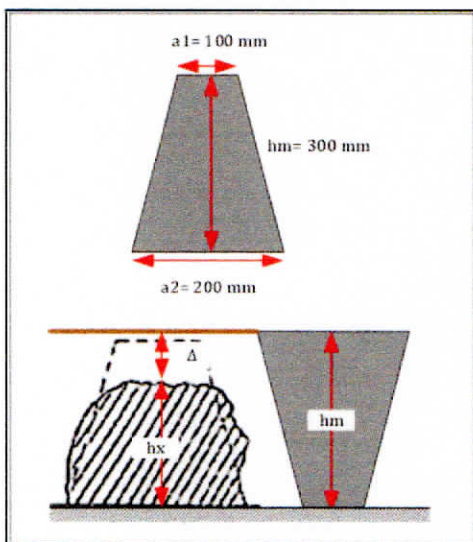


ASENTAMIENTO DEL CONCRETO
NTP 339.035

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA



PROCESO DE ENSAYO	
CAPAS	N° DE GOLPES
1	25
2	25
3	25

CONSISTENCIA EN CONO		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	
Seca	0	5.08
Plástica	7.62	10.16
Fluida	≥12.7	

MUESTRA	SLUMP		CONSISTENCIA	TEMPERATURA (°C)	
	SLUMP (cm)	SLUMP (pulg)		AMBIENTAL	MEZCLA
0% DE CAL	7.874	3.1	Plástica	18 °C	17 °C
10% DE CAL	7.6708	3.02	Plástica	18 °C	18.2 °C
20% DE CAL	7.747	3.05	Plástica	18 °C	18.5 °C
30% DE CAL	8.382	3.3	Plástica	18 °C	18.9 °C
40% DE CAL	9.144	3.6	Plástica	18 °C	19.5 °C

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 TÉCNICO LABORATORISTA
 DE MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



PESO UNITARIO DEL CONCRETO Y CONTENIDO DE AIRE
NTP 338.046 - ASMT C138

TESIS: Sustitución de cemento por cal al 10, 20, 30, 40% para elaborar un concreto $f_c=350\text{kg/cm}^2$. Chota
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BIUSTAMANTE
UBICACIÓN: CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

PESO UNITARIO DEL CONCRETO EN PROBETAS

PROBETA	DESCRIPCION	PESO MOLDE	PESO DE MOLDE + CONCRETO FRESCO	PESO DEL CONCRETO FRESCO (Kg)	DIAMETRO (CM)	ALTURA(CM)	VOLUMEN (M3)	PESO UNITARIO DEL CONCRETO FRESCO KG/M3	PESO DEL CONCRETO ENDURECIDO (Kg)	PESO UNITARIO DEL CONCRETO ENDURECIDO KG/M3
M1	0% DE CAL	0.26	13.35	13.09	15.00	30.00	0.0053	2489.14	13.06	2463.48
M2	0% DE CAL	0.27	13.51	13.24	15.00	30.00	0.0053	2497.44	13.21	2491.78
M3	0% DE CAL	0.26	13.51	13.26	15.00	30.00	0.0053	2499.32	13.22	2493.68
M4	0% DE CAL	0.26	13.39	13.13	15.00	30.00	0.0053	2476.69	13.08	2467.26
M5	0% DE CAL	0.27	13.53	13.26	15.00	30.00	0.0053	2501.21	13.22	2493.68
M6	0% DE CAL	0.27	13.4	13.13	15.00	30.00	0.0053	2476.69	13.11	2472.91
M7	0% DE CAL	0.26	13.47	13.21	15.00	30.00	0.0053	2491.78	13.19	2489.00
M8	0% DE CAL	0.27	13.54	13.27	15.00	30.00	0.0053	2503.09	13.26	2501.21
M9	0% DE CAL	0.26	13.64	13.38	15.00	30.00	0.0053	2523.84	13.34	2516.30
M10	10% DE CAL	0.27	13.51	13.24	15.00	30.00	0.0053	2497.44	13.2	2489.89
M11	10% DE CAL	0.26	13.51	13.25	15.00	30.00	0.0053	2499.32	13.21	2491.78
M12	10% DE CAL	0.26	13.55	13.29	15.00	30.00	0.0053	2506.87	13.26	2501.21
M13	10% DE CAL	0.26	13.64	13.38	15.00	30.00	0.0053	2523.84	13.34	2516.30
M14	10% DE CAL	0.25	13.51	13.26	15.00	30.00	0.0053	2501.21	13.23	2495.55
M15	10% DE CAL	0.25	13.6	13.35	15.00	30.00	0.0053	2518.18	13.33	2514.41
M16	10% DE CAL	0.25	13.48	13.23	15.00	30.00	0.0053	2495.55	13.2	2489.89
M17	10% DE CAL	0.25	13.58	13.33	15.00	30.00	0.0053	2514.41	13.3	2508.75
M18	10% DE CAL	0.25	13.65	13.4	15.00	30.00	0.0053	2527.62	13.36	2520.07
M19	20% DE CAL	0.25	13.23	12.98	15.00	30.00	0.0053	2448.39	12.93	2438.96
M20	20% DE CAL	0.26	13.04	12.78	15.00	30.00	0.0053	2410.67	12.74	2403.12
M21	20% DE CAL	0.25	13.14	12.89	15.00	30.00	0.0053	2431.42	12.84	2421.98
M22	20% DE CAL	0.27	13.21	12.94	15.00	30.00	0.0053	2440.85	12.89	2431.42
M23	20% DE CAL	0.26	13.05	12.79	15.00	30.00	0.0053	2412.55	12.75	2405.01
M24	20% DE CAL	0.26	13.13	12.87	15.00	30.00	0.0053	2427.64	12.82	2418.21
M25	20% DE CAL	0.27	13.13	12.86	15.00	30.00	0.0053	2425.78	12.81	2416.33
M26	20% DE CAL	0.27	13.12	12.85	15.00	30.00	0.0053	2423.87	12.79	2412.55
M27	20% DE CAL	0.27	13.18	12.91	15.00	30.00	0.0053	2435.19	12.85	2423.87
M28	30% DE CAL	0.26	13.19	12.93	15.00	30.00	0.0053	2438.96	12.88	2429.53
M29	30% DE CAL	0.26	13.05	12.79	15.00	30.00	0.0053	2412.55	12.73	2401.24
M30	30% DE CAL	0.26	13.09	12.83	15.00	30.00	0.0053	2420.10	12.77	2408.78
M31	30% DE CAL	0.25	13.14	12.89	15.00	30.00	0.0053	2431.42	12.82	2418.21
M32	30% DE CAL	0.27	13.21	12.94	15.00	30.00	0.0053	2440.85	12.88	2429.53
M33	30% DE CAL	0.26	13.2	12.94	15.00	30.00	0.0053	2440.85	12.89	2431.42
M34	30% DE CAL	0.26	13.13	12.87	15.00	30.00	0.0053	2427.64	12.82	2418.21
M35	30% DE CAL	0.26	13.11	12.85	15.00	30.00	0.0053	2423.87	12.79	2412.55
M36	30% DE CAL	0.26	13.11	12.85	15.00	30.00	0.0053	2423.87	12.8	2414.44
M37	40% DE CAL	0.25	12.9	12.65	15.00	30.00	0.0053	2386.15	12.51	2359.74
M38	40% DE CAL	0.26	12.89	12.63	15.00	30.00	0.0053	2382.37	12.45	2346.42
M39	40% DE CAL	0.26	12.98	12.72	15.00	30.00	0.0053	2399.35	12.56	2369.17
M40	40% DE CAL	0.27	13.02	12.75	15.00	30.00	0.0053	2405.01	12.59	2374.83
M41	40% DE CAL	0.27	13.06	12.79	15.00	30.00	0.0053	2412.55	12.61	2378.60
M42	40% DE CAL	0.25	12.86	12.61	15.00	30.00	0.0053	2378.60	12.46	2350.31
M43	40% DE CAL	0.25	12.86	12.61	15.00	30.00	0.0053	2378.60	12.54	2365.40
M44	40% DE CAL	0.27	13.02	12.75	15.00	30.00	0.0053	2405.01	12.68	2391.80
M45	40% DE CAL	0.26	12.96	12.7	15.00	30.00	0.0053	2395.58	12.59	2374.83

CONTENIDO DE AIRE (OLLA WASHINGTON)	
0% DE CAL	1.42%
10% DE CAL	1.43%
20% DE CAL	1.41%
30% DE CAL	1.40%
40% DE CAL	1.38%

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS
TÉCNICO DEL LABORATORIO

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



ABSORCIÓN DEL CONCRETO
NTP 399.602 (INACAL, 2018)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CONCRETO CON 0% DE CAL			
Bloque de concreto	Peso sumersión (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	1478	1320	11.97
2	1480	1323	11.87
3	1473	1322	11.42
Promedio	1477	1322	11.75

CONCRETO CON 10% DE CAL			
Bloque de concreto	Peso sumersión (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	1465	1329	10.23
2	1475	1325	11.32
3	1474	1328	10.99
Promedio	1471	1327	10.85

CONCRETO CON 20% DE CAL			
Bloque de concreto	Peso sumersión (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	1415	1282	10.37
2	1418	1285	10.35
3	1410	1280	10.16
Promedio	1414	1282	10.29

CONCRETO CON 30% DE CAL			
Bloque de concreto	Peso sumersión (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	1405	1284	9.42
2	1406	1280	9.84
3	1405	1280	9.77
Promedio	1405	1281	9.68

CONCRETO CON 40% DE CAL			
Bloque de concreto	Peso sumersión (g)	Peso seco (g)	Absorción (%)
1	1362	1256	8.44
2	1358	1255	8.21
3	1360	1257	8.19
Promedio	1360	1256	8.28

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
TÉCNICO DEL LABORATORIO
DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



EFLORESCENCIA DEL CONCRETO
NTP 331.017 (INACAL, 2016)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO FC=350KG/CM2, CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CONCRETO CON 0% CAL												
N° de unidades	Cara	Medidas (cm)		Medidas de eflorescencia (cm)		Área de cilindro	Área de eflorescencia	Porcentaje parcial de eflorescencia	Porcentaje total de eflorescencia	Intensidad de velo	Eflorescencia	
		Radio	Alto	Largo	Ancho							
1	28	Base superior	15		3,5	3,5	47.12	12.25	25.00	22.687	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	22	4	942.48	276.46	29.33			
		Base inferior	15		3	2	47.12	6	12.732			
2	29	Base superior	15		3,5	3,2	47.12	11.2	23.77	22.215	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	24	3,8	942.48	286.51	30.40			
		Base inferior	15		2,8	2,1	47.12	5.88	12.478			
3	30	Base superior	15		3,1	3	47.12	9.3	19.74	24.517	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	20	6	942.48	378.99	40.00			
		Base inferior	15		3,1	2,1	47.12	6.51	13.815			
		Circunferencia	94.248									

CONCRETO CON 10% CAL												
N° de unidades	Cara	Medidas (cm)		Medidas de eflorescencia (cm)		Área de cilindro	Área de eflorescencia	Porcentaje parcial de eflorescencia	Porcentaje total de eflorescencia	Intensidad de velo	Eflorescencia	
		Radio	Alto	Largo	Ancho							
1	28	Base superior	15		3	2,5	47.12	7.5	15.92	12.579	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	20	2	942.48	125.66	13.33			
		Base inferior	15		2	2	47.12	4	8.488			
2	29	Base superior	15		3,1	2,2	47.12	6.82	14.47	14.045	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	21	2,8	942.48	164.73	19.00			
		Base inferior	15		2	1,9	47.12	3.8	8.064			
3	30	Base superior	15		3,1	2,3	47.12	7.13	15.13	14.227	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	18	3	942.48	169.65	18.00			
		Base inferior	15		2,5	1,8	47.12	4.5	9.549			
		Circunferencia	94.248									

CONCRETO CON 20% CAL												
N° de unidades	Cara	Medidas (cm)		Medidas de eflorescencia (cm)		Área de cilindro	Área de eflorescencia	Porcentaje parcial de eflorescencia	Porcentaje total de eflorescencia	Intensidad de velo	Eflorescencia	
		Radio	Alto	Largo	Ancho							
1	28	Base superior	15		3,1	2	47.12	6.2	13.16	11.369	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	19	1,8	942.48	107.44	11.40			
		Base inferior	15		2,5	1,8	47.12	4.5	9.549			
2	29	Base superior	15		3	1,8	47.12	5.4	11.46	10.695	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	19	2	942.48	119.38	12.67			
		Base inferior	15		2,5	1,5	47.12	3.75	7.958			
3	30	Base superior	15		3,5	1,8	47.12	6.3	13.37	11.301	Velo grueso	Ligeramente eflorescido
		Superficie lateral	15	10	17	2,5	942.48	133.52	14.17			
		Base inferior	15		2	1,5	47.12	3	6.366			
		Circunferencia	94.248									

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES
TÉCNICO DE LABORATORIO DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
Ingeniero Civil
CIP 181947

Asesor



EFLORESCENCIA DEL CONCRETO
NTP 331.017 (INACAL, 2016)

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c=350KG/CM², CHOTA
RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE
UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA

CONCRETO CON 20% CAL												
N° de unidades	Cara	Medidas (cm)		Medidas de eflorescencia (cm)		Área de cilindro	Área de eflorescencia	Porcentaje parcial de eflorescencia	Porcentaje total de eflorescencia	Intensidad de velo	Eflorescencia	
		Radio	Alto	Largo	Ancho							
1	28	Base superior	15		3	1.5	47.12	4.5	9.55	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	18.7	1.5	942.48	88.12	9.35			9.165
		Base inferior	15		2.7	1.5	47.12	4.05	8.594			
2	29	Base superior	15		2.7	1.6	47.12	4.32	9.17	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	18.7	1.5	942.48	88.12	9.35			8.648
		Base inferior	15		2.5	1.4	47.12	3.5	7.427			
3	30	Base superior	15		3	1.6	47.12	4.8	10.19	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	17	1.8	942.48	96.13	10.20			8.974
		Base inferior	15		2.2	1.4	47.12	3.08	6.536			
		Circunferencia	94.248									

CONCRETO CON 40% CAL												
N° de unidades	Cara	Medidas (cm)		Medidas de eflorescencia (cm)		Área de cilindro	Área de eflorescencia	Porcentaje parcial de eflorescencia	Porcentaje total de eflorescencia	Intensidad de velo	Eflorescencia	
		Radio	Alto	Largo	Ancho							
1	28	Base superior	15		2.9	1.1	47.12	3.19	6.77	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	18.5	1	942.48	58.12	6.17			6.434
		Base inferior	15		2.5	1.2	47.12	3	6.386			
2	29	Base superior	15		2.5	1.2	47.12	3	6.37	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	18.6	1.1	942.48	64.28	6.82			6.433
		Base inferior	15		2.4	1.2	47.12	2.88	6.112			
3	30	Base superior	15		2.9	1.1	47.12	3.19	6.77	Velo fino	No eflorecido	
		Superficie lateral	15	10	18.9	1	942.48	53.09	5.63			6.256
		Base inferior	15		2.5	1.2	47.12	3	6.386			
		Circunferencia	94.248									

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

 TÉCNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

Resp. Laboratorio

Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947

Asesor



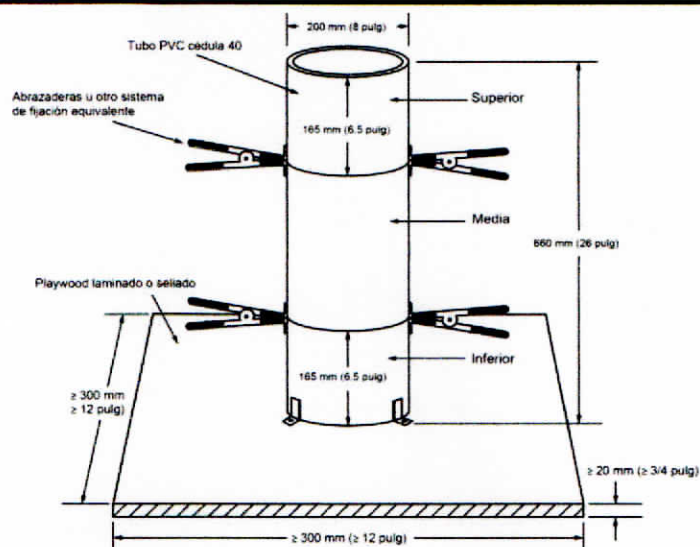
SEGREGACIÓN DEL CONCRETO

NTP 339.218

TESIS: SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'C=350KG/CM2, CHOTA

RESPONSABLE: CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHOTA - CHOTA - CAJAMARCA



Índice de segregación (SR)	Estabilidad de la mezcla (%)
Pd<5%	Estable
5%-20%	Moderadamente estable
≥20%	Inestable

Grado de segregación (S)	
<0.5%	Resistente
0.5%-5%	Moderadamente resistente
≥5%	No resistente

GRADO DE SEGREGACIÓN (S) DEL CONCRETO									
	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	CAB (parte inferior) kg	CAT (parte superior) kg	Segregación (S) %	CAB	CAT	Segregación (S) %	CAB	CAT	Segregación (S) %
0% DE CAL	6.24	6.00	3.92	6.24	6.01	3.76	6.24	6.00	3.92
10% DE CAL	6.23	6.05	2.93	6.23	6.04	3.10	6.23	6.06	2.77
20% DE CAL	6.23	6.10	2.11	6.23	6.10	2.11	6.23	6.11	1.94
30% DE CAL	6.22	6.15	1.13	6.23	6.16	1.13	6.23	6.15	1.29
40% DE CAL	6.22	6.20	0.32	6.22	6.20	0.32	6.22	6.19	0.48

Nota: CAT masa de agregado grueso en la parte superior de la columna, CAB masa de agregado grueso en la parte inferior de la columna

ÍNDICE DE SEGREGACIÓN (SR) DEL CONCRETO									
	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
	CC (total) kg	CAT (parte superior) kg	índice (SR) %	CC (total) kg	CAT (parte superior) kg	índice (SR) %	CC (total) kg	CAT (parte superior) kg	índice (SR) %
0% DE CAL	36.00	6.00	16.67	36.05	6.01	16.67	36.03	6.00	16.65
10% DE CAL	36.50	6.05	16.58	36.54	6.04	16.53	36.60	6.06	16.56
20% DE CAL	37.00	6.10	16.49	37.08	6.10	16.45	37.02	6.11	16.50
30% DE CAL	37.50	6.15	16.40	37.52	6.16	16.42	37.51	6.15	16.40
40% DE CAL	38.00	6.20	16.32	38.03	6.20	16.30	38.10	6.19	16.25

Nota: CAT masa de agregado grueso en la parte superior de la columna, CC masa del árido medio (grueso+fino) en toda la pieza

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
 Resp. Laboratorio
 CLÍNICO DEL LABORATORIO
 DE MATERIALES Y ESTRUCTURAS

[Signature]
 Dante Hartman Cieza León
 Ingeniero Civil
 CIP 181947
 ASESOR



GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

ENSAYOS A COMPRESIÓN.

PROYECTO:

**“SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10,
20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO
F'C=350 KG/CM2 CHOTA”**

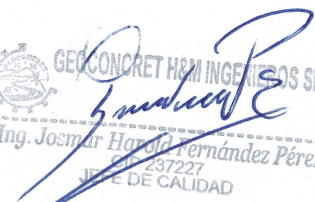
UBICACIÓN:

- **PROVINCIA : CHOTA**
- **DEPARTAMENTO : CAJAMARCA**

SOLICITANTE:

- **CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE**

CHOTA, 2023.


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
Ing. Josmar Haroldo Fernández Pérez
C.R. 237227
JEFE DE CALIDAD

Dirección: Prolongación los Nogales N° 125, Chota - Cajamarca

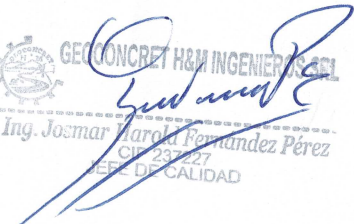


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.


PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

ANEXO I

ENSAYOS A COMPRESIÓN


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
Ing. Josmar Haroldo Fernández Pérez
CIP 237227
IEEE DE CALIDAD

Dirección: Prolongación los Nogales N° 125, Chota - Cajamarca

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD	
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISIÓN	
	H&M-ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		CODIGO:	H&M/2023-E.C-05
DATOS DEL PROYECTO			DATOS DEL PERSONAL	
PROYECTO :	SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO FC=350 KG/CM2 CHOTA*		GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS
UBICACIÓN :	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.		JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE :	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE		TECNICO DE LAB. :	BACH. LENNY MIREZ RUIZ
DATOS			LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO
FC	350 Kg/cm2			

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

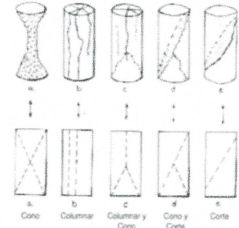
PROBETA	Fecha	Fecha	Edad	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro	Altura	Carga Rotura	Resistencia Maxima	Porcentaje
N°	Fabricación	Rotura	Días			Cm	Cm	Kg	Kg/cm2	%
1.0	07/06/2023	14/06/2023	7.00	M43 40% DE CAL	b	15.00	30.20	19530.00	110.52	32%
2.0	07/06/2023	14/06/2023	7.00	M44 40% DE CAL	b	15.00	30.20	17350.00	98.18	28%
3.0	07/06/2023	14/06/2023	7.00	M45 40% DE CAL	b	15.00	30.10	15480.00	87.60	25%
4.0	07/06/2023	21/06/2023	14.00	M40 40% DE CAL	b	15.00	30.10	21740.00	123.02	35%
5.0	07/06/2023	21/06/2023	14.00	M41 40% DE CAL	b	15.00	30.30	21918.00	124.03	35%
6.0	07/06/2023	21/06/2023	14.00	M42 40% DE CAL	b	15.00	30.20	22280.00	126.08	36%
7.0	07/06/2023	05/07/2023	28.00	M37 40% DE CAL	b	15.00	30.20	24120.00	136.49	39%
8.0	07/06/2023	05/07/2023	28.00	M38 40% DE CAL	b	15.00	30.10	23490.00	132.93	38%
9.0	07/06/2023	05/07/2023	28.00	M39 40% DE CAL	b	15.00	30.10	23997.00	135.79	39%

OBSERVACIONES :


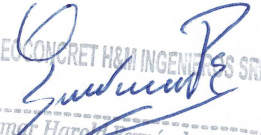
LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y NO CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO

EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOP). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

 Ing. Josmar Harold Fernández Pérez
 CIP 237227
 JEFE DE CALIDAD

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD		
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISIÓN		
	H&M-ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		CODIGO:	H&M/2023- E.C- 04	
DATOS DEL PROYECTO			DATOS DEL PERSONAL		
PROYECTO :	"SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c=350 KG/CM2 CHOTA"			GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS
UBICACIÓN :	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.			JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE :	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE			TECNICO DE LAB :	BACH. LENIN MIREZ RUIZ
DATOS					
F'c	350 Kg/cm2			LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

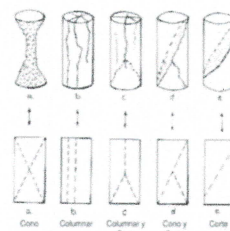
PROBETA	Fecha	Fecha	Edad	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro	Altura	Carga Rotura	Resistencia Maxima	Porcentaje
N°	Fabricación	Rotura	Días			Cm	Cm	Kg	Kg/cm2	%
1.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M34 30% DE CAL	c	15.00	30.00	30610.00	173.22	49%
2.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M35 30% DE CAL	c	15.00	30.20	34190.00	193.48	55%
3.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M36 30% DE CAL	c	15.00	30.10	30780.00	174.18	50%
4.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M31 30% DE CAL	b	15.00	30.20	34780.00	196.81	56%
5.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M32 30% DE CAL	b	15.00	30.10	35103.00	198.64	57%
6.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M33 30% DE CAL	b	15.00	30.20	34530.00	195.40	56%
7.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M28 30% DE CAL	b	15.00	30.10	36570.00	206.94	59%
8.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M29 30% DE CAL	b	15.00	30.00	39271.00	222.23	63%
9.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M30 30% DE CAL	b	15.00	30.30	38690.00	218.94	63%

OBSERVACIONES :

LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y NO CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO


EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOPI). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
 Ing. Josmar Harold Fernández Pérez
 C.R. 237227
 JEFE DE CALIDAD

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD	
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISIÓN	
	H&M-ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		CODIGO:	H&M/2023- E.C - 03
DATOS DEL PROYECTO			DATOS DEL PERSONAL	
PROYECTO :	"SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c=350 KG/CM2 CHOTA"		GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS
UBICACIÓN :	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.		JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE :	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE		TECNICO DE LAB :	BACH. LENIN MIREZ RUIZ
DATOS				
FC	350 Kg/cm ²		LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

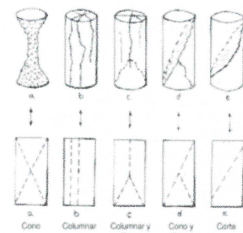
PROBETA	Fecha	Fecha	Edad	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro	Altura	Carga Rotura	Resistencia Maxima	Porcentaje
N°	Fabricación	Rotura	Días			Cm	Cm	Kg	Kg/cm ²	%
1.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M25 20% DE CAL	c	15.00	30.00	35700.00	202.02	58%
2.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M26 20% DE CAL	c	15.00	30.10	35880.00	203.04	58%
3.0	06/06/2023	13/06/2023	7.00	M27 20% DE CAL	c	15.00	30.30	36940.00	209.04	60%
4.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M22 20% DE CAL	b	15.00	30.20	39790.00	225.16	64%
5.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M23 20% DE CAL	b	15.00	30.10	39730.00	224.83	64%
6.0	06/06/2023	20/06/2023	14.00	M24 20% DE CAL	b	15.00	30.30	41200.00	233.14	67%
7.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M19 20% DE CAL	b	15.00	30.00	46080.00	260.76	75%
8.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M20 20% DE CAL	b	15.00	30.20	45853.00	259.47	74%
9.0	06/06/2023	04/07/2023	28.00	M21 20% DE CAL	b	15.00	30.30	45280.00	256.23	73%

OBSERVACIONES :


LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y NO CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO


EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOPI). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
 Ing. Josmar Harold Fernández Pérez
 CIP 237227
 JEFE DE CALIDAD

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD		
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISIÓN		
	H&M-ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		CODIGO:	H&M/2023-E.C-01	
DATOS DEL PROYECTO			DATOS DEL PERSONAL		
PROYECTO :	* SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c=350 KG/CM2 CHOTA*			GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS
UBICACIÓN :	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.			JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE :	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE			TECNICO DE LAB :	BACH. LENIN MIREZ RUIZ
DATOS					
F'c	350 Kg/cm2		LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO	

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

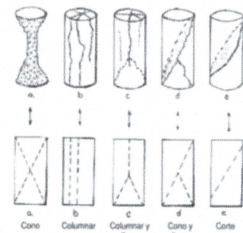
PROBETA N°	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad Días	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro Cm	Altura Cm	Carga Rotura Kg	Resistencia Maxima Kg/cm2	Porcentaje %
1.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M7 0% DE CAL	e	15.00	30.00	49710.00	281.30	80%
2.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M8 0% DE CAL	e	15.00	30.00	48900.00	276.72	79%
3.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M9 0% DE CAL	b	15.00	30.00	55730.00	315.37	90%
4.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M4 0% DE CAL	b	15.00	30.10	60130.00	340.27	97%
5.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M5 0% DE CAL	b	15.00	30.20	58500.00	331.04	95%
6.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M6 0% DE CAL	b	15.00	30.30	58180.00	329.23	94%
7.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M1 0% DE CAL	b	15.00	30.30	65570.00	371.05	106%
8.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M2 0% DE CAL	b	15.00	30.20	67570.00	382.37	109%
9.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M3 0% DE CAL	b	15.00	30.10	66510.00	376.37	108%

OBSERVACIONES :



LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO


EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOPI). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

 Ing. Josmar Harold Fernández Pérez
 237227
 JEFE DE CALIDAD

	GEOCONCRET H&M - INGENIEROS S.R.L.		OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD	
	FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD		FECHA EMISIÓN:	
DATOS DEL PROYECTO		CODIGO:	HRM/2023- E.C - 02	
PROYECTO:	* SUSTITUCIÓN DE CEMENTO POR CAL AL 10, 20, 30, 40% PARA ELABORAR UN CONCRETO F'c=350 KG/CM2 CHOTA*		GERENTE GENERAL:	ING. MARISOL DIAZ VARGAS
UBICACIÓN:	PROVINCIA:CHOTA, DEPARTAMENTO: CAJAMARCA.		JEFE DE LABORATORIO:	ING. JOSMAR HAROLD FERNÁNDEZ PÉREZ
SOLICITANTE:	CLEVER WILSON IRIGOIN BUSTAMANTE		TECNICO DE LAB :	BACH. LENIN MIREZ RUJIZ
DATOS				
F'c	350 Kg/cm2		LUGAR DE PRUEBA	LABORATORIO

STANDARD TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS METODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESION DE MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO A.S.T.M. C 39

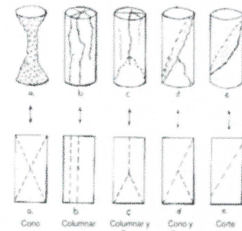
PROBETA N°	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad Días	IDENTIFICACIÓN	TIPO	Diametro	Altura	Carga Rotura	Resistencia Maxima	Porcentaje
						Cm	Cm	Kg	Kg/cm2	
1.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M16 10% DE CAL	b	15.00	30.00	43850.00	248.14	71%
2.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M17 10% DE CAL	b	15.00	30.00	49590.00	280.62	80%
3.0	05/06/2023	12/06/2023	7.00	M18 10% DE CAL	b	15.00	30.00	42986.00	243.25	70%
4.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M13 10% DE CAL	b	15.00	30.10	57180.00	323.57	92%
5.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M14 10% DE CAL	b	15.00	30.20	58153.00	329.08	94%
6.0	05/06/2023	19/06/2023	14.00	M15 10% DE CAL	b	15.00	30.30	57959.00	327.98	94%
7.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M10 10% DE CAL	b	15.00	30.20	66510.00	376.37	108%
8.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M11 10% DE CAL	b	15.00	30.30	65750.00	372.07	106%
9.0	05/06/2023	03/07/2023	28.00	M12 10% DE CAL	b	15.00	30.10	66515.00	376.40	108%

OBSERVACIONES :


LAS MUESTRAS DE TESTIGOS DE CONCRETO, HAN SIDO ALCANZADOS E IDENTIFICADOS POR EL SOLICITANTE Y CUMPLEN CON EL PORCENTAJE MÍNIMO REQUERIDO

EDAD	PORCENTAJE DE RESISTENCIA MINIMA OBTENIDA
3 DÍAS	50.0%
7 DÍAS	70.0%
14 DÍAS	85.0%
28 DÍAS	100.0%

TIPOS DE ROTURA	
a	Cono
b	Columnar
c	Columnar y Cono
d	Cono y Corte
e	Corte



Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOPI). Derechos Reservados GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.



GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
 Ing. Josmar Harold Fernández Pérez
 CH 01227
 JEFE DE CALIDAD

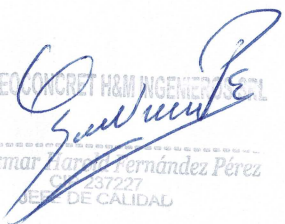


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

PROYECTOS DE INGENIERIA, SUPERVISION DE CONTROL DE CALIDAD, ESTUDIOS GEOTECNICOS,
ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS, TECNOLOGIA DEL CONCRETO, TECNOLOGIA DEL ASFALTO, DISEÑO
DE PAVIMENTOS Y ALQUILER DE EQUIPOS.

ANEXO II

CERTIFICADO DE INDECOPI Y CALIBRACIÓN


GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
Ing. Josmar HERNÁNDEZ PÉREZ
C. 237227
JEFE DE CALIDAD

Dirección: Prolongación los Nogales N° 125, Chota - Cajamarca



PERÚ

Presidencia
del Consejo de Ministros

INDECOPI



Firmado digitalmente por:
CHUEZ SALAZAR Sergio Jean Piere FAU
20133840533 hard
Fecha: 15/06/2023 14:41:53-0500

Registro de la Propiedad Industrial

Dirección de Signos Distintivos

CERTIFICADO N° 00148026

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 014480-2023/DSD - INDECOPI de fecha 09 de junio de 2023, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L. y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Clase : 42 de la clasificación Internacional.

Solicitud : 0015100-2023

Titular : GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.

País : Perú

Vigencia : 09 de junio de 2033

Distingue : Servicios de laboratorios científicos; análisis del agua; servicios de arquitectura, investigación técnica; ensayo de materiales; peritajes geológicos; ingeniería; investigación geológica; control de calidad; peritajes [trabajos de ingenieros]



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por Indecopi, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web.

<https://enlinea.indecopi.gob.pe/verificador>



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA-F-075-2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 4

- Expediente** 0367
- Solicitante** GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L.
- Dirección** PASAJE LOS NOGALES 125 - CHOTA - CAJAMARCA
- Instrumento calibrado** MÁQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL (PRENSA CONCRETO)
Marca PERUTEST
Modelo PC-120
N° de serie 1088
Identificación No indica
Procedencia Perú
Intervalo de indicación 0 kgf a 120000 kgf
Resolución 10 kgf
Clase de exactitud No indica
Modo de fuerza Compresion
Indicador Digital

Marca	HIWEIGH	Serie	No indica
Modelo	315-X6P	Resolución	10 kgf
Transductor de Presión			
Marca	ZEMIC	Serie	1343
Modelo	YB15		
- Fecha de calibración** 2023-07-15

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2023-07-21

Jefe de Laboratorio





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA-F-075-2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 4

6. Método de calibración

La calibración se realiza por comparación directa entre el valor de fuerza indicada en el dispositivo indicador de la máquina a ser calibrada y la indicación de fuerza real tomada del instrumento de medición de fuerza patrón siguiendo la PC-032 "Procedimiento para la calibración de máquinas de ensayos uniaxiales" Edición 01 del INACAL - DM

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Suelo y Concreto de GEOCONCRET H&M INGENIEROS S.R.L. ubicado en Pasaje Los Nogales 125 - Chota - Cajamarca

8. Condiciones de calibración

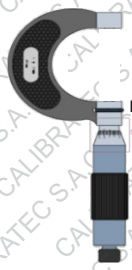
	Inicial	Final
Temperatura	28,5 °C	28,5 °C
Humedad relativa	58 %	58 %

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PUCP	Celda de carga de 150 t con una incertidumbre de 271 kg	INF-LE N° 093-23 B

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- El instrumento a calibrar no indica la clase, sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase 1 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA-F-075-2023

Página 3 de 4

11. Resultados de medición

Indicación de la máquina de ensayo		Indicación del transductor de fuerza patrón					Promedio	Error de medición
		1ra Serie	2da Serie	3ra Serie		4ta Serie Accesorios		
		Ascenso kgf	Ascenso kgf	Ascenso kgf	Descenso kgf	Ascenso kgf		
%	kgf						kgf	kgf
10	10000	10066	10056	10046	--	--	10056	-56
20	20000	19969	19959	19959	--	--	19962	38
30	30000	30105	30085	30095	--	--	30095	-95
40	40000	40116	40106	40096	--	--	40106	-106
50	50000	50131	50111	50131	--	--	50125	-125
60	60000	60051	60031	60051	--	--	60044	-44
70	70000	69885	69845	69905	--	--	69878	122
80	80000	80064	80014	79963	--	--	80014	-14
90	90000	90046	90036	89986	--	--	90023	-23
100	100000	100093	100083	100043	--	--	100073	-73

Indicación de la máquina de ensayo		Errores relativos de medición					Incertidumbre de medición relativa
		Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad	Resolución relativa	Error con accesorios	
		q %	b %	v %	a %	%	
%	kgf						%
10	10000	-0,56	0,20	--	0,10	--	0,96
20	20000	0,19	0,05	--	0,05	--	0,54
30	30000	-0,32	0,07	--	0,03	--	0,42
40	40000	-0,26	0,05	--	0,03	--	0,36
50	50000	-0,25	0,04	--	0,02	--	0,34
60	60000	-0,07	0,03	--	0,02	--	0,32
70	70000	0,17	0,09	--	0,01	--	0,31
80	80000	-0,02	0,13	--	0,01	--	0,31
90	90000	-0,03	0,07	--	0,01	--	0,30
100	100000	-0,07	0,05	--	0,01	--	0,30

Clase de la escala de la máquina de ensayo	Valor máximo permitido (ISO 7500 - 1)				
	Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad	Resolución relativa	Cero f0
	q %	b %	v %	a %	%
0,5	± 0,50	0,5	± 0,75	± 0,25	± 0,05
1	± 1,00	1,0	± 1,50	± 0,50	± 0,10
2	± 2,00	2,0	± 3,00	± 1,00	± 0,20
3	± 3,00	3,0	± 4,50	± 1,50	± 0,30

MAXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f ₀)	0,00 %
--	--------



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA-F-075-2023

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 4 de 4

12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

FIN DEL DOCUMENTO