

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DEL ELEMENTO
DE CONCRETO EN LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN”**

TESIS
PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTOR

Bach. ALTAMIRANO GUEVARA, Kevin Erwin

ASESOR:

Dr. Ing. MOSQUEIRA MORENO, Miguel Angel

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** KEVIN ERWIN ALTAMIRANO GUEVARA

DNI: 70757651

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO

Facultad: DE INGENIERÍA

3. **Grado académico o título profesional**

Bachiller

Título profesional

Segunda especialidad

Maestro

Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

Tesis

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DEL ELEMENTO DE CONCRETO EN LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN

6. **Fecha de evaluación:** 16/10/2024

7. **Software antiplagio:**

TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 22%

9. **Código Documento: Oid:** 3117:393362924

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 16/10/2024



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



Dra. Yvonne Katherine Fernández León

DIRECTORA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecer a Dios, por haberme dado la fortaleza y perseverancia necesarias para alcanzar esta meta tan importante en mi vida, su guía y protección han sido fundamentales en cada paso de este camino.

Agradecer a mis padres, Otilia y Alberto, por su apoyo incondicional sobre el cual he construido mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, a mi hermano Steven, quien ha sido para mí un ejemplo de dedicación y constancia, sus consejos y su experiencia han sido una fuente de inspiración invaluable a lo largo de este proceso y a mis abuelos por su cariño y ejemplo de trabajo.

Agradecer a mi asesor, el Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por guiarme con paciencia y compartir su vasto conocimiento. Su orientación fue clave para el desarrollo de mi tesis.

De manera especial agradecer al Ing. Dante Hartman Cieza León, cuya guía fue crucial en la dirección y enfoque de esta investigación.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una manera u otra, contribuyeron a la realización de este trabajo, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Cada palabra de aliento, cada gesto de apoyo, ha sido fundamental para alcanzar este logro.

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud dedico esta tesis a mi madre, María Otilia Guevara Piedra, que con su amor infinito ha sido mi refugio en los momentos más difíciles, su sacrificio constante, es la fuerza que me impulsa a seguir adelante.

Gracias, madre, por estar siempre a mi lado, por creer en mí cuando yo mismo dudaba, y por enseñarme con tu ejemplo el valor del coraje, la perseverancia y el esfuerzo. Tu cariño incondicional y tu fortaleza son mi mayor inspiración.

Este logro es tanto tuyo como mío, porque sin tu apoyo y dedicación, este sueño no se habría hecho realidad.

INDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA.....	ii
INDICE.....	iii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Hipótesis	2
1.3.1. Definición de variables.....	2
1.4. Justificación de la investigación	3
1.5. Viabilidad de la investigación.....	3
1.6. Alcances o delimitaciones de la investigación	3
1.7. Limitaciones.....	4
1.8. Objetivo de la investigación	4
1.8.1. Objetivo General:	4
1.8.2. Objetivos específicos:	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes teóricos de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales	6
2.1.3. Antecedentes locales	6
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. El concreto	7

2.2.2. El cemento Portland.....	9
2.2.3. Agregados	10
2.2.4. Agua.....	12
2.2.5 Proceso de Carbonatación del Concreto	12
2.2.6 Proceso de Carbonatación acelerada del concreto.....	13
2.2.7 Humedad relativa en el proceso de carbonatación.....	14
2.2.8 Fenolftaleína como indicador de carbonatación en el concreto.....	14
2.2.9 Métodos para evaluar el grado de carbonatación del concreto	14
2.2.10 Carbonatación del concreto en un contexto mundial.....	15
2.3. Definición de términos básicos	16
CAPÍTULO III	17
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Ubicación geográfica.....	17
3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación	17
3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados	18
3.2. Tiempo de realización de la investigación	18
3.3. Metodología	19
3.3.1. Tipo, nivel, diseño y métodos de investigación	19
3.3.2. Población de estudio.....	19
3.3.3. Muestra.....	19
3.3.4. Unidad de análisis	20
3.4. Procedimiento de la investigación	21
3.4.1. Procedimiento para el ensayo de carbonatación acelerada del concreto.....	23
3.4.2. Selección de cemento.....	24
3.4.3. Selección de agregados	24
3.4.4. Método de cuarteo.....	24
3.4.5. Análisis granulométrico de agregados	25

3.4.6. Peso específico y absorción del agregado grueso	26
3.4.7. Peso específico y absorción del agregado fino.....	27
3.4.8. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados.....	29
3.4.9. Cantidad de material más fino que pasa por el tamiz N°200	30
3.4.10. Contenido de humedad	31
3.4.11. Resistencia al desgaste o abrasión	32
3.4.12. Diseño de mezcla.....	33
3.4.13. Ajuste del diseño de mezcla	35
3.4.14. Elaboración probetas y elementos de concreto.....	36
3.4.15. Ensayo de asentamiento.....	37
3.4.16. Curado de elementos de concreto	38
3.4.17. Resistencia a la compresión.....	38
3.5 Presentación de resultados	38
3.5.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados.....	39
3.5.2. Resultados del diseño de mezcla	39
3.5.3. Resultados de las propiedades físico mecánicas del concreto	40
CAPÍTULO IV	44
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
CAPÍTULO V	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. CONCLUSIONES	46
5.2. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases de mezclas según su asentamiento	8
Tabla 2 Límites de granulometría para el agregado grueso.....	11
Tabla 3 Límites de granulometría para el agregado fino.....	12
Tabla 4 Coordenadas UTM del laboratorio “Carlos Esparza Díaz”	17
Tabla 5 Coordenadas UTM de la cantera “Aguilar”	18
Tabla 6 Muestreo de la investigación	20
Tabla 7 Cantidad de muestra requerida para realizar los ensayos en laboratorio.....	24
Tabla 8 Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.	39
Tabla 9 Peso de los materiales corregidos por humedad.....	39
Tabla 10 Proporción en volumen del diseño de mezcla.	40
Tabla 11 Peso unitario del concreto fresco.....	40
Tabla 12 Peso unitario del concreto endurecido.....	40
Tabla 13 Resultado de la resistencia a compresión a los 28 días.	41
Tabla 14 Concentración de CO ₂ y humedad relativa ambiental.	41
Tabla 15 Concentración de CO ₂ y humedad relativa en la cámara de carbonatación acelerada.....	41
Tabla 16 Sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.....	42
Tabla 17 Variación de sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.....	42
Tabla 18 Sección y profundidad de carbonatación de los elementos prismáticos de concreto.....	43
Tabla 19 Variación de sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.....	43
Tabla 20 Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 1.....	51
Tabla 21 Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 2.....	52
Tabla 22 Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 3.....	53
Tabla 23 Análisis granulométrico del agregado fino muestra 1.....	54
Tabla 24 Análisis granulométrico del agregado fino muestra 2.....	55
Tabla 25 Análisis granulométrico del agregado fino muestra 3.....	56
Tabla 26 Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.....	57
Tabla 27 Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.....	57
Tabla 28 Peso unitario suelto del agregado grueso.	58

Tabla 29 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	58
Tabla 30 Porcentaje de vacíos del agregado grueso suelto.	58
Tabla 31 Porcentaje de vacíos del agregado grueso compactado.....	59
Tabla 32 Peso unitario suelto del agregado fino.....	59
Tabla 33 Peso unitario compactado del agregado grueso.....	59
Tabla 34 Porcentaje de vacíos del agregado fino suelto.....	60
Tabla 35 Porcentaje de vacíos del agregado fino compactado.....	60
Tabla 36 Peso específico y absorción del agregado grueso.....	60
Tabla 37 Peso específico y absorción del agregado fino.....	61
Tabla 38 Contenido de humedad del agregado grueso.....	61
Tabla 39 Contenido de humedad del agregado fino.	62
Tabla 40 Resistencia al desgaste del agregado grueso.	62
Tabla 41 Volumen unitario de agua.....	62
Tabla 42 Contenido de aire.....	63
Tabla 43 Relación agua cemento por resistencia.....	63
Tabla 44 Módulo de fineza de la combinación de agregados.....	63
Tabla 45 Diseño de mezclas del concreto.....	64
Tabla 46 Ajuste del diseño de mezclas.....	65
Tabla 47 Peso unitario del concreto fresco.....	67
Tabla 48 Resistencia a la compresión uniaxial.....	68
Tabla 49 Concentración ambiental del CO ₂ y humedad relativa.....	68
Tabla 50 Concentración de CO ₂ y humedad relativa en cámara de carbonatación.	68
Tabla 51 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C5.	69
Tabla 52 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C10.	69
Tabla 53 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C15.	70
Tabla 54 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C20.	70
Tabla 55 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C25.	71
Tabla 56 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C30.	71
Tabla 57 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C35.	72
Tabla 58 Medidas de los elementos cúbicos de concreto C40.	72
Tabla 59 Medidas de los elementos prismáticos de concreto P5.	73
Tabla 60 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P7.5.	73
Tabla 61 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P10.	74
Tabla 62 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P12.5.	74

Tabla 63 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P15.	75
Tabla 64 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P17.5.	75
Tabla 65 Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P20.	76
Tabla 66 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C5.	76
Tabla 67 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C10. ...	77
Tabla 68 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C15. ...	77
Tabla 69 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C20. ...	78
Tabla 70 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C25. ...	78
Tabla 71 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C30. ...	79
Tabla 72 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C35. ...	79
Tabla 73 Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C40. ...	80
Tabla 74 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P5. 80	
Tabla 75 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P7.5.	81
Tabla 76 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P10.	81
Tabla 77 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P12.5.	82
Tabla 78 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P15.	82
Tabla 79 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P17.5.	83
Tabla 80 Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P20.	83
Tabla 81 Variación de la profundidad de carbonatación por el incremento de la sección de los elementos cúbicos de concreto.	84
Tabla 82 Variación de la profundidad de carbonatación por el incremento de la sección de los elementos prismáticos de concreto.	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de carbonatación.....	13
Figura 2 Localización del LEM “Carlos Esparza Díaz”	17
Figura 3 Localización de la Cantera “Aguilar”	18
Figura 4 Diagrama de flujo	22
Figura 5 Esquema de cámara de carbonatación acelerada	23
Figura 6 Incremento de la profundidad de carbonatación con respecto a la sección de los elementos cúbicos de concreto.	42
Figura 7 Incremento de la profundidad de carbonatación con respecto a la sección de los elementos Prismáticos de concreto.	43
Figura 8 Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 1.....	51
Figura 9 Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 2.....	52
Figura 10 Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 3.....	53
Figura 11 Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 1.....	54
Figura 12 Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 2.....	55
Figura 13 Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 2.....	56
Figura 14 Acopio de agregados en el laboratorio.....	90
Figura 15 Reducción de muestras por el método del cuarteo.....	90
Figura 16 Ensayo de resistencia a la degradación en la máquina de los Ángeles.....	91
Figura 17 Elaboración de los moldes para los elementos de concreto.	91
Figura 18 Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.....	92
Figura 19 Elaboración de elementos de concreto.....	92
Figura 20 Curado de los elementos de concreto.....	93
Figura 21 Ensayo de compresión uniaxial del concreto a los 28 días.....	93
Figura 22 Acondicionamiento de elementos de concreto dentro de la cámara de carbonatación acelerada.....	94
Figura 23 Instalación y acondicionamiento del tanque de CO ₂	94
Figura 24 Sensor de CO ₂ y ventilador dentro de la cámara.....	95
Figura 25 Sensor de CO ₂ y humedad relativa y temperatura.	95
Figura 26 Inicio del proceso de carbonatación acelerada.....	96
Figura 27 Concentración de CO ₂ dentro de la cámara de carbonatación acelerada.	96
Figura 28 Peso del tanque de CO ₂	97
Figura 29 Fin del proceso de carbonatación acelerada.....	97
Figura 30 Rotura de elementos cúbicos y prismáticos de concreto.....	98

Figura 31 Ensayo con el indicador fenolftaleína al 1%.....	98
Figura 32 Elemento de concreto con el indicador fenolftaleína al 1%.....	99
Figura 33 Medición de la profundidad de carbonatación.....	99
Figura 34 Medición de la profundidad de carbonatación en los elementos de concreto con el Vernier.	100
Figura 35 Elementos cúbicos y prismáticos con el indicador fenolftaleína al 1%.....	100

RESUMEN

Aunque se ha avanzado en mejorar la resistencia del concreto a la carbonatación, investigaciones recientes enfatizan la necesidad de seguir investigando este proceso, especialmente en condiciones reales, en nuestro medio predominan estructuras de concreto en edificaciones urbanas, donde se utilizan secciones de diversas dimensiones, por lo que es esencial comprender como influyen estas en el proceso de carbonatación. El propósito de esta investigación fue determinar el impacto de las dimensiones de la sección de los elementos de concreto $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en la profundidad del proceso de carbonatación. Para ello, se fabricaron 75 especímenes (5 para cada tamaño), los cuales fueron sometidos a un proceso de carbonatación acelerada durante 30 días, tanto en los elementos cúbicos como prismáticos, el aumento de la sección incrementó significativamente la profundidad de carbonatación, comparando los elementos de menor y mayor tamaño, se observó un incremento del 9.518% en los elementos cúbicos y del 4.215% en los elementos prismáticos. Relacionando estos valores con el aumento de la sección, se determinó que la profundidad de carbonatación incrementó, en promedio, 0.0185 mm por cada 176.496 cm² de aumento en la sección de los elementos. Los resultados indicaron una correlación directa entre el tamaño de la sección de los elementos de concreto y la profundidad de carbonatación, lo que enfatiza la importancia de tener en cuenta este factor al diseñar y mantener estructuras de concreto.

PALABRAS CLAVE: Concreto, carbonatación del concreto, carbonatación acelerada, fenolftaleína, profundidad de carbonatación.

ABSTRACT

Although progress has been made in improving the resistance of concrete to carbonation, recent research highlights the need for further investigation of this process, especially under real-world conditions. In our environment, urban structures predominantly feature concrete buildings with sections of various dimensions, making it essential to understand how these dimensions influence the carbonation process. The purpose of this research was to determine the impact of the cross-sectional dimensions of concrete elements with $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ on the depth of the carbonation process. To achieve this, 75 specimens (5 for each size) were manufactured and subjected to an accelerated carbonation process for 30 days. Both in cubic and prismatic elements, increasing the section size significantly increased the carbonation depth. Comparing the smallest and largest elements, an increase of 9.518% was observed in cubic elements and 4.215% in prismatic elements. Relating these values to the increase in section size, it was determined that carbonation depth increased, on average, by 0.0185 mm for every 176.496 cm^2 increase in the section of the elements. The results indicated a direct correlation between the size of the concrete element sections and carbonation depth, emphasizing the importance of considering this factor when designing and maintaining concrete structures.

KEYWORDS: Concrete, concrete carbonation, accelerated carbonation, phenolphthalein, carbonation depth.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En recientes investigaciones autores como Wang et al. (2022) y Nogueira y Bogas (2023) mencionan que a pesar de los avances logrados en el diseño de mezclas de concreto para mejorar su resistencia a la carbonatación y aunque se ha implementado la carbonatación acelerada en investigaciones de laboratorio es vital continuar investigando para optimizar su durabilidad particularmente en estructuras urbanas expuestas a altos niveles de CO₂. Así mismo, Leemann et al. (2015) subraya que la normativa vigente, basada en estudios anteriores, no cubre completamente las variaciones que pueden ocurrir en condiciones reales, lo que resalta la necesidad de más estudios para optimizar la protección contra la carbonatación.

La influencia de las dimensiones de la sección de los elementos de concreto en la profundidad de carbonatación sigue siendo un área que requiere mayor investigación. Según Qin (2024), aunque existen modelos predictivos para estimar la profundidad de carbonatación, estos no suelen considerar factores estructurales como las dimensiones de los elementos, lo que limita su precisión. Del mismo modo, Rathnarajan et al. (2022) y Cheng et al. (2021) enfatizan que las características físicas del concreto, pueden tener un impacto significativo en la progresión de la carbonatación.

Estos autores coinciden en la necesidad de realizar estudios más específicos respecto a la carbonatación del concreto, ya que, así como se ha identificado que variables como la humedad relativa, la concentración de CO₂ y la microestructura del concreto influyen en la velocidad y profundidad del proceso de carbonatación, pueden existir otros factores desconocidos que afectarían este proceso.

La carbonatación es un proceso natural que ocurre cuando el dióxido de carbono (CO₂) presente en el ambiente reacciona con los productos hidratados del cemento, lo que disminuye el pH del concreto. Para que las armaduras de acero embebidas en el concreto se mantengan protegidas contra la corrosión, es necesario que el pH se mantenga en niveles alcalinos, típicamente entre 12 y 13. Sin embargo, cuando la carbonatación reduce el pH por debajo de este rango, las armaduras pierden su

protección pasiva, quedando expuestas a la corrosión, lo que compromete la durabilidad y seguridad estructural de las edificaciones.

Este fenómeno se acelera bajo determinadas condiciones ambientales, como la humedad relativa, la temperatura, la concentración de CO₂ y la permeabilidad del concreto. Estos factores influyen directamente en la velocidad y profundidad de la carbonatación.

En nuestro contexto, predominan las estructuras de concreto en múltiples aplicaciones, especialmente en edificaciones urbanas, donde se utilizan secciones de concreto de diversas dimensiones. Por ello, resulta esencial comprender cómo la carbonatación se desarrolla en diferentes secciones de los elementos de concreto y qué factores específicos inciden en este proceso, con el fin de prevenir el deterioro prematuro y, en consecuencia, evitar fallas estructurales. La falta de información precisa sobre el impacto de las dimensiones de los elementos de concreto en la carbonatación limita la capacidad para diseñar soluciones duraderas y sostenibles, así como para implementar estrategias de mantenimiento efectivas.

La carbonatación puede medirse mediante diferentes métodos, tales como el uso de indicadores químicos (fenolftaleína), la difracción de rayos X o el análisis termogravimétrico, lo que permite evaluar de manera precisa el avance de este proceso y su impacto en la estructura.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la Influencia de las dimensiones de la sección del elemento de concreto en la profundidad de Carbonatación?

1.3. Hipótesis

La influencia de las dimensiones de la sección del elemento de concreto en la profundidad de carbonatación es de relación directa.

1.3.1. Definición de variables

- **Variable Independiente:**
Sección del elemento de concreto.
- **Variable Dependiente:**
Profundidad de Carbonatación.

1.4. Justificación de la investigación

Esta investigación tiene como proyección aportar conocimientos en el campo de la ingeniería, específicamente en lo que concierne a la influencia que tiene las dimensiones de la sección de elementos de concreto en la profundidad de carbonatación, este tema es crucial, ya que su comprensión adecuada puede tener un impacto significativo en el diseño y desarrollo de tecnologías para la elaboración de concretos más durables y sostenibles. Se utilizará la exposición acelerada al CO₂, de la cual hay teoría que respalda la investigación.

Es pertinente destacar la relevancia y originalidad de esta investigación, dado que hasta la fecha no se cuenta con estudios que establezcan una relación directa entre las dimensiones de las secciones de los elementos estructurales y la carbonatación del concreto.

Por último, este trabajo representa un avance significativo en el campo de la Ingeniería Civil, y proporcionará una valiosa referencia para futuros estudios que aborden esta temática.

1.5. Viabilidad de la investigación

La viabilidad de esta investigación está sostenida por la disponibilidad de tiempo, recursos y equipamiento necesarios para su correcta ejecución, además se cuenta con los conocimientos teóricos y prácticos para su realización, siendo que investigación representa un paso enorme para el desarrollo en mi vida profesional.

1.6. Alcances o delimitaciones de la investigación

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Carlos Esparza Díaz" de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en la ciudad de Cajamarca, y se llevó a cabo entre los meses de marzo y agosto de 2024.

La población de referencia estuvo compuesta por las muestras creadas en el laboratorio, las cuales fueron cubos de concreto con aristas (cm) de (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40) y prismas cuadrangulares de concreto de medidas (cm) (5*5*10, 7.5*7.5*15, 10*10*20, 12.5*12.5*25, 15*15*30, 17.5*17.5*35, 20*20*40) se elaboraron 5 de cada tamaño y además se elaboraron 5 probetas que fueron ensayadas a compresión a los 28 días.

Los elementos fueron elaborados en base a una resistencia $f'c$ de 280 kg/cm² en un diseño de mezcla típico y slump plástico, se utilizó cemento Pacasmayo Tipo I (bolsa verde) y

agregados de río de la Cantera Aguilar-Tartar Chico ubicado en el Km 1+100 Carretera Baños del Inca – Otuzco, arena gruesa y piedra chancada con un TMN de $\frac{1}{2}$ ”, esto con la finalidad de homogenizar las muestras elaboradas. Para medir los parámetros de la humedad relativa, la temperatura ambiental y la concentración de CO₂ y mantenerlos constantes durante el periodo en que se dio proceso de exposición acelerada (30 días), se utilizó un sensor de calidad de aire (con un límite de lectura de 6000 ppm en la concentración de CO₂). Se utilizó el indicador de fenolftaleína al 1% en alcohol para evaluar la profundidad de carbonatación.

1.7.Limitaciones

- No se realizaron análisis químicos del agua y los agregados utilizados para la elaboración de los elementos de concreto.

1.8. Objetivo de la investigación

1.8.1. Objetivo General:

Determinar la influencia de las dimensiones de la sección de elementos de concreto en la profundidad de Carbonatación.

1.8.2. Objetivos específicos:

- a) Determinar la profundidad de carbonatación en elementos cúbicos de concreto.
- b) Determinar la profundidad de carbonatación en elementos prismáticos cuadrangulares de concreto.

1.9. Descripción de los contenidos de los capítulos

- Capítulo I, “Introducción”, abarca el planteamiento y la formulación del problema, además de los alcances, limitaciones y objetivos de la investigación.
- Capítulo II, “Marco Teórico”, presenta los antecedentes a nivel internacional, nacional y local, así como las bases teóricas y la definición de los términos clave.
- Capítulo III, “Materiales y Métodos”, se describen los ensayos y procedimientos necesarios para obtener los resultados.
- Capítulo IV, “Análisis y Discusión de Resultados”, se analizan y comparan los resultados obtenidos.
- Capítulo V, “Conclusiones y Recomendaciones”, se resumen los resultados en relación a los objetivos e hipótesis y se sugieren futuras investigaciones.
- Referencias Bibliográficas, presenta las fuentes de información consultadas.
- Anexos, se presenta información complementaria a los resultados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Blanco C. (2015) en su tesis doctoral “Evaluación de la penetración de agresivos en estructuras de hormigón situadas en Canarias y su influencia en la corrosión de armaduras” sostiene que aumentar la relación a/c se relaciona directamente con la velocidad de penetración del CO₂ y a su vez elevadas concentraciones de humedad en el concreto hacen que sea más difícil que el CO₂ ingrese y se difunda a través de sus poros.

Iloro F. (2022) en su tesis doctoral “Efectos del CO₂ ambiental sobre la carbonatación de hormigones elaborados con distintos cementos”, sostiene que “El tipo de cemento varía la profundidad de carbonatación debido a la composición química del clinker y a las reacciones puzolánicas de las adiciones que disminuyen la cantidad de Ca(OH)₂ en los poros. Esto se atribuye a la mayor reserva alcalina aportada por el cemento Portland normal, por lo cual el empleo de adiciones minerales como reemplazo del clinker debe ser estudiado con mayor profundidad ya que si bien mejoran las propiedades tecnológicas como la porosidad capilar (atenuación de procesos transporte) o la resistencia a compresión, disminuye la resistencia a la carbonatación”. (...). Asimismo, los factores ambientales ejercen una considerable influencia en los cambios de la velocidad de carbonatación, especialmente la cantidad de dióxido de carbono presente y la frecuencia y volumen de precipitaciones.

Salazar L. (2023) en su tesis de maestría “Evaluación de la resistencia a la corrosión debida a carbonatación en concretos con cementos Pórtland adicionados con caliza y arcilla calcinada” sostiene que la resistencia a la carbonatación acelerada y la capacidad de resistir la corrosión provocada por esta en los concretos de prueba estuvo determinada por el contenido de clínker en el cemento. Específicamente, se puede concluir que los impactos de la carbonatación acelerada en la resistencia eléctrica del concreto y los niveles de corrosión en el acero se manifiestan antes de que el dióxido de carbono alcance la barra de acero, lo que indica una despassivación temprana. Esto se debe a una menor reserva alcalina en los concretos, condición asociada a mayores niveles de sustitución de clínker en el cemento.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Catari N. (2021) en su tesis “Evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el canal del túnel – Río Asana, 2018”, sostiene que El estudio de la evolución temporal de la profundidad de carbonatación, al analizar el nivel de pH del concreto, evidencia que a medida que disminuye el pH del concreto, la variación en la profundidad de carbonatación aumenta.

Rojas J. (2022) en su tesis de pregrado “Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba-Cusco 2021”, sostiene que la manera en que se comporta la carbonatación acelerada y los cambios en el nivel de pH del agua durante el proceso de mezcla del concreto y el curado del mismo afectan su resistencia a la compresión. Esto se debe a que influyen en las características químicas al alterar el comportamiento de la carbonatación y la reacción de hidratación, así como en las propiedades físicas, que en última instancia determinan la resistencia esperada según el diseño.

2.1.3. Antecedentes locales

Mosqueira C. (2019) en su tesis doctoral “Efecto del tiempo de exposición al CO₂, del concreto de $f'c=210$ Kg/cm², en la profundidad de carbonatación y en la resistencia a compresión”, afirma que la duración de la exposición al CO₂ estuvo correlacionada directamente con la profundidad de carbonatación. (...), y a su vez la concentración de este gas en el ambiente, la presencia de micro y macro poros, así como la permeabilidad y la humedad relativa, también influyeron en este proceso. (...). En las muestras recubiertas con el aditivo Chema Seal®, se observó una resistencia inicial al fenómeno de carbonatación, sin embargo, con el tiempo de exposición al CO₂, el concreto mostró ser más susceptible y vulnerable a este proceso. (...). La resistencia a la compresión del concreto está significativamente influenciada por su profundidad de carbonatación, y esta relación tiene un efecto negativo en tiempos prolongados, ya que la resistencia a la compresión del concreto disminuye a medida que la profundidad de carbonatación aumenta, cada 30 días de exposición.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El concreto

El concreto es un material sólido y resistente que presenta características similares a las de la piedra. Este material se obtiene mediante la mezcla precisa de cemento, agregados (piedra y arena), agua y aire. A diferencia de las piedras naturales, el concreto puede ser moldeado según las dimensiones y formas requeridas (Ortega Juan, 2015).

2.2.1.1. Tipos de concreto

Según Flavio Abanto (2017), existen los siguientes tipos de concreto:

Concreto Simple: Se refiere a una mezcla que consiste en cemento Portland, agua, agregado grueso y agregado fino.

Concreto Armado: Concreto simple reforzado con armaduras de acero, diseñado con la premisa de que ambos materiales actúan en conjunto.

Concreto Estructural: Este término se utiliza para describir el concreto simple que conforme a especificaciones precisas ha sido dosificado, mezclado, transportado y colocado, asegurando una resistencia mínima previamente establecida en el diseño y una adecuada durabilidad.

Concreto Ciclópeo: Se refiere al concreto simple que incluye piedras de tamaño máximo de 10 pulgadas, que pueden representar hasta el 30% del volumen total.

Concreto Liviano: Este tipo de concreto se elabora con agregados ligeros, y su peso unitario oscila entre 400 y 1700 kg/m³.

Concreto Normal: Consiste en concreto preparado con agregados comunes, cuyo peso unitario varía entre 2300 y 2500 kg/m³.

Concreto Pesado: Concreto que se elabora usando agregados pesados, con un peso unitario que oscila entre 2800 y 6000 kg/m³.

Concreto Premezclado: Se trata de concreto que es dosificado en planta y puede ser mezclado allí mismo o en camiones mezcladores, y luego es transportado a la obra.

Concreto Prefabricado: Puede ser simple o armado, se fabrica en un lugar distinto al de su instalación final en la estructura.

Concreto Bombeado: Se refiere al concreto que es llevado mediante un sistema de bombeo a través de tuberías hacia su ubicación final.

2.2.1.2. Propiedades del concreto fresco

Peso unitario del concreto

Se determina por la disposición y forma de las partículas de los componentes del concreto y se expresa generalmente en kg/m^3 . Este valor depende de varios factores, como la densidad de los agregados, la cantidad de aire atrapado y la relación agua/cemento (Matallana Ricardo, 2019).

Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto fresco se refiere a su propiedad de ser fácilmente manipulado durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y compactación. Esta propiedad se puede evaluar de manera relativamente sencilla y precisa mediante la medición de la capacidad de la mezcla para fluir bajo su propio peso (gravedad). Para lograr una adecuada trabajabilidad del concreto fresco, es crucial seleccionar apropiadamente la proporción de cada uno de sus componentes (Medina Ricardo, 2016)

Consistencia y asentamiento

Está determinada por el grado de humedecimiento de la mezcla, el cual depende principalmente de la cantidad de agua utilizada.

Este ensayo, también conocido como ensayo de revenimiento o "slump test", se emplea para describir cómo se comporta el concreto fresco. Este ensayo indica la capacidad del concreto para adaptarse fácilmente al encofrado o molde, manteniéndose homogéneo y con un mínimo de vacíos (Abanto Flavio, 2017).

Tabla 1

Clases de mezclas según su asentamiento

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" (0 cm) a 2" (5 cm)	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" (7.5 cm) a 4" (10 cm)	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	$\geq 5"$ (12.5 cm)	Muy trabajable	Chuseado

Fuente: (Abanto Flavio, 2017)

2.2.1.3. Propiedades del concreto endurecido

Durabilidad

La durabilidad del concreto es la capacidad del material para resistir diversas condiciones ambientales adversas, como ciclos de humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento, y congelación y deshielo. También incluye la

resistencia a la erosión en estructuras hidráulicas y a la abrasión en losas de pavimentos de concreto. Además, la durabilidad abarca la resistencia al ataque químico por sulfatos, cloruros, ácidos, carbonatación, y reacciones álcali-agregado, entre otros agentes químicos (Matallana Ricardo, 2019)

Impermeabilidad

Es una propiedad crucial que puede mejorarse frecuentemente reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. Un exceso de agua en el concreto fresco deja vacíos y cavidades después de la evaporación. Si estas cavidades están interconectadas, permiten la penetración y el paso del agua a través del concreto, afectando su durabilidad y resistencia (Abanto Flavio, 2017).

Es así que la impermeabilidad del concreto se refiere a la capacidad de este, para evitar que el agua lo atraviese.

Resistencia a la compresión

El concreto destaca por su alta resistencia a los esfuerzos de compresión, lo cual constituye su propiedad más relevante. Esta característica es fundamental para evaluar su calidad en aplicaciones estructurales (Matallana Ricardo, 2019)

El hormigón exhibe una elevada capacidad de resistencia a la compresión, lo que implica su capacidad para soportar considerables cargas o fuerzas aplicadas. Esta propiedad se incrementa progresivamente con el transcurso del tiempo. A pesar de que el hormigón inicia su proceso de solidificación en unas pocas horas y su endurecimiento se completa en pocos días, continúa ganando resistencia durante un período mínimo de 28 días (Hunker, 2019).

2.2.2. El cemento Portland

Es un producto ampliamente disponible en el mercado que, al mezclarse con piedra, arena o solo agua, tiene la capacidad de reaccionar gradualmente con esta última hasta crear una masa sólida. Básicamente, se trata de un clínker finamente triturado, obtenido mediante la cocción a altas temperaturas de mezclas que contienen cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones específicas (Abanto Flavio, 2017).

2.2.2.1. Composición del cemento Portland

Según Abanto Flavio (2017), debido a que el cemento es una combinación de varios compuestos, resulta poco práctico representarlo mediante una fórmula química. Sin embargo, más del 90 % del peso total del cemento está formado por cuatro componentes principales, y son:

- a) $(3\text{CaO}.\text{SiO}_2)$ - Silicato tricálcico.
- b) $(2\text{CaO}.\text{SiO}_2)$ - Silicato dicálcico.
- c) $(3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3)$ - Aluminato tricálcico.
- d) $(4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3)$ - Alumino ferrita tricálcica.

2.2.2.2. Tipos de cemento

Según las especificaciones de la ASTM C 150, se definen cinco tipos de cemento:

Tipo I, utilizado comúnmente y sin características especiales.

Tipo II, con moderado calor de hidratación y cierta resistencia al ataque de sulfatos.

Tipo III, que muestra una resistencia temprana y genera un calor de hidratación elevado.

Tipo IV, con bajo calor de hidratación.

Tipo V, que exhibe una alta resistencia al ataque de sulfatos.

2.2.3. Agregados

De acuerdo con la normativa peruana, NTP 400.011 (2020), los elementos esenciales en la composición del concreto son los agregados, y la calidad de estos está vinculada directamente a su procedencia, pudiendo ser de origen natural o artificial. Estos materiales inertes consisten en minerales cuyas medidas deben ajustarse a los husos establecidos por la normativa en relación a la granulometría.

La importancia de los agregados reside en su representación de alrededor del 75% del volumen total de la mezcla de concreto. Por esta razón, es crucial que los agregados exhiban una resistencia y durabilidad óptimas, así como una superficie libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, las cuales podrían comprometer la unión con la pasta de cemento (Abanto Flavio, 2017).

2.2.3.1. Agregado grueso

Se puede definir como la porción de agregado que queda atrapada en el tamiz normalizado de 4,75 mm (N°04). Esta categoría engloba el concreto reciclado, el concreto triturado, la piedra triturada y la grava (NTP 400.011, 2020).

Tabla 2
Límites de granulometría para el agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	Porcentaje que Pasa por los Tamices Normalizados													
		100 (4 pulg)	90 (3 1/2 pulg)	75 (3 pulg)	63 (2 1/2 pulg)	50 (2 pulg)	37.5 (1 1/2 pulg)	25 (1 pulg)	19 (3/4 pulg)	12.5 (1/2 pulg)	9.51 (3/8 pulg)	4.75 (N°4)	2.36 (N°8)	1.18 (N°16)	300 (N°50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	.....	25 a 60	.....	0 a 15	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....	.....
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg)	.....	.....	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....	.....
3	50 mm a 25 mm (2 pulg a 1 pulg)	.....	.....	.....	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	.....	0 a 5	.....	.....	.....	.....
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a N°4)	.....	.....	.....	100	95 a 100	.....	35 a 70	.....	10 a 30	.....	0 a 5	.....	.....
4	37.5 mm a 19.0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg)	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	.....	0 a 5	.....	.....	.....
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 pulg a N°4)	.....	.....	.....	.....	100	95 a 100	.....	35 a 70	.....	10 a 30	0 a 5	.....	.....
5	25.0 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	.....	.....	.....
56	25.0 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	.....	.....
57	25.0 mm a 4.75 mm (1 pulg a N°4)	.....	.....	.....	.....	.....	100	95 a 100	.....	25 a 60	.....	0 a 10	0 a 5	.....
6	19.0 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	.....	.....
67	19.0 mm a 4.75 mm (3/4 pulg a N°4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	.....	20 a 55	0 a 10	0 a 5	.....
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a N°4)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	.....
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a N°8)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 a 3/8 pulg)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9	4.75 mm a 1.18 mm (N°4 a N°16)	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10

Fuente: (NTP 400.037)

2.2.3.2. Agregado fino

Se describe como el material resultante de la disgregación natural o inducida de la roca, que atraviesa el tamiz estándar de 9,5 mm (3/8 pulgadas) y queda atrapado en el tamiz reglamentado de 75 mm (N°200). Este puede dividirse en arena fina y arena gruesa, según su módulo de finura (NTP 400.011, 2020).

Tabla 3

Límites de granulometría para el agregado fino

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100
N°4 (4.75 mm)	95 a 100
N°8 (2.36 mm)	80 a 100
N°16 (1.18 mm)	50 a 85
N°30 (600 um)	25 a 60
N°50 (300 um)	5 a 30
N°100 (150 um)	0 a 10

Fuente: (NTP 400.037)

2.2.4. Agua

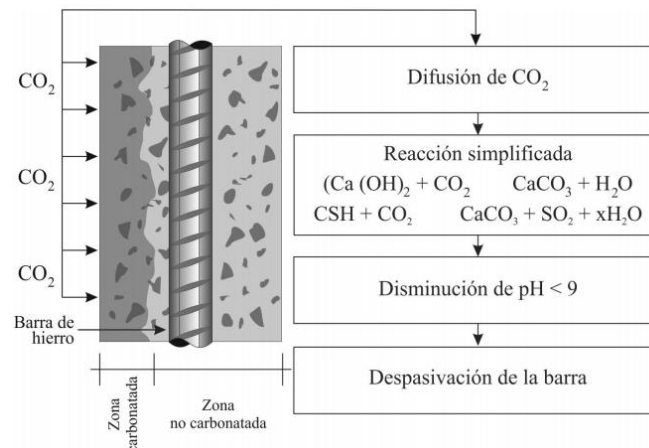
El agua cumple un papel esencial en la preparación del concreto, influyendo en su resistencia, manejabilidad y características cuando ha endurecido. Es crucial que el agua utilizada esté limpia y exenta de cualquier cantidad dañina de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que podrían ser perjudiciales para el concreto (Abanto Flavio, 2017).

2.2.5 Proceso de Carbonatación del Concreto

La carbonatación surge a partir de la difusión y reacción del dióxido de carbono con los compuestos hidratados presentes en el material cementante utilizado. El CO₂, presente en el aire atmosférico, penetra en la estructura del hormigón a través de poros y capilares que están interconectados con el entorno exterior. Para que la reacción ocurra, la presencia de humedad es necesaria, siendo la condición más propicia para la carbonatación cuando el nivel de humedad se encuentra en el rango del 50 al 70%, cuando el hormigón tiene sus poros capilares saturados, el CO₂ no puede ingresar, situación que también ocurre cuando la red se encuentra con un contenido de humedad bajo de 50%, debido a la ausencia de agua para que se produzca la reacción (Iloro Fabián et al. 2013)

La reacción del dióxido de carbono (CO_2) tiene lugar con los componentes alcalinos hidratados del hormigón, principalmente con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y el silicato de calcio hidratado (CSH). Mientras se desarrolla la hidratación del cemento Portland, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ generado se disuelve en la estructura de poros capilares del hormigón, junto con otros álcalis presentes en el cemento, como el sodio y el potasio. El CO_2 en forma gaseosa que se encuentra en el aire penetra por difusión en la masa del hormigón a través de los poros que están conectados con el exterior, provocando la transformación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y el silicato de calcio hidratado en carbonato de calcio (CaCO_3) (Iloro Fabián, 2015)

Figura 1
Esquema de carbonatación



Fuente: Ciencia y Tecnología de los Materiales (Iloro Fabián, 2015)

2.2.6 Proceso de Carbonatación acelerada del concreto

La velocidad a la que ocurre naturalmente el proceso de carbonatación es bastante lenta. Por lo tanto, en entornos de laboratorio se utilizan métodos acelerados que implican aumentar significativamente la concentración de CO_2 , superando con creces la que se encuentra en la atmósfera. La concentración media de dióxido de carbono en el aire es aproximadamente de 0,0038% en volumen (380 ppm). Para lograr una profundidad en un corto lapso de tiempo, es necesario aumentar de manera considerable la concentración de CO_2 en un espacio cerrado, por ejemplo, al 4% en volumen (40.000 ppm), lo que equivale a ser 100 veces mayor que la concentración natural.

Estudios llevados a cabo utilizando el proceso de carbonatación acelerada han indicado que, aunque se aumente la concentración de CO_2 , si la humedad relativa se mantiene entre el rango de 50-70%, no se observa un aumento proporcional en la profundidad de

carbonatación. Sin embargo, cuando la humedad varía por debajo del 50% o por encima del 70%, manteniendo invariable la concentración de CO₂, la profundidad de carbonatación resulta menor debido a la cantidad de agua presente en los poros del concreto. También se ha demostrado que la profundidad de carbonatación en el concreto después de una semana de exposición al 4% de CO₂ es muy similar a la profundidad de carbonatación que se alcanza después de un año de exposición en condiciones naturales (Traversa et al. 2013).

2.2.7 Humedad relativa en el proceso de carbonatación

Entre los elementos climáticos del entorno de ubicación, la humedad relativa (HR) es el factor más relevante. La velocidad de carbonatación se ralentiza cuando la estructura porosa del hormigón está parcialmente seca (HR<40%), ya que no hay suficiente agua para que ocurra la reacción, o está completamente saturada (HR>80%), lo que bloquea los poros y reduce el coeficiente de difusión efectiva de gases en el hormigón. Se considera que un nivel de HR entre el 50% y el 65% es crítico para que se produzca la carbonatación, lo que indica un estado de semisaturación del hormigón (Iloro Fabián. 2015)

2.2.8 Fenolftaleína como indicador de carbonatación en el concreto

La medición de la profundidad de la capa carbonatada en el concreto se realiza mediante la evaluación de la disminución de la alcalinidad asociada a la carbonatación, la cual se puede detectar a través de un indicador de pH que revela cambios de color. La fenolftaleína, por ejemplo, adquiere un tono rojo violáceo cuando el pH está sobre 9,5 (indicando que el concreto no ha experimentado carbonatación) y se vuelve incolora cuando el pH desciende por debajo de 8 (indicando carbonatación del concreto). En el rango de valores entre 8 y 9,5, la fenolftaleína presenta tonalidades que van desde rosadas hasta rojo-púrpura. (Gonzales E. y Alloza A. 2011)

2.2.9 Métodos para evaluar el grado de carbonatación del concreto

(Huyen Bui et al. 2022) mencionan los siguientes métodos para la evaluación de la carbonatación del concreto

Métodos cualitativos

Estimación del grado de carbonatación en función del indicador de pH

La medición del cambio en el nivel de pH del concreto es un método sencillo para determinar el grado de carbonatación.

Análisis de imágenes

La caracterización de la profundidad de carbonatación se realiza a través del análisis de imágenes tras identificar las áreas carbonatadas con el uso de indicadores de pH.

Análisis de fases

La carbonatación puede provocar cambios en la microestructura debido a la alteración del volumen molar de los compuestos sólidos presentes en los hidratos y las fases carbonatadas, estos cambios pueden ser analizados con los siguientes métodos.

- Análisis termogravimétrico (TGA)
- Difracción de rayos X (DRX)
- Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)
- Técnica de velocidad de fase ultrasónica

Métodos cuantitativos

Indicador de fenolftaleína

La mayoría de los investigadores emplearon la fenolftaleína como un método cualitativo para identificar las áreas carbonatadas y no carbonatadas.

Absorción de CO₂

El método de absorción de CO₂ está vinculado a la cantidad de CO₂ absorbido por la muestra, la cual puede ser calculada de diversas formas.

2.2.10 Carbonatación del concreto en un contexto mundial

A lo largo del siglo pasado, varios países han realizado esfuerzos notables para aumentar la vida útil de las estructuras construidas con concreto, llevando a cabo investigaciones y análisis detallados sobre la carbonatación del mismo. Tras años de trabajo, se ha alcanzado una gran comprensión de los mecanismos y factores que afectan la carbonatación del hormigón tanto a nivel nacional como internacional. Este conocimiento ha propiciado la creación de diversos modelos de predicción de la profundidad de carbonatación, basados en diferentes algoritmos. (Xinhao w et al. 2024)

La carbonatación es un fenómeno natural que afecta a estructuras a nivel global ya que sólo se requiere una pequeña concentración de CO₂, que normalmente se encuentra en la atmósfera (0.03 por ciento) para que ocurra, aunque en algunas zonas como Estados Unidos no se considera un problema serio, hay otras zonas como Europa donde se ha

lidiado con esta problemática durante más tiempo, por la antigüedad de sus estructuras. (Montani R. 2013)

2.3. Definición de términos básicos

- **Diseño de mezcla.** Un diseño de mezcla es un procedimiento técnico que implica la determinación de las proporciones apropiadas de los diversos componentes del concreto, tales como el cemento, los agregados, el agua y los aditivos, con el fin de cumplir con las necesidades particulares de un proyecto de construcción. Este proceso incluye la selección cuidadosa de los materiales y el ajuste de sus cantidades de manera precisa para lograr que el concreto resultante posea las características deseadas en cuanto a resistencia, durabilidad, facilidad de manejo y otras propiedades específicas. El objetivo último es obtener una mezcla de concreto que satisfaga los estándares de rendimiento requeridos y al mismo tiempo sea económicamente viable para el uso previsto (Ortega J, 2015)

- **Encofrado.** Según la Real Academia Española (2023), es el molde formado con tableros o chapas de metal o de material análogo, en el que se vacía el concreto hasta que fragua, y que se desmonta después.

- **Curado.** El proceso de curado implica mantener la humedad y temperatura adecuadas en una mezcla de cemento recién colocada, lo que facilita la hidratación del cemento hidráulico y las reacciones puzolánicas, mejorando así las propiedades del concreto. Estas medidas están diseñadas para prevenir la contracción temprana. (NTP 339.047, 2019).

- **Carbonatación.** La carbonatación es una reacción química en la que el dióxido de carbono (CO₂) del aire interactúa con los elementos alcalinos presentes en el concreto, en particular el hidróxido de calcio, generando carbonato de calcio. Este proceso puede disminuir el pH del concreto y desencadenar la corrosión de las armaduras de acero. (Iloro Fabián, 2015).

- **Fenolftaleína.** La fenolftaleína es un compuesto químico con la fórmula C₂₀H₁₄O₄. Se emplea comúnmente como indicador en valoraciones ácido-base. En este contexto, cambia de color a incoloro en soluciones ácidas y a rosa en soluciones básicas. Se clasifica dentro de los tintes conocidos como tintes de ftaleína (Hannainst, 2023)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

El estudio se llevó a cabo en Cajamarca, Perú, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) "Carlos Esparza Díaz", situado en el bloque 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), ubicada en la Avenida Atahualpa N°1050.

Tabla 4

Coordenadas UTM del laboratorio "Carlos Esparza Díaz"

Coordenadas UTM (WGS 84 – 17S)	
Este	Norte
776619.00	9206994.00

Fuente: Google Earth

Figura 2

Localización del LEM "Carlos Esparza Díaz"



Fuente: Google Earth

3.1.2. Ubicación geográfica del origen de los agregados

Para realizar la investigación se utilizó agregados de río de la cantera “Aguilar” - Tartar Chico, ubicado en el distrito de Baños del Inca, en el Km 1+100 de la carretera Baños del Inca – Otuzco.

Tabla 5

Coordenadas UTM de la cantera “Aguilar”

Coordenadas UTM (WGS 84 – 17S)	
Este	Norte
779878.00	9208892.00

Fuente: Google Earth

Figura 3

Localización de la Cantera “Aguilar”



3.2. Tiempo de realización de la investigación

La presente investigación se realizó entre los meses de marzo y agosto de 2024.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y métodos de investigación

3.3.1.1. Tipo de Investigación:

Se enfocó como un tipo cuantitativo.

3.3.1.2. Nivel de Investigación:

El nivel se clasificó como investigación aplicada.

3.3.1.3. Diseño de la Investigación:

El diseño de la investigación fue experimental.

3.3.1.4. Métodos de Investigación:

El método del estudio es experimental con un enfoque deductivo.

3.3.2. Población de estudio

Fueron todos los elementos tanto cúbicos como prismáticos de concreto con una resistencia $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$, con Slump plástico elaborados con agregado grueso de TMN 1/2". Los mismos que fueron expuestos a un medio controlado con elevada concentración de CO_2 , evaluados a productos de carbonatación

3.3.3. Muestra

La siguiente fórmula se utilizó para realizar un muestreo probabilístico con el fin de determinar el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Valor correspondiente al nivel de confianza.

p = Probabilidad de que el evento estudiado ocurra.

q = Probabilidad de que el evento estudiado no ocurra.

E = Margen de error tolerado.

Teniendo:

Nivel de confianza = 95% $\rightarrow Z = 1.96$

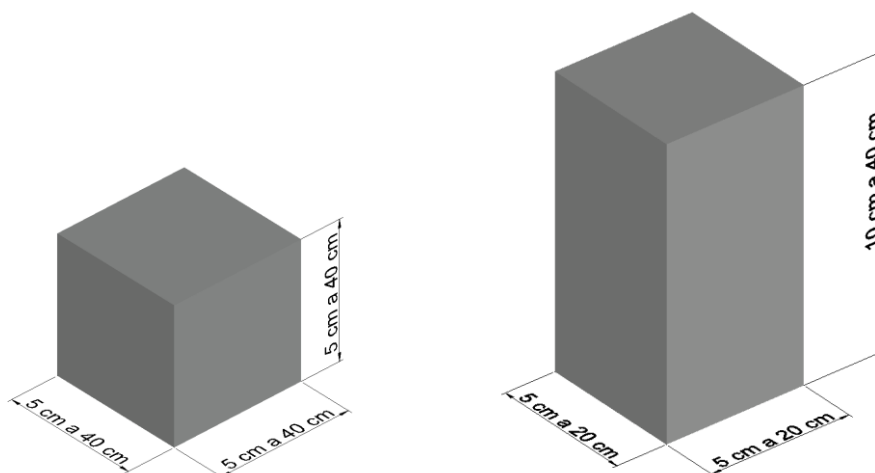
$p = 90\%$

$q = 10\%$

$E = 7\%$

Colocando estos valores en la fórmula, obtenemos un tamaño de muestra $n = 70.57$, tomando una muestra final de 75 elementos de concreto, distribuyéndose de la siguiente manera:

- Cubos de concreto con aristas de medidas (cm): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40
- Elementos prismáticos cuadrangulares con medidas (cm): $5*5*10$, $7.5*7.5*15$, $10*10*20$, $12.5*12.5*25$, $15*15*30$, $17.5*17.5*35$, $20*20*40$



En la siguiente tabla se muestra todos os tipos de elementos elaborados (5 de cada tipo):

Tabla 6
Muestreo de la investigación

Tipo de Muestra					
Cúbica		Prismática			
Arista (cm)	Cantidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Cantidad
5	5	5	5	10	5
10	5	7.5	7.5	15	5
15	5	10	10	20	5
20	5	12.5	12.5	25	5
25	5	15	15	30	5
30	5	17.5	17.5	35	5
35	5	20	20	40	5
40	5				
Subtotal	40				35
Total			75		

3.3.4. Unidad de análisis

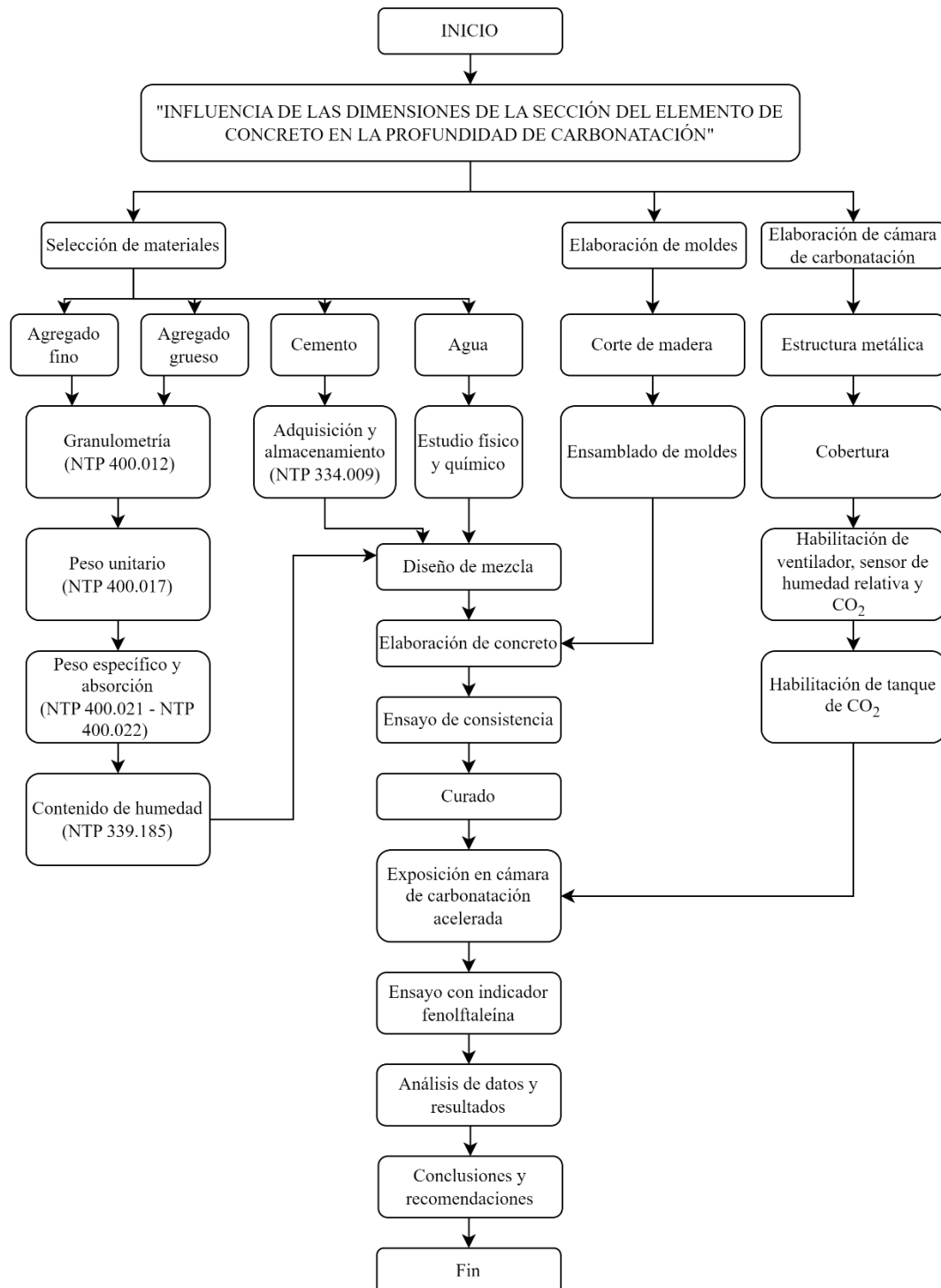
Los elementos de concreto con sus respectivas dimensiones de sección.

3.4. Procedimiento de la investigación

Esta investigación se llevó a cabo siguiendo los pasos descritos a continuación:

- a) Ensayo de los agregados para determinar sus propiedades fundamentales, con el objetivo de diseño de mezcla de 280 Kg/cm^2 .
- b) Fabricación de los moldes necesarios para los diferentes tamaños de los elementos de concreto a producir.
- c) Elaboración de los elementos de concreto según el diseño preestablecido, codificándolos para facilitar el análisis posterior, en el caso de los probetas que fueron ensayadas a compresión se codificaron de la siguiente manera (K-01, K-02, K-03, K-04 y K-05), los elementos cúbicos se codificaron de la forma (C5, C10, C15, C20, C25, C30, C35 y C40), según el tamaño de la arista y seguido del número del elemento y de manera similar los elementos prismáticos se codificaron con la forma (P5, P7.5, P10, P12.5, P15, P17.5 y P20), teniendo en cuenta el tamaño de la arista de la base cuadrada del elemento prismático.
- d) Construcción de la cámara de carbonatación acelerada y preparación de los sensores y equipos necesarios.
- e) Colocación ordenada de los elementos de concretos curados en la cámara de carbonatación acelerada (los elementos de concreto se dejaron secar 15 días)
- f) Revestimiento de la cámara con plástico transparente para garantizar su hermeticidad.
- g) Instalación de una entrada de CO_2 y una manga para los equipos de medición de CO_2 y humedad relativa en la cámara.
- h) Garantía de una ventilación adecuada del lugar donde se ubicó la cámara debido a la alta concentración de CO_2 en su interior.
- i) Toma de lecturas iniciales de CO_2 ambiental y humedad relativa.
- j) Sellado de la cámara e inyección de CO_2 hasta alcanzar la concentración deseada.
- k) Duración del experimento de 1 mes, se realizó lecturas del sensor durante el experimento de exposición para mantener constantes los parámetros de concentración de CO_2 y humedad relativa.
- l) Rotura uno por uno de los elementos de concreto al final del experimento.
- m) Rociado de los elementos con fenolftaleína al 1% en alcohol.
- n) Toma de 3 medidas de la profundidad de carbonatación en todas las aristas de los elementos de concreto con un Vernier, registrándolas para el análisis posterior.

Figura 4
Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración propia

3.4.1. Procedimiento para el ensayo de carbonatación acelerada del concreto

Se siguieron las normas establecidas para este tipo de ensayos, para garantizar un proceso adecuado, se consideraron los siguientes factores:

Humedad relativa: Este es uno de los factores más importantes que afecta el proceso de carbonatación acelerada. Se recomienda mantener la humedad en un rango de entre el 50% y el 70%. En esta investigación, se logró obtener una humedad relativa promedio de 68.29%.

Temperatura: Se recomienda controlar la temperatura en torno a los 20°C, durante el ensayo, se alcanzó una temperatura promedio de 16.57°C.

Concentración de CO₂: Para un proceso eficiente de carbonatación acelerada, es recomendable utilizar una concentración de CO₂ varias veces superior a la encontrada en el ambiente. En este estudio, se logró una concentración promedio de 4897.93 ppm, equivalente a más de 12 veces la concentración ambiental, lo cual permitió obtener resultados adecuados.

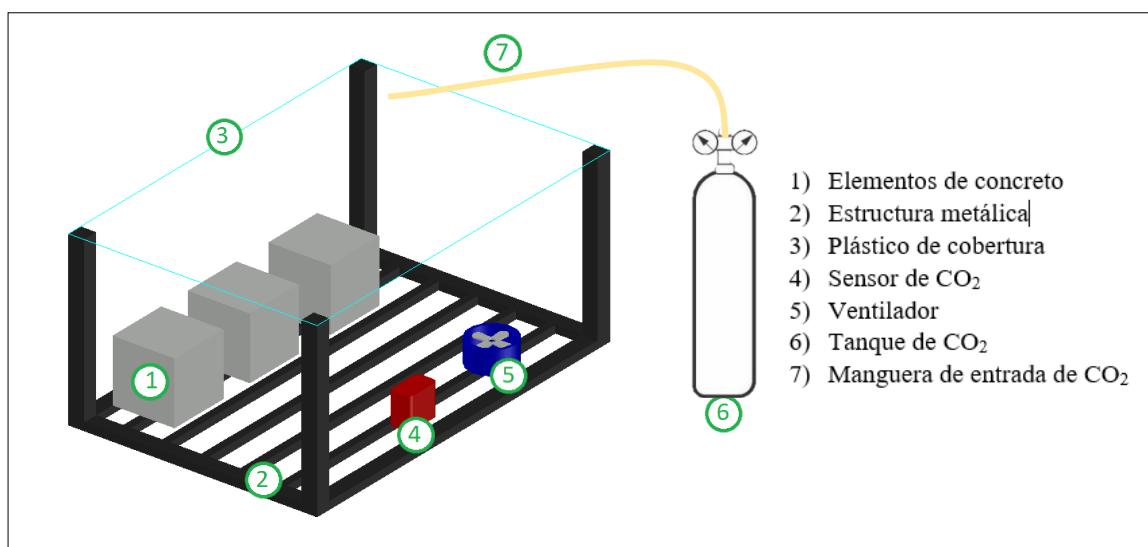
Control activo de CO₂: Se realizó un control activo de los niveles de CO₂ durante todo el proceso para minimizar su variabilidad y asegurar condiciones estables.

Circulación de CO₂: Para garantizar una adecuada distribución del CO₂, se utilizó un ventilador que facilitó su circulación uniforme durante la carbonatación.

Registro de datos: Todos los datos obtenidos durante el proceso fueron registrados de manera precisa, asegurando un análisis confiable de los resultados.

Figura 5

Esquema de cámara de carbonatación acelerada



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Selección de cemento

Para esta investigación se seleccionó el cemento Portland (Pacasmayo Tipo I, bolsa verde)

3.4.3. Selección de agregados

En esta investigación se utilizó arena de río y piedra de río de TMN de ½” de la cantera “Aguilar”, ubicada en el Km 1+100 de la carretera Baños del Inca – Otuzco.

Se tomó una muestra mínima necesaria en laboratorio de acuerdo con lo indicado en la tabla 8. Se seleccionaron 10 kg de arena y, para un tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2”, se consideró una muestra mínima de 15 kg de agregado grueso.

Tabla 7

Cantidad de muestra requerida para realizar los ensayos en laboratorio

Agregado	Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima aproximada para la muestra de campo (kg)
Agregado fino	Nº8 (2.36 mm)	10
	Nº4 (4.75 mm)	10
Agregado grueso	3/8” (9.5 mm)	10
	1/2” (12.5 mm)	15
	3/4” (19.0 mm)	25
	1” (25.0 mm)	50
	1 1/2" (37.5 mm)	75
	2” (50.0 mm)	100
	2” (63.0 mm)	125
	2 1/2” (75.0 mm)	150
	3” (90.0 mm)	175

Fuente: NTP 400.010

3.4.4. Método de cuarteo

(Según la norma ASTM C 702 / NTP 400.043)

Procedimiento

El material preparado en el laboratorio fue colocado sobre una superficie limpia y nivelada. Se mezcló por completo tres veces mediante giros, y luego se amontonó en forma cónica, añadiendo material en la parte superior para formar el cono. Posteriormente, se presionó el cono con una pala plana hasta obtener un diámetro de medida uniforme y se fraccionó en cuatro partes semejantes. Se retiraron los cuartos diagonales enfrentados sucesivamente, se mezclaron y dividieron repetidamente hasta alcanzar el tamaño de muestra deseado. Finalmente, se analizaron las propiedades del material de acuerdo con las normativas establecidas.

3.4.5. Análisis granulométrico de agregados

(Según la norma ASTM C 136 / NTP 400.012)

Equipos

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y con una lectura clara.
- Tamices: Incluir tamaños de 3/4", 1/2", 3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.

Procedimiento:

Se secó la muestra seleccionada a una temperatura sostenida de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$. Posteriormente, se llevó a cabo el tamizado utilizando los tamices correspondientes. Se procedió a pesar el material retenido en cada malla, incluida la cazoleta de fondo, y se determinó el porcentaje retenido de cada muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_x}{W}$$

Donde:

% Retenido: Porcentaje de material retenido en cada malla.

W_x : Peso retenido en cada malla.

W : Peso total del material de muestra.

De acuerdo con los requisitos para el agregado de concreto (NTP 400.037), se define lo siguiente:

- a) Tamaño Máximo Nominal (TMN) y Tamaño Máximo (TM) del agregado.
- b) Módulo de Fineza del agregado grueso (mg):

$$mg = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado} (N^\circ 4, 3/8", 3/4", 1 1/2") + 500}{100}$$

- c) Módulo de Fineza del agregado fino (mf):

$$mf = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulado} (N^\circ 100, N^\circ 50, N^\circ 30, N^\circ 16, N^\circ 8, N^\circ 4)}{100}$$

3.4.6. Peso específico y absorción del agregado grueso

(Según la norma ASTM C127/ NTP 400.021)

Equipos o instrumentos:

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y fácil de leer.
- Recipiente: Se recomienda una canasta de alambre que no exceda el tamaño N°06, diseñada para evitar la retención de aire al sumergirla en agua.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Tanque de agua: Debe estar sellado, aquí se coloca el recipiente con la muestra colgando bajo de la balanza.
- Tamices: Se requerirá el tamiz N°04 y cualquier otro tamiz necesario para el ensayo.

Procedimiento:

- Después de cuartear la muestra, se seleccionaron muestras con un peso superior a 2 kg.
- La muestra fue lavada para eliminar el material que pasó a través de la malla N°04.
- Posteriormente, el material se secó en a una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- La muestra se saturó a temperatura ambiente durante aproximadamente un día. Luego, se frotó con una tela hasta eliminar la película visible de agua, logrando así el estado superficialmente seco saturado (SSS).
- Se registró el peso de la muestra en su estado SSS, la cual se colocó en una canasta inmersa en agua y se pesó.
- Se colocó la muestra en una charola metálica para secar en el horno a una temperatura fija de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Finalmente, se pesó la muestra seca.

Cálculo

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Densidad Relativa SSS} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción} = 100 * \frac{(B - A)}{A}$$

Donde:

A = Masa de la muestra secada al horno al aire (gr)

B = Masa de la muestra de ensayo saturada superficialmente al aire (gr)

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada al agua (gr)

3.4.7. Peso específico y absorción del agregado fino

(Según la norma ASTM C28/ NTP 400.022)

Equipos o instrumentos:

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y de fácil lectura.
- Picnómetro: Recipiente cuyo volumen hasta una marca específica sea al menos un 50% superior al volumen necesario para la muestra de ensayo. Puede utilizarse un matraz aforado de 500 cm³ o un frasco de vidrio con tapa adecuado para su uso como picnómetro.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de ± 5°C.
- Barra compactadora y molde para ensayo de estado SSS: La barra metálica debe tener una cara circular plana para compactar la muestra, mientras que el molde debe tener la forma de un tronco de cono y ser de preferencia metálico.

Procedimiento:

- Después de cuartear la muestra, se seleccionaron muestras con un peso superior a 500 gramos.
- La muestra fue secada en el horno a una temperatura estable de 110°C con una tolerancia de ± 5°C.
- Luego, la muestra se saturó a temperatura ambiente durante aproximadamente 24 horas, seguido por la realización del ensayo para el estado SSS.

- En un recipiente metálico, se colocó parte del material y se compactó con 8 golpes utilizando la barra compactadora. Este proceso se realizó tres veces para llenar el molde en forma cónica.
- Se levantó verticalmente el molde, lo que causó una ligera desagregación del material, dejándola en un estado SSS.
- Se llenó una parte del picnómetro con agua, se introdujo la muestra y luego se llenó completamente.
- Se eliminaron las burbujas de aire agitando el picnómetro, se terminó de llenar con agua hasta la marca de calibración.
- Posteriormente se registró la masa del conjunto.
- Luego, se retiró la muestra del recipiente y se colocó en una charola metálica para secar en el horno a una temperatura fija de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Se tomó y anotó el peso de la muestra seca.

Cálculo

Peso específico de masa (Pe_m)

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

Peso específico de masa saturado con superficie seca (Pe_{SSS})

$$Pe_{SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

Peso específico aparente (Pe_a)

$$Pe_a = \frac{A}{B + A - C}$$

Absorción (%A)

$$\%A = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso de arena seca (g)

B = Peso de fiola llena de agua hasta la marca de calibración (g)

C = Peso de fiola + peso de arena superficialmente seca + peso de agua (g)

S = Peso de arena saturada superficialmente seca (g)

3.4.8. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados

(Según la norma ASTM C29/ NTP 400.017)

Equipos o instrumentos:

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y de fácil lectura.
- Recipiente: Se requiere que sea resistente a altas temperaturas y tener un volumen de 28 litros.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Cucharón: Se necesita que sea de un material resistente y tener un tamaño adecuado para llenar el recipiente con material.
- Varilla para apisonado: Se debe utilizar una barra lisa de acero, ovalada, con un diámetro de $16\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, y que sea recta.

Procedimiento:

Suelto

- Después de cuartear la muestra, se seleccionaron muestras con un peso superior a 15 kg de agregado grueso y 5 kg de arena en estado natural.
- El material se secó en el horno a una temperatura media de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Se pesaron los recipientes de los agregados, además se registró el peso del recipiente con el vidrio y agua. Se tomó la temperatura del agua dentro de los recipientes para determinar la densidad de esta, utilizando tablas del INACAL, y con esto se calculó el volumen de los recipientes.
- Se dejó caer la muestra por la parte superior de los recipientes, desde una elevación de 2 pulgadas. Después de llenar el recipiente, se aplanó la capa superior del agregado utilizando una varilla, de modo que quedara a la misma altura que el borde superior del recipiente (Peso unitario suelto)

- Se dejó caer la muestra por la parte superior de los recipientes, desde una elevación de 2 pulgadas hasta alcanzar la tercera parte de la altura de estos, luego se compactó con una varilla mediante 25 golpes. Este proceso se realizó para tres capas, y luego se aplano la capa superior (Peso unitario compactado)
- Se tomó el peso del recipiente con agregado.

Cálculo

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado (g/cm^3)

G = Peso del recipiente de medida más el agregado (gr)

T = Peso del recipiente (gr)

V = Volumen de la medida (cm^3)

Contenido de vacíos

Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Vacíos = \frac{(Pe_a \times Pe_{agua}) - P_U}{Pe_a \times Pe_{agua}}$$

Donde:

Pe_{agua} = Peso específico del agua (Kg/m^3)

Pe_a = Peso específico aparente (Kg/m^3)

P_U = Peso unitario del agregado (Kg/m^3)

3.4.9. Cantidad de material más fino que pasa por el tamiz N°200

(Según la norma ASTM C117/ NTP 400.018)

Equipos o instrumentos:

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y fácil de leer.
- Recipiente: Se utilizó una charola metálica.
- Estufa: Debe ser idónea para conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamices: Se usaron los tamices N°16 y N°200.

Procedimiento:

- Después de cuartear la muestra, se seleccionaron muestras con un peso superior a 1 kg de piedra y muestras con un peso superior a 300 gramos de arena.
- El material se secó en el horno a una temperatura media de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Se lavó el material utilizando la malla N°200 para la arena y la malla N°16 para la piedra. La muestra se agitó enérgicamente para separar el material que pasa a través del tamiz correspondiente. Este proceso se repitió hasta que el agua deje de ser turbia. El material atrapado se devolvió a los recipientes y se secó en el horno a una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Se tomó el peso de la muestra seca.

Cálculo

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz N°200

P_1 = Peso seco de la muestra original (g)

P_2 = Peso seco de la muestra luego del lavado (g)

3.4.10. Contenido de humedad

(Según la norma ASTM C566/ NTP 339.185)

Equipos o instrumentos:

- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y fácil de leer.
- Recipiente: Se utilizó una charola metálica, suficientemente amplia para contener el material.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Agitador: Puede ser una cuchara o una espátula metálica, para el procedimiento de agitar la muestra.

Procedimiento:

- Después de cuartear la muestra, se seleccionaron muestras con un peso superior a 2 kg en su estado natural, las cuales fueron pesadas para determinar la tara, la muestra y la tara nuevamente.
- El material se secó a una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$. Después de un día en el horno, se pesó la muestra seca.

Cálculo

$$p = \frac{W - D}{D}$$

Donde:

p = contenido de humedad (%)

W = masa de la muestra en estado natural (g)

D = masa de la muestra seca al horno(g)

3.4.11. Resistencia al desgaste o abrasión

(Según la norma ASTM C131/ NTP 400.019)

Equipos o instrumentos:

- Máquina de abrasión Los Ángeles
- Balanza: Debe ser precisa (0.1 gramos) y fácil de leer.
- Carga: Se refiere a las esferas de acero con masa preestablecida.
- Horno: Debe ser capaz de conservar una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Tamices.

Procedimiento:

- Después de dividir la muestra, se seleccionaron muestras de 2.5 kg cada una, una de ellas entre los tamices de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ " y la otra entre $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ".
- El material se secó a una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$. Después de un día en el horno, se pesó la muestra seca.
- Se tomó el peso de las muestras antes de realizar el ensayo en la Máquina de abrasión de Los Ángeles.
- Se colocó el agregado grueso y la carga en la Máquina de Los Ángeles y se giró a una frecuencia de 30 a 33 rpm durante 500 revoluciones, lo que equivale a unos 15 minutos.

- Después del ensayo, se separó la muestra en la malla N°12 por lavado y se transfirió a un depósito metálico.
- El material se secó a una temperatura promedio de 110°C con una tolerancia de $\pm 5^\circ\text{C}$. Después de un día en el horno, se pesó la muestra seca.
- Finalmente, se tomó el peso de la muestra seca.

Cálculo

$$\text{Porcentaje de pérdida} = \frac{(C - Y)}{C} 100$$

Donde:

C = Masa original de la muestra (gr)

Y = Masa final de la muestra (gr)

3.4.12. Diseño de mezcla

Para el concreto con resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, se llevó a cabo la elaboración de la mezcla utilizando agregados provenientes de la Cantera “Aguilar”, Cemento Portland del tipo I de Pacasmayo, y agua corriente suministrada por la red de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Para este propósito, se empleó el método de diseño de mezclas basado en el módulo de finura de la combinación de agregados junto con las tablas proporcionadas por el Comité ACI-211 y se enfocó principalmente en alcanzar la resistencia requerida para el concreto.

Procedimiento para el Diseño de Mezcla

- a) Se fijó la resistencia a compresión $f'cr$ para alcanzar la resistencia especificada $f'c$, utilizando un factor de seguridad de 1.1.
- b) Se seleccionó el TMN del agregado grueso.
- c) Se asignó el slump, considerando una consistencia plástica.
- d) Se estableció el volumen de agua en el diseño para el concreto sin aire incorporado
- e) Se fijó el contenido de aire atrapado.
- f) Se interpoló la relación agua-cemento (a/c) por resistencia, y se definió esta relación agua-cemento.
- g) Se calculó el factor de cemento mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen de agua de diseño}}{42.5 * a/c}$$

h) Se definió los volúmenes de la pasta.

$$\text{Volumen Absoluto} = \text{Peso (m}^3\text{)} \times \text{Peso Especifico}$$

i) Se determinó el volumen de los agregados.

$$\text{Volumen Absoluto. Ag.} = 1 \text{ m}^3 - \text{Volumen Pasta}$$

j) Se interpoló y determinó el valor “mc”

k) Se determinó el porcentaje de (rf), con la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

Donde:

m_c = Módulo de finura de la combinación de agregados.

m_g = Módulo de finura del agregado grueso.

m_f = Módulo de finura del agregado fino.

r_f = % de Ag. Fino en relación con el volumen absoluto del agregado.

l) Se determinó el volumen absoluto de los agregados.

$$\text{Volumen Ag. Fino} = \text{Vol. Agregados} \times \% \text{ Ag. fino}$$

$$\text{Volumen Ag. Grueso} = \text{Vol. Agregados} - \% \text{ Ag. fino}$$

m) Se determinó los pesos secos de los agregados fino y grueso.

$$\text{Peso Seco Agregado} = \text{Vol. Agregado} \times \text{Peso especifico del agregado}$$

n) Se ajustó los valores de humedad del agregado.

$$\text{Peso Ag. húmedo} = \text{Peso seco} \times \text{Contenido de Humedad}$$

$$\text{Humedad Superficial (\%)} = \text{Contenido de Humedad} - \text{Absorción}$$

$$\text{Aporte de Humedad} = \text{Peso seco} \times \text{Humedad superficial}$$

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua de diseño} - \text{Aporte de humedad Agregados}$$

o) Se determinó la proporción en volumen de obra.

p) Se determinó la proporción del lote de mezcla para 0.020 m^3 .

3.4.13. Ajuste del diseño de mezcla

- a) Se determinó la tanda total (0.002 m³).

$$\text{Cemento} = \text{Cemento (kg/cm}^3\text{)} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)}$$

$$\text{Agregados} = \text{Agregados Húmedos (kg/cm}^3\text{)} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)}$$

$$\text{Agua Añadida} = \text{Agua efectiva} \times \text{tanda (0.02m}^3\text{)} + \text{Agua adicional}$$

$$\text{Peso de la tanda} = \sum \text{Materiales por Tanda}$$

- b) Se determinó el rendimiento del lote de mezcla para 0.020 m³.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total de la tanda}}{\text{Peso Unitario del Concreto}}$$

- c) Se determinó el agua de la mezcla por cada lote de mezcla 0.020 m³.

$$\text{Aporte de humedad Ag.} = \text{Ag. por tanda} \left(\frac{\%W - \%W_{Abs}}{100} \right)$$

$$\text{Agua de tanda} = \text{Agua efectiva} + \text{Agua Añadida} + \text{Aportes}$$

$$\text{Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua de la tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

- d) Se definió la nueva cantidad de cemento.

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

- e) Se determinó la cantidad de agregado grueso.

Para la mezcla sobre arenosa

$$\text{Peso(Ag. Grueso seco)} = 1.10 \times \text{PUCS (Ag. Grueso)} \times \frac{b}{b_0}$$

Mezcla con Trabajabilidad satisfactoria

$$\text{Agregado grueso húmedo} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo por tanda}}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Agregado grueso seco} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo}}{1 + \%Humedad/100}$$

$$\text{Agregado grueso S.S.S} = \frac{\text{Agregado grueso húmedo}}{1 + \%Absorción/100}$$

- f) Se determinaron los nuevos volúmenes de materiales para el diseño, los pesos secos de estos, se modificó por humedad, la proporción en peso del diseño, y las proporciones.

3.4.14. Elaboración probetas y elementos de concreto

(Según la norma ASTM C192/ NTP 339.183)

Para la preparación de probetas cilíndricas para ensayos de compresión:

- Los moldes cilíndricos fueron lavados, secados y se aplicó una capa de grasa en la parte inferior e interna para facilitar el desmolde y asegurar la idoneidad de los especímenes de concreto.
- Cada molde cilíndrico fue pesado y se le asignó una codificación única.
- Se pesaron por separado el agregado grueso, agregado fino, cemento y agua en distintos recipientes.
- Los componentes fueron vertidos en el trompo en el siguiente orden: agregado grueso, agregado fino, una parte del agua, seguida del cemento y finalmente el agua restante.
- Se verificó la consistencia plástica de la mezcla utilizando el cono de Abrams, el cual se compactó en tres capas mediante 25 golpes con una varilla, y se midió el asentamiento tras retirar el cono de Abrams.
- El concreto fue vertido en los recipientes cilíndricos y compactado en tres capas, con 25 golpes para cada capa y golpeando los lados externos con una comba de hule entre 10 y 15 veces.
- Finalmente, se pesó el molde cilíndrico con el concreto para registrar su peso total.

Para la preparación de los elementos cúbicos y prismáticos de concreto:

- Se elaboraron los moldes de madera.
- Los moldes fueron humedecidos y se aplicó una capa de grasa en el interior para facilitar el desmolde.
- Los componentes fueron vertidos en el trompo en el siguiente orden: agregado grueso, agregado fino, una parte del agua, seguida del cemento y finalmente el agua restante.
- Se verificó la consistencia plástica de la mezcla utilizando el cono de Abrams, el cual se compactó en tres capas mediante 25 golpes con una varilla, y se midió el asentamiento tras retirar el cono de Abrams.

- El concreto fue vertido en los moldes y compactado en tres capas, con 25 golpes en cada capa y golpeando los lados externos con una comba de goma entre 10 y 15 veces.

3.4.15. Ensayo de asentamiento

(Según la norma NTP 339.035)

Aparatos:

- Molde troncocónico
- Varilla,
- Wincha
- Cucharón

Procedimiento:

- El molde se coloca en una superficie plana, nivelada y lo suficientemente grande para albergar todo el concreto asentado, luego se humedece. El operador debe mantener el molde firmemente en su lugar durante todo el proceso, parado sobre las dos piezas de apoyo de los pies.
- Después, el molde se llena en tres capas, cada una de las cuales ocupará alrededor de un tercio del volumen total del molde.
- Cada capa se compacta utilizando una varilla, dando 25 golpes. Para la primera capa, se inclina ligeramente la varilla y se dan aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, luego se golpea hacia el centro con golpes verticales en espiral. La varilla se pasa por toda su profundidad en la capa inferior, mientras que en las siguientes capas se deja que pase por aproximadamente 1 pulgada.
- Antes del varillado, se agrega una cantidad excesiva de material en la capa final, y si el concreto se rompe debido a la compactación, se agrega más material. Después, se emplea un movimiento de regleado con la varilla para enrasar la superficie del concreto.
- El concreto que rodea la base del molde se retira, pero sin afectar la firmeza del molde.
- El molde se levanta de manera cuidadosa en posición vertical. Inmediatamente después, se mide el asentamiento, que es la diferencia de altura entre la masa de concreto después de retirar el molde y el borde superior del molde

3.4.16. Curado de elementos de concreto

(Según la norma ASTM C192/ NTP339.183)

Procedimiento:

- Después de que la mezcla se haya endurecido (pasadas 24 horas desde su vaciado), se procedió a retirar las muestras de los moldes y a asignarles un código.
- Se rellenó el recipiente con agua y se adicionó cal para prevenir cambios abruptos de temperatura.
- Las muestras se sumergieron en el recipiente de agua de manera que quedaran completamente cubiertas por el líquido.

3.4.17. Resistencia a la compresión

(Según la norma ASTM C39/ NTP 339.034)

- Se extrajeron las muestras del recipiente con agua y se las dejó secar a temperatura ambiente durante media hora. Se pusieron planchas de neopreno tanto en la parte inferior como en la superior de cada muestra de concreto, alineándolas con el eje de empuje de la articulación del bloque.

Cálculo

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A = \frac{\pi\phi^2}{4}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2)

P = Carga última de rotura (kg)

ϕ = Diámetro de la probeta cilíndrica (cm)

3.5 Presentación de resultados

En el laboratorio se obtuvieron los resultados que se presentan a manera de resumen en las siguientes tablas y gráficos, los cuales que se discuten y analizan en el siguiente capítulo.

3.5.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados.

Tabla 8
Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

Descripción	Agregado Grueso	Agregado fino	Unidad
Tamaño máximo nominal	1/2"	--	Pulg.
Módulo de finura	6.76	2.88	--
Peso unitario suelto seco	1453.72	1489.55	kg/m ³
Peso unitario compactado seco	1530.57	1674.37	kg/m ³
Peso específico de Masa	2.56	2.53	g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.59	2.59	g/cm ³
Peso específico aparente	2.65	2.68	g/cm ³
Absorción	1.41	2.18	%
Contenido de Humedad	1.05	5.07	%
Partículas menores que pasa el tamiz N°200	0.49	4.48	%
Abrasión	27.66	--	%
Vacíos	40.14	33.74	%

3.5.2. Resultados del diseño de mezcla

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de los materiales necesarios para un metro cúbico de concreto.

Tabla 9
Peso de los materiales corregidos por humedad.

MATERIALES	CANTIDAD	UNIDADES
Cemento Portland tipo I	397.573	kg/m ³
Agua efectiva	193.701	l/m ³
Agregado fino húmedo	851.513	kg/m ³
Agregado grueso húmedo	808.009	kg/m ³

En la tabla 10 se muestra las proporciones en volumen de los materiales necesarios para la elaboración del concreto.

Tabla 10
Proporción en volumen del diseño de mezcla.

Proporción en volumen	
Cemento	1
Agregado fino	2.504
Agregado grueso	2.447
Agua	20.706

3.5.3. Resultados de las propiedades físico mecánicas del concreto

3.5.3.1. Resultados del peso unitario del concreto fresco

En la siguiente tabla se muestran los resultados y el promedio de los pesos unitarios del concreto fresco.

Tabla 11
Peso unitario del concreto fresco.

Muestra	Peso unitario del concreto fresco (Kg/m³)	Promedio (Kg/m³)
K-01	2337.042	
K-02	2347.506	
K-03	2358.519	2346.510
K-04	2337.870	
K-05	2351.612	

3.5.3.2. Resultados del peso unitario del concreto endurecido

En la tabla 12 se muestran los resultados y el promedio del peso unitario del concreto endurecido.

Tabla 12
Peso unitario del concreto endurecido.

Probeta	P.U. (Kg/m³)	Promedio
K-01	2335.43	
K-02	2354.64	
K-03	2355.70	2349.344
K-04	2344.02	
K-05	2356.93	

3.5.3.3. Resultados de la resistencia a compresión uniaxial del concreto

En la tabla 13 se muestra el resumen del ensayo a compresión uniaxial del concreto $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y $f'cr = 308 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

Tabla 13

Resultado de la resistencia a compresión a los 28 días.

Probeta	Resistencia Obtenida (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
K-01	375.52	
K-02	380.00	
K-03	374.25	378.007
K-04	375.52	
K-05	384.75	

3.5.3.4. Resultados de la concentración de CO₂ y humedad relativa en el ambiente.

En la siguiente tabla se muestra el promedio de la concentración de CO₂ y la humedad relativa en el ambiente (laboratorio de ensayo de materiales).

Tabla 14

Concentración de CO₂ y humedad relativa ambiental.

Concentración de CO ₂ (ppm)	Humedad relativa (%)
399.00	62.33

3.5.3.5. Resultados de la concentración de CO₂ y humedad relativa en la cámara de carbonatación.

En la siguiente tabla se muestra el promedio de la humedad relativa y la concentración de CO₂ en la cámara de carbonatación acelerada.

Tabla 15

Concentración de CO₂ y humedad relativa en la cámara de carbonatación acelerada.

Concentración de CO ₂ (ppm)	Humedad relativa (%)	Temperatura °C
4897.93	68.29	16.57

3.5.3.6. Resultados de la profundidad de carbonatación en los elementos de concreto

En las siguientes tablas y figuras se muestran los resultados de las mediciones de la sección de los elementos de concreto, tanto cúbicos como prismáticos, así como los

resultados promedio de la medición de la profundidad de carbonatación para cada tipo de elemento.

Tabla 16

Sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.

Elementos Cúbicos	Sección Promedio (cm ²)	Profundidad de carbonatación promedio(mm)	Incremento de la profundidad de carbonatación (%)
C5	26.099	1.786	0
C10	102.593	1.793	0.392
C15	232.282	1.831	2.520
C20	406.823	1.836	2.800
C25	634.695	1.864	4.367
C30	905.115	1.861	4.199
C35	1230.837	1.913	7.111
C40	1614.564	1.956	9.518

Tabla 17

Variación de sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.

Elementos cúbicos	
Incremento de sección promedio (cm ²)	Variación promedio de profundidad de carbonatación (mm)
226.924	0.0243

Figura 6

Incremento de la profundidad de carbonatación con respecto a la sección de los elementos cúbicos de concreto.

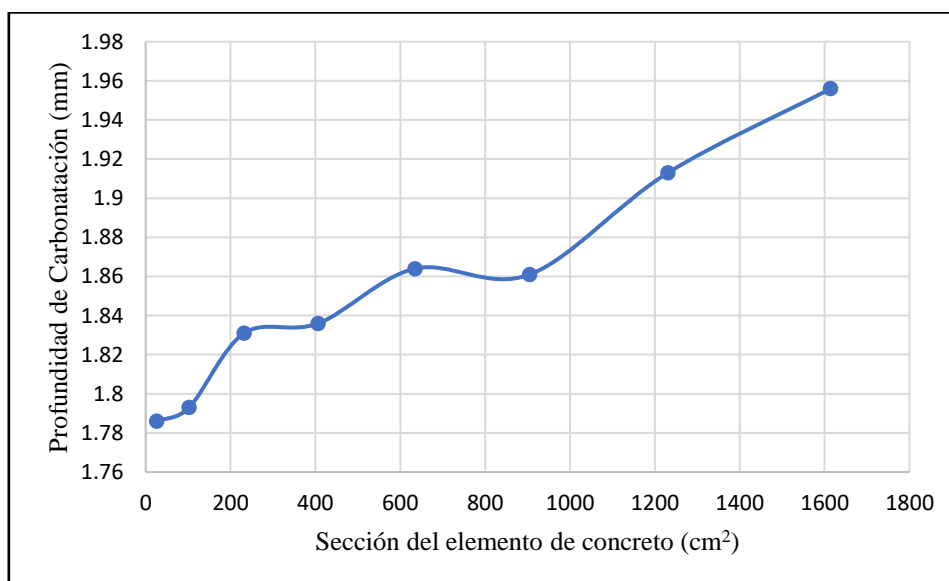


Tabla 18

Sección y profundidad de carbonatación de los elementos prismáticos de concreto.

Elementos Cúbicos	Sección Promedio (cm ²)	Profundidad de carbonatación promedio(mm)	Incremento de la profundidad de carbonatación (%)
P5	52.207	1.803	0
P7.5	115.81	1.799	-0.222
P10	202.974	1.824	1.165
P12.5	314.503	1.847	2.440
P15	456.652	1.873	3.882
P17.5	616.598	1.868	3.605
P20	808.621	1.879	4.215

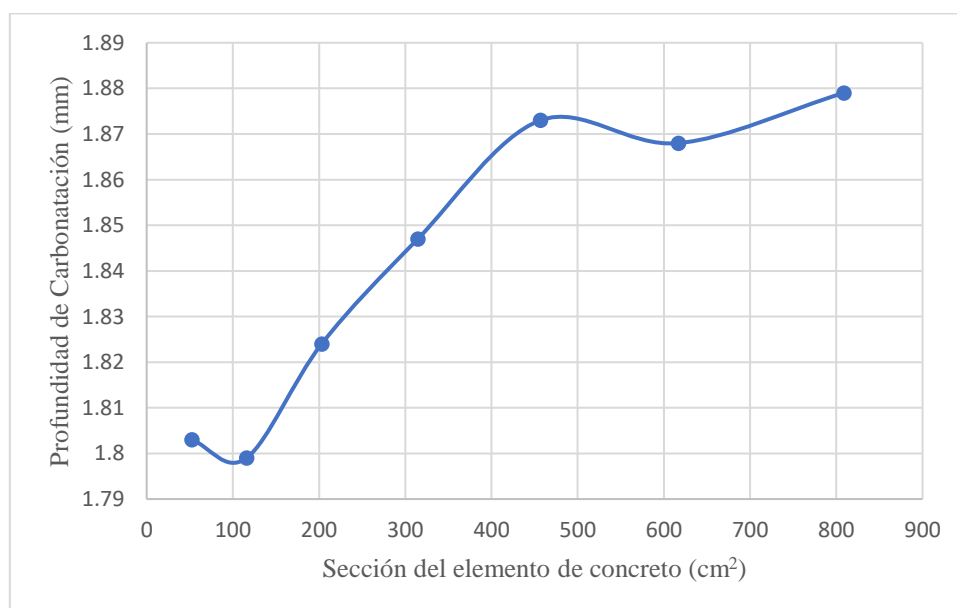
Tabla 19

Variación de sección y profundidad de carbonatación de los elementos cúbicos de concreto.

Elementos prismáticos	
Incremento de sección promedio (cm ²)	Variación promedio de profundidad de carbonatación (mm)
126.069	0.0127

Figura 7

Incremento de la profundidad de carbonatación con respecto a la sección de los elementos Prismáticos de concreto.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Considerando lo establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP 400.037) y los resultados obtenidos en la tabla 8, se observa lo siguiente:

- La granulometría del agregado grueso con TMN ½” está dentro de los límites superiores e inferiores del huso granulométrico N°67, y el agregado fino también cumple con los establecido en el huso granulométrico.
- El agregado fino tiene un módulo de finura de 2.88, lo que cumple con estar dentro del rango recomendado de 2.30 a 3.10.
- La cantidad de partículas que pasan por la malla N°200 en el agregado fino es de 4.48%, lo que cumple con el límite máximo estipulado del 5%.
- La cantidad de partículas que pasan por la malla N°200 en el agregado grueso es de 0.49%, lo cual también cumple con el límite máximo del 1%.
- Por lo tanto, ambos agregados fueron considerados óptimos para el diseño de la mezcla.

En cuanto a la abrasión, según la NTP 400.019, el límite máximo permitido es del 50%. Los resultados obtenidos en la tabla 8 muestran un porcentaje de abrasión de 27.66%, lo que está dentro de los estándares dispuestos.

La tabla 46 presenta el slump de la mezcla, el cual está entre 3” y 4”, lo que indica una trabajabilidad favorable por la consistencia plástica, de acuerdo con la NTP 339.035.

El peso unitario promedio del concreto se indica en la tabla 11 y es de 2346.51 kg/m³, lo que lo clasifica como concreto normal, al estar dentro del intervalo de 2300 a 2500 kg/m³. Además, el peso unitario del concreto endurecido fue solo ligeramente mayor que el del concreto fresco, con una diferencia de menos del 1%.

La resistencia promedio del concreto, presentada en la tabla 13, fue de 378.007 kg/cm², lo que representa un incremento del 22.73% sobre la resistencia específica $f'c = 280$ kg/cm² y $f'cr = 308$ kg/cm² a la edad de 28 días. Estos resultados son consistentes con las expectativas para el cemento Portland Pacasmayo Tipo I (bolsa verde), el cual, teniendo

en cuenta la ficha técnica (Anexo VI), puede superar la resistencia de diseño en un 44% a los 28 días.

Las tablas 14 y 15 detallan las condiciones ambientales y dentro de la cámara de carbonatación acelerada, donde se puede ver que la humedad relativa aumentó de 62.33% en el ambiente a 68.29% dentro de la cámara, pero manteniéndose dentro del rango recomendado de 50% a 70%. La temperatura promedio fue de 16.57°C, lo que facilitó el proceso de carbonatación acelerada, aunque con temperaturas más altas, la carbonatación podría haber sido más rápida. La concentración de CO₂ fue significativamente mayor en la cámara de carbonatación (4897.93 ppm) en comparación con el ambiente natural (399 ppm), lo que significó que durante el proceso de carbonatación los elementos de concreto estuvieron expuestos a una concentración 12.28 veces mayor que en un ambiente natural, combinados, estos valores obtenidos propiciaron a que la exposición acelerada de los elementos de concreto al CO₂ se diera de manera correcta.

En la tabla 16 se muestra la variación de la profundidad de carbonatación respecto al aumento de la sección en los elementos cúbicos de concreto, teniendo como referencia los elementos C5, la variación total en la profundidad de carbonatación fue de 9.518%. De manera similar, la tabla 18 muestra que, para los elementos prismáticos, teniendo como referencia los elementos P5, la variación total en la profundidad de carbonatación fue de 4.215%. Esto confirma una relación directa entre las dimensiones de la sección de los elementos de concreto y la profundidad de carbonatación.

La tabla 17 revela que por cada incremento de 226.924 cm² en la sección de los elementos cúbicos, la profundidad de carbonatación aumentó en 0.0243 mm. De manera similar, la tabla 19 muestra que por cada aumento de 126.069 cm² en los elementos prismáticos, la profundidad de carbonatación aumentó en 0.0127 mm. Con los datos obtenidos se observó que tanto para los elementos cúbicos como prismáticos la relación entre el aumento de sección y el aumento en la profundidad de carbonatación fueron semejantes teniendo en promedio un aumento en la profundidad de carbonatación de 0.0185 mm por cada 176.496 cm² de aumento en la sección de los elementos.

Finalmente, las figuras 6 y 7 ilustran la tendencia creciente de la dependencia entre la profundidad de carbonatación y la sección de los elementos de concreto, lo que reafirma la importancia de las dimensiones seccionales en el comportamiento de la carbonatación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La influencia de las dimensiones de la sección del elemento de concreto en la profundidad de carbonatación si es de relación directa, esto quiere decir que a medida que crece la sección de los elementos de concreto, también incrementa la profundidad de carbonatación, lo que valida el principal objetivo de la investigación.

Los resultados de las mediciones de la profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto mostraron que el promedio para los elementos C5 fue de 1.786 mm, para los elementos C10 fue 1.793 mm, para los elementos C15 fue 1.831 mm, para los elementos C20 fue 1.836, para los elementos C25 fue 1.864, para los elementos C30 fue 1.861, para los elementos C35 fue 1.913 y para los elementos C40 fue 1.956 mm, lo que considerando los elementos de menor sección y los de mayor sección representa un incremento en la profundidad de carbonatación del 9.518%.

En los elementos prismáticos de concreto, las mediciones de la profundidad de carbonatación indicaron que el promedio para los elementos P5 fue de 1.803 mm, para los elementos P7.5 fue 1.799 mm, para los elementos P10 fue 1.824 mm, para los elementos P12.5 fue 1.847, para los elementos P15 fue 1.873, para los elementos P17.5 fue 1.868 y para los elementos P20 fue 1.879 mm, lo que considerando los elementos de menor y mayor sección, representa un aumento en la profundidad de carbonatación del 4.215%.

Los resultados obtenidos con las mediciones de la profundidad de carbonatación de todos los elementos de concreto mostraron que la forma de la sección de los elementos tiene baja influencia en la profundidad de carbonatación para secciones semejantes. En términos cuantitativos, la investigación mostró que en promedio la profundidad de carbonatación aumento en 0.0185 mm por cada 176.496 cm² de incremento en la sección de los elementos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda que se realicen análisis químicos tanto del agua como de los agregados que se utilicen para la preparación del concreto, ya que la composición química de estos podría influir en el comportamiento de la carbonatación.
- Para mitigar la carbonatación en elementos de concreto que requieran grandes secciones, se recomienda implementar medidas preventivas durante el proceso de diseño y construcción. Entre las estrategias más efectivas se incluyen el uso de aditivos inhibidores de la carbonatación o antintemperismo y el incremento de la relación a/c para reducir la porosidad del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO CASTILLO F. Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas), Lima, Perú, Editorial San Marcos. 88p.
- CATARI FALCÓN N. 2021. Evaluación del proceso de carbonatación y cambio de pH del concreto en el canal del túnel – Río Asana, 2018. Tesis de grado. Moquegua, Perú, Universidad José Carlos Mariátegui. 128p.
- CHENG, S., SHUI, Z., & SUN, T. (2021). Prediction of carbonation depth for concrete containing mineral admixtures based on machine learning. *Arabian Journal for Science and Engineering*. [predicción de la profundidad de carbonatación para concreto que contiene aditivos minerales basado en el aprendizaje automático. revista árabe de ciencia e ingeniería], 46, 301. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-05271>
- GONZALES E, ALLOZA A. M. 2011. Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. *Revista Materiales de Construcción*, 6p
- HUNKER (24 de enero del 2019). Hunker. Obtenido de Compresión de hormigón: <https://www.hunker.com/12003167/tension-vs-compression-of-concrete>.
- HUYEN B, DELATTRE F, LEVACHER D. 2022. Métodos experimentales para evaluar el grado de carbonatación en el hormigón: Revisión del estado de arte. *Revista Applied Sciences* 13, n°4.
- ILORO F, SOTA J, ORTEGA N. 2013. Carbonatación acelerada de morteros: Influencia de las adiciones minerales y la edad de curado. *Revista IX congreso internacional sobre patología y recuperación de estructuras*. Brasil, 9p.
- ILORO HORACIO F. 2022. Efectos del CO₂ ambiental sobre la carbonatación de hormigones elaborados con distintos cementos. Tesis doctoral. Bahía Blanca, Argentina, Universidad Nacional del Sur. 284p.
- MEDINA, R. (2016). Conociendo las propiedades del concreto-Boletín N°30. [Archivo PDF]. <https://www.acerosarequipa.com/>
- MONTANI R. 2013. La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. *Revista construcción y tecnología*.
- MOSQUEIRA RAMIREZ C. 2019. Efecto del tiempo de exposición al CO₂, del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, en la profundidad de carbonatación y en la resistencia a compresión. Tesis doctoral. Cajamarca, Perú, Escuela de Posgrado UNC. 159p.

- NTP 339.034 (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.035 (2009). CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. Norma Técnica Peruana.
- NTP 339.185 (2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.010 (2001). AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.012 (2018). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.017 (2011). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.018 (2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (N° 200) por lavado en agregados. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.019 (2002). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.021 (2018). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.022 (2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.037 (2014). AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.043 (2015). AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo. Norma Técnica Peruana.
- ORTEGA GARCÍA, J. E. (2017). Diseño de Estructuras de Concreto Armado. Empresa Editorial Macro E.I.R.L.

- QIN, F. (2024). A review of concrete carbonation depth evaluation models. [Una revisión de los modelos de evaluación de la profundidad de carbonatación del concreto], 14(4), 386. <https://doi.org/10.3390/coatings14040386>.
- Rathnarajan, S., Dhanya, B.S., & Pillai, R.G. (2022). *Carbonation model for concretes with fly ash, slag, and limestone calcined clay—Using accelerated and five-year natural exposure data*. Cement and Concrete Composites. [Modelo de carbonatación para concretos con ceniza volante, escoria y arcilla calcinada de piedra caliza—Utilizando datos de exposición acelerada y natural de cinco años. Compuestos de Cemento y Concreto.] 126, 104329. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104329>
- RIVA LOPEZ E. Naturaleza y Materiales del Concreto, Lima, Perú, Capítulo Peruano ACI. 402p.
- ROJAS BEJAR J. (2022). Evaluación comparativa de resistencia a la compresión a diferentes niveles de pH de concretos expuestos a carbonatación acelerada usando fenolftaleína en la ciudad de Quillabamba-Cusco 2021. Tesis de pregrado. Cusco, Perú, Universidad Andina del Cusco. 251p.
- SALAZAR MAYORGA L. (2023) Evaluación de la resistencia a la corrosión debida a carbonatación en concretos con cementos Pórtland adicionados con caliza y arcilla calcinada. Tesis de maestría. Bogotá, Colombia, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca. 297p.
- TRAVERSA L.P., ILOORO F.H., & BENITO D.E. 2013. Determinación mediante ensayos térmicos del CO₂ absorbido por morteros de cemento, Revista Ciencia y tecnología de los materiales, Argentina, vol. 3, 9p.
- XINHAO W, YANG Q, PENG X. 2024. Una revisión de los modelos de evaluación de la profundidad de carbonatación del hormigón. Universidad Tecnológica de Ningbo. China.

ANEXOS

ANEXO I: RESULTADOS DE ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

1.1. Módulo de fineza del agregado grueso:

Tabla 20*Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 1.*

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico 67	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
1"	25.00	0	0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	1363	51.05	51.05	48.95	45	70
3/8"	9.50	740	27.72	78.76	21.24	20	55
N°4	4.75	518	19.40	98.16	1.84	0	10
N°8	2.36	44	1.65	99.81	0.19	0	5
N°16	1.18	0	0.00	99.81	0.19	0	0
Cazoleta	--	5	0.19	100.00	0.00	--	--
Total		2670					
Módulo de finura		6.77					

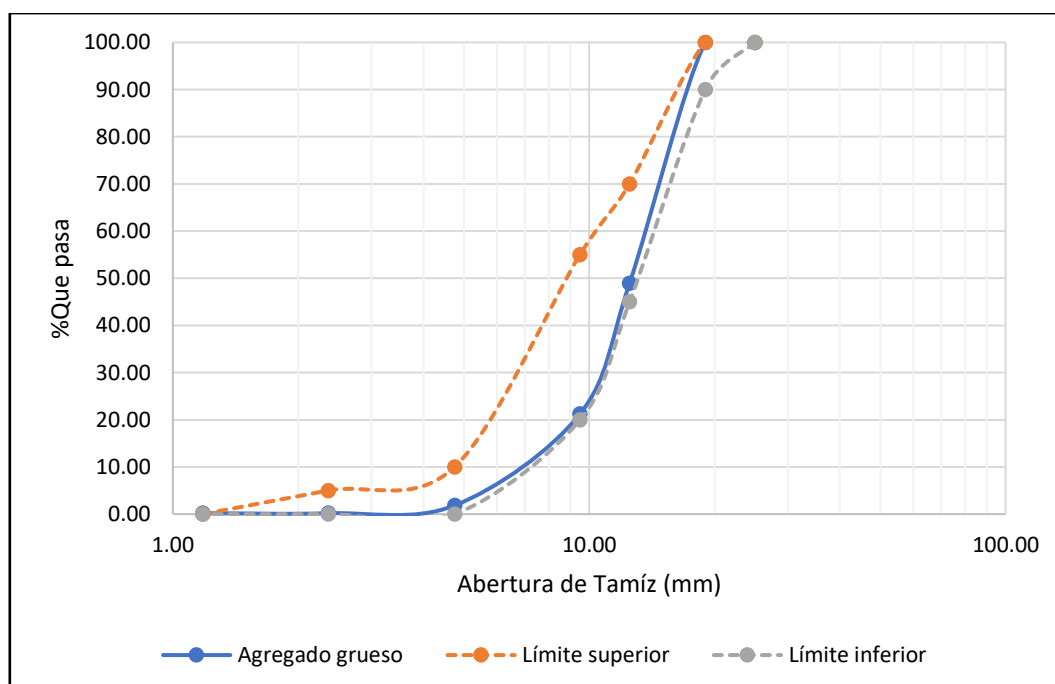
Figura 8*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 1.*

Tabla 21*Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 2.*

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico 67	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
1"	25.00	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	1346	51.85	51.85	48.15	45	70
3/8"	9.50	696	26.81	78.66	21.34	20	55
N°4	4.75	519	19.99	98.65	1.35	0	10
N°8	2.36	26	1.00	99.65	0.35	0	5
N°16	1.18	0	0.00	99.65	0.35	0	0
Cazoleta	--	9	0.35	100.00	0.00	--	--
Total		2596					
Módulo de finura		6.77					

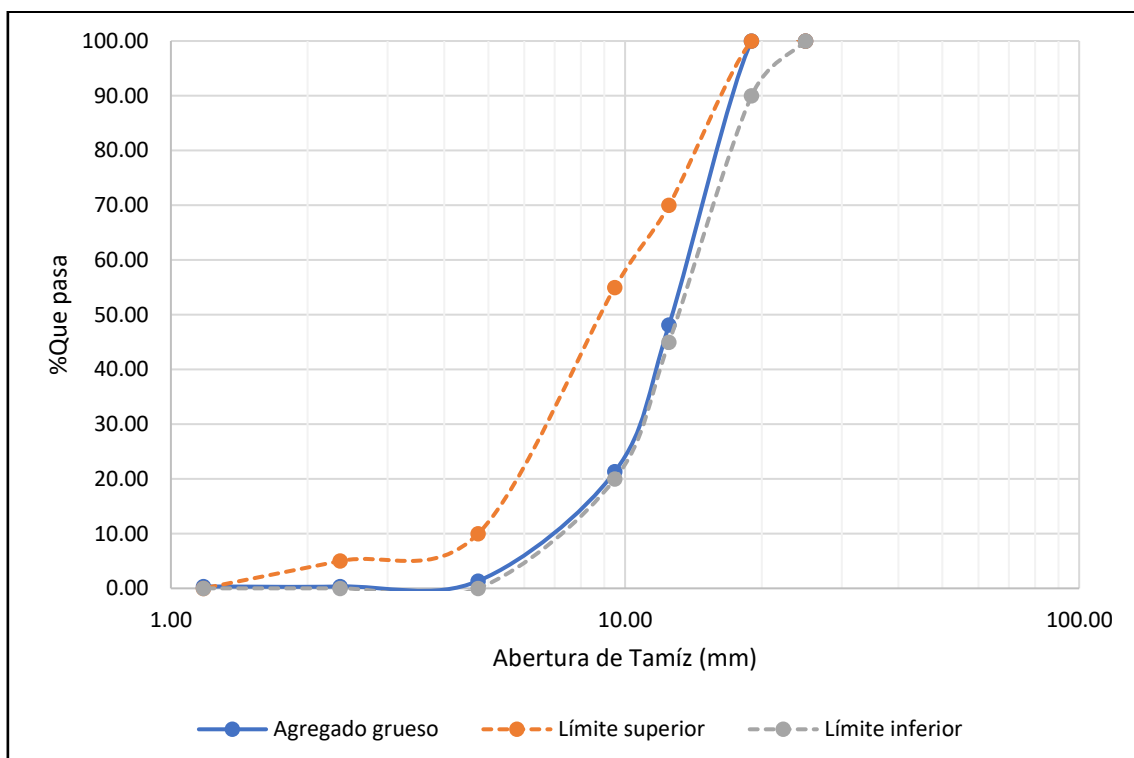
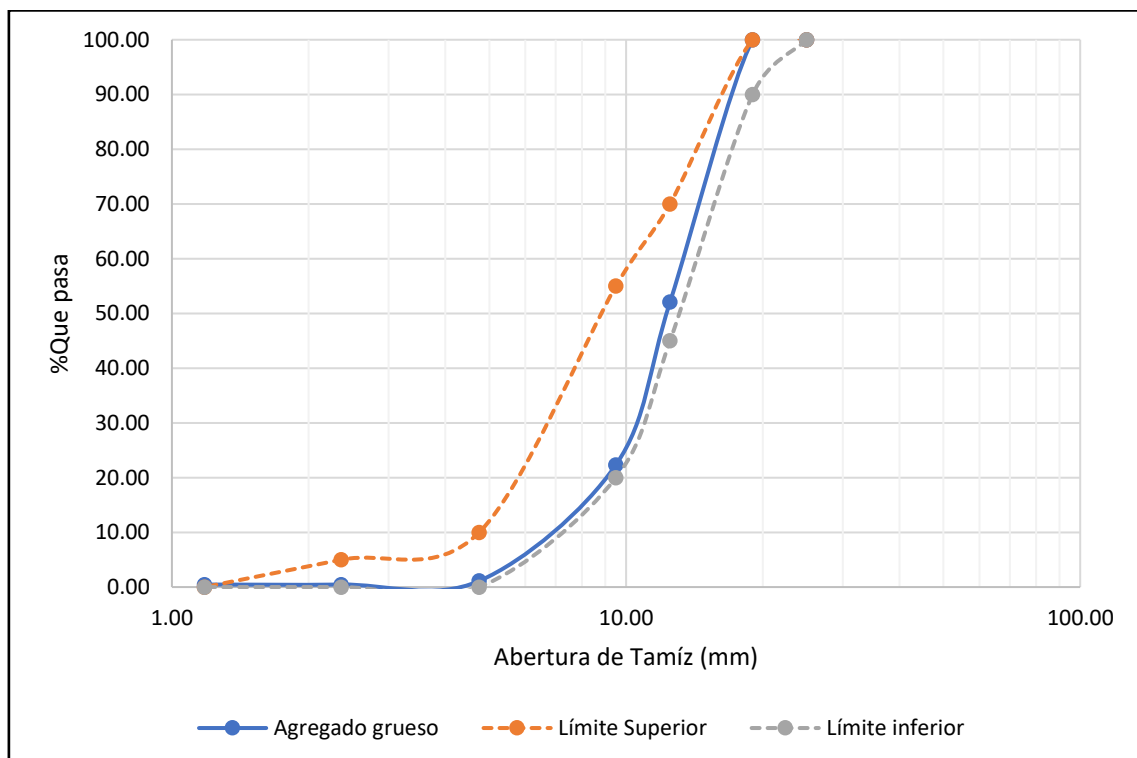
Figura 9*Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 2.*

Tabla 22
Análisis granulométrico del agregado grueso muestra 3.

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico 67	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
1"	25.00	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0	0.00	0.00	100.00	90	100
1/2"	12.50	1244	47.92	47.92	52.08	45	70
3/8"	9.50	772	29.74	77.66	22.34	20	55
N°4	4.75	551	21.22	98.88	1.12	0	10
N°8	2.36	17	0.65	99.54	0.46	0	5
N°16	1.18	0	0.00	99.54	0.46	0	0
Cazoleta	--	12	0.46	100.00	0.00	--	--
Total		2596					
Módulo de finura		6.76					

Figura 10
Curva de distribución granulométrica del agregado grueso muestra 3.



1.2. Módulo de fineza del agregado fino:

Tabla 23*Análisis granulométrico del agregado fino muestra 1.*

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
3/8"	9.50	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	18	3.48	3.48	96.52	95	100
N°8	2.36	53	10.25	13.73	86.27	80	100
N°16	1.18	148	28.63	42.36	57.64	50	85
N°30	0.60	100	19.34	61.70	38.30	25	60
N°50	0.30	70	13.54	75.24	24.76	5	30
N°100	0.15	95	18.38	93.62	6.38	0	10
Cazoleta	--	33	6.38	100.00	0.00	--	--
Total		517					
Módulo de finura		2.90					

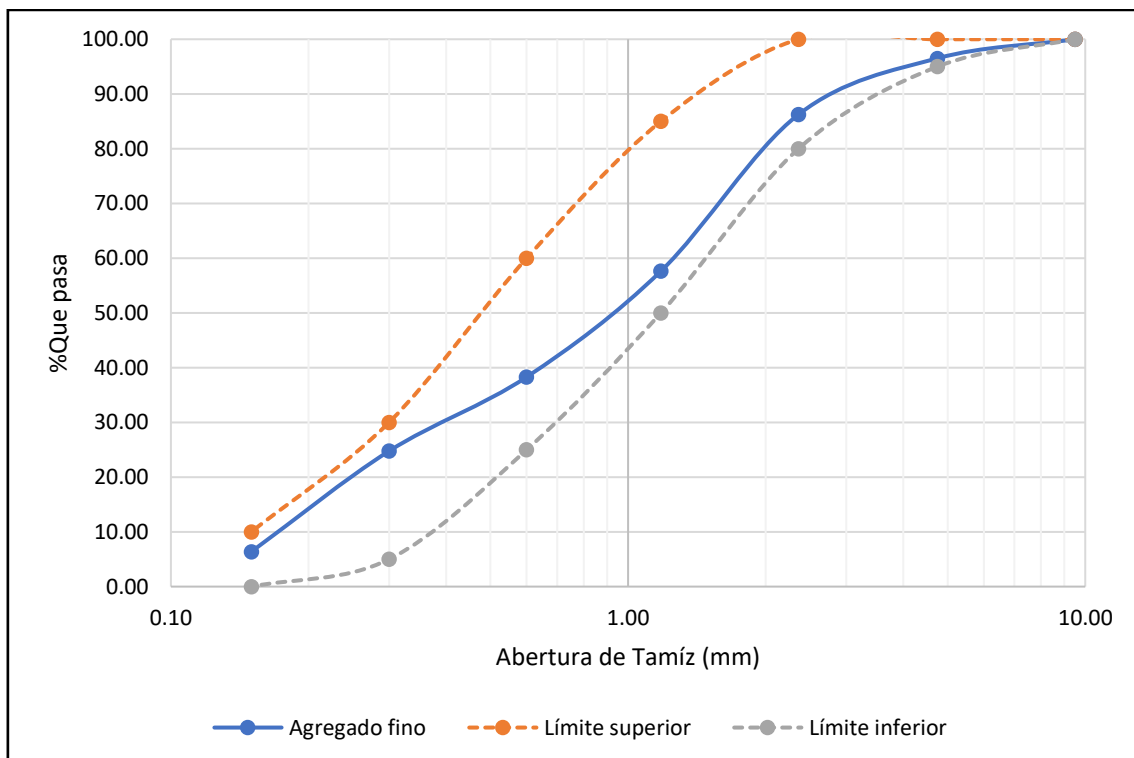
Figura 11*Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 1.*

Tabla 24*Análisis granulométrico del agregado fino muestra 2.*

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
3/8"	9.50	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	22	4.26	4.26	95.74	95	100
N°8	2.36	52	10.06	14.31	85.69	80	100
N°16	1.18	125	24.18	38.49	61.51	50	85
N°30	0.60	110	21.28	59.77	40.23	25	60
N°50	0.30	85	16.44	76.21	23.79	5	30
N°100	0.15	75	14.51	90.72	9.28	0	10
Cazoleta	--	41	7.93	98.65	1.35	--	--
Total		510					
Módulo de finura		2.84					

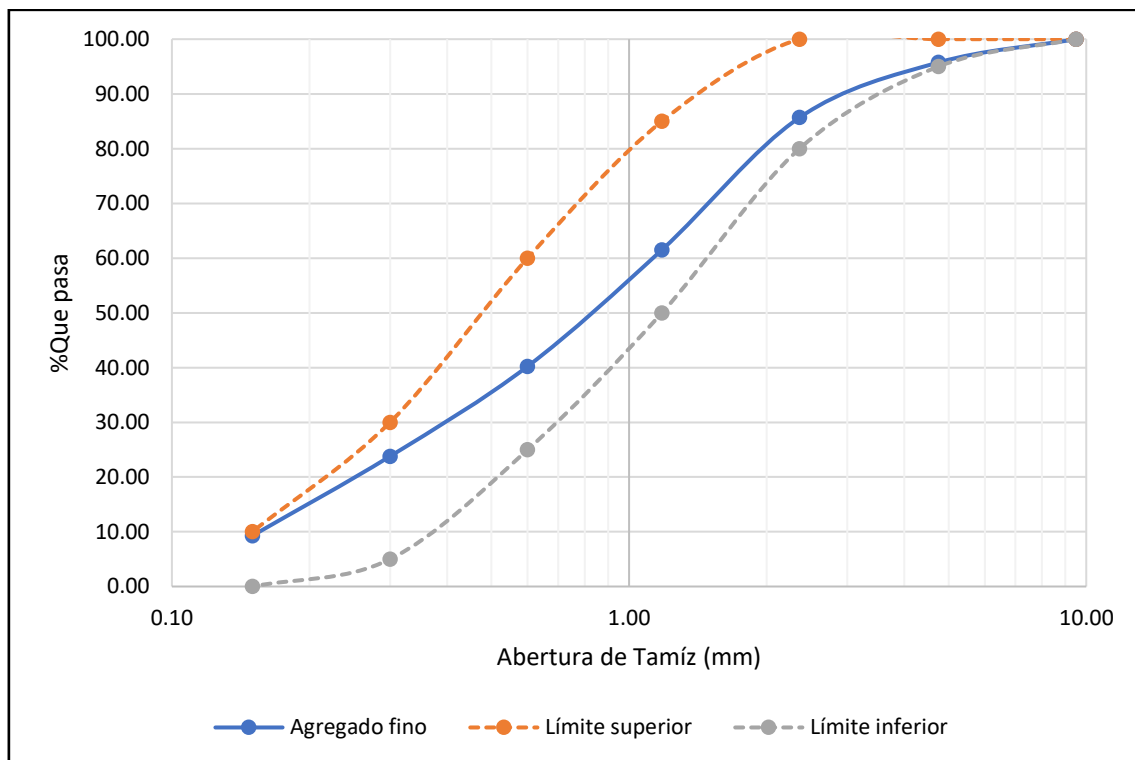
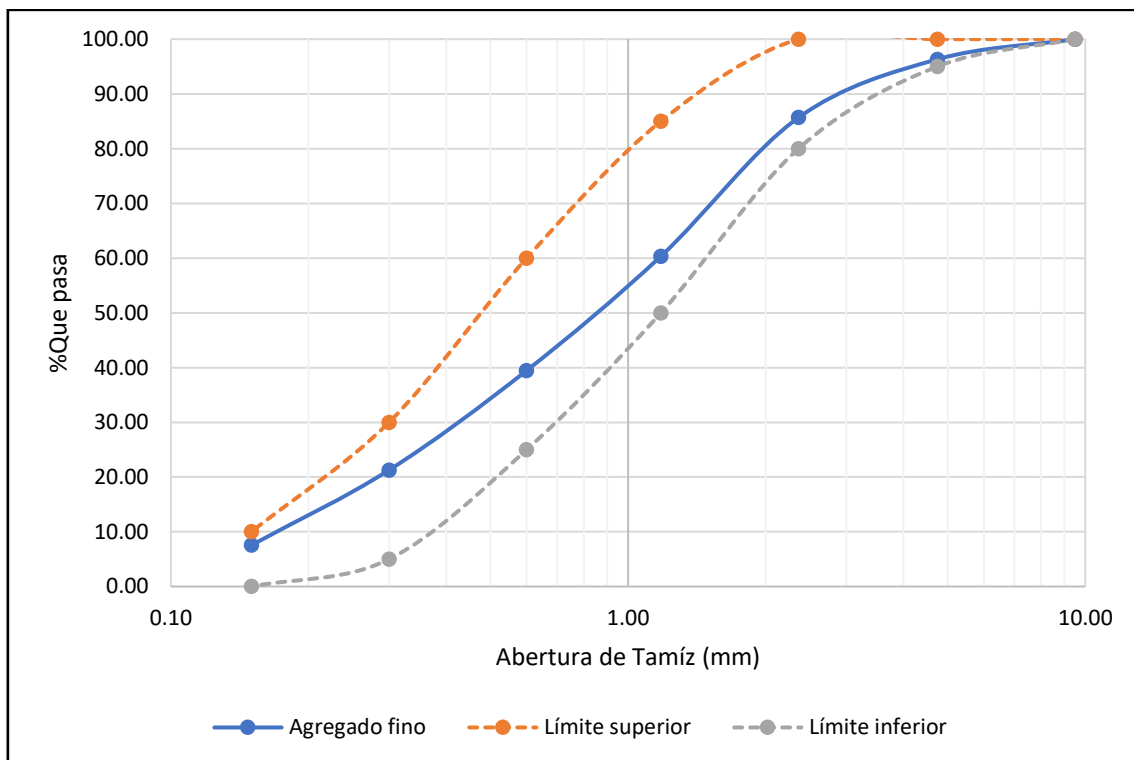
Figura 12*Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 2.*

Tabla 25
Análisis granulométrico del agregado fino muestra 3.

Tamiz N°	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa (%)	Huso granulométrico	
			Parcial (%)	Acumulado (%)		Límite inferior	Límite superior
3/8"	9.50	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N°4	4.75	19	3.68	3.68	96.32	95	100
N°8	2.36	55	10.64	14.31	85.69	80	100
N°16	1.18	131	25.34	39.65	60.35	50	85
N°30	0.60	108	20.89	60.54	39.46	25	60
N°50	0.30	94	18.18	78.72	21.28	5	30
N°100	0.15	71	13.73	92.46	7.54	0	10
Cazoleta	--	38	7.35	99.81	0.19	--	--
Total		516					
Módulo de finura		2.89					

Figura 13
Curva de distribución granulométrica del agregado fino muestra 2.



2. MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ N°200 POR LAVADO DE AGREGADOS

2.1. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 para el agregado grueso.

Tabla 26

Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado grueso.

Descripción	Simbología	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	-	899.9	883.7	883.7
Peso seco de la muestra original + tara (gr)	-	6119.7	5940.4	6090.2
Peso seco de la muestra original (gr)	Wi	5219.8	5056.7	5206.5
Peso seco de la muestra original después del lavado + tara (gr)	-	6097	5904.2	6073.3
Peso seco de la muestra original después del lavado (gr)	Wf	5197.1	5020.5	5189.6
Porcentaje de finos que pasa el tamiz N°200	$\% F = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$	0.43	0.72	0.32
Porcentaje promedio de agregado grueso que pasa el tamiz N°200			0.49 %	

2.2. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 para el agregado fino.

Tabla 27

Materiales más finos que pasan el tamiz N°200 para el agregado fino.

Descripción	Simbología	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	-	99.1	89.0	91.0
Peso seco de la muestra original + tara (gr)	-	1348.5	1284.2	1323.4
Peso seco de la muestra original (gr)	Wi	1249.4	1195.2	1232.4
Peso seco de la muestra original después del lavado + tara (gr)	-	1294.8	1229.8	1266.7
Peso seco de la muestra original después del lavado (gr)	Wf	1195.7	1140.8	1175.7
Porcentaje de finos que pasa el tamiz N°200	$\% F = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$	4.30	4.55	4.60
Porcentaje promedio de agregado fino que pasa el tamiz N°200			4.48	

3. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.

3.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Tabla 28

Peso unitario suelto del agregado grueso.

Descripción	PESO UNITARIO SECO SUELTO		
	Muestra	Muestra	Muestra
	1	2	3
Peso del recipiente (kg)	7.140	7.140	7.140
Peso de recipiente + muestra (kg)	17.122	17.175	17.202
Peso de muestra (kg)	9.982	10.035	10.062
Capacidad del recipiente (m ³)	0.0069	0.0069	0.0069
Peso unitario (kg/m ³)	1447.30	1454.98	1458.90
Promedio	1453.72 Kg/m³		

Tabla 29

Peso unitario compactado del agregado grueso.

Descripción	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO		
	Muestra	Muestra	Muestra
	1	2	3
Peso del recipiente (kg)	7.140	7.140	7.140
Peso de recipiente + muestra (kg)	17.681	17.695	17.713
Peso de muestra (kg)	10.541	10.555	10.573
Capacidad del recipiente (m ³)	0.0069	0.0069	0.0069
Peso unitario (kg/m ³)	1528.35	1530.38	1532.99
Promedio	1530.57 kg/m³		

3.2. Porcentaje de vacíos suelto y compactado del agregado grueso.

Tabla 30

Porcentaje de vacíos del agregado grueso suelto.

Descripción	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO GRUESO SUELTO		
	Muestra	Muestra	Muestra
	1	2	3
Peso unitario (kg/m ³)	1447.30	1454.98	1458.90
Peso Específico del agregado grueso (g/cm ³)	2.56	2.56	2.56
Densidad del agua, (kg/m ³)	998.87	998.87	998.87
Porcentaje de vacíos (%)	43.40%	43.10%	42.95%
Promedio	43.15%		

Tabla 31*Porcentaje de vacíos del agregado grueso compactado.*

Descripción	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO GRUESO COMPACTADO		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso unitario (kg/m ³)	1528.35	1530.38	1532.99
Peso Específico del agregado grueso (g/cm ³)	2.56	2.56	2.56
Densidad del agua, (kg/m ³)	998.87	998.87	998.87
Porcentaje de vacíos (%)	40.23%	40.15%	40.05%
Promedio	40.14%		

3.3. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Tabla 32*Peso unitario suelto del agregado fino.*

Descripción	PESO UNITARIO SECO SUELTO		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del recipiente (kg)	3.87	3.87	3.87
Peso de recipiente + muestra (kg)	8.3	8.42	8.43
Peso de muestra (kg)	4.43	4.55	4.56
Capacidad del recipiente (p ³)	0.0030	0.0030	0.0030
Peso unitario (kg/m ³)	1462.05	1501.65	1504.95
Promedio	1489.55 kg/m³		

Tabla 33*Peso unitario compactado del agregado grueso.*

Descripción	PESO UNITARIO SECO COMPACTADO		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del recipiente (kg)	3.87	3.87	3.87
Peso de recipiente + muestra (kg)	8.89	8.96	8.98
Peso de muestra (kg)	5.02	5.09	5.11
Capacidad del recipiente (p ³)	0.0030	0.0030	0.0030
Peso unitario (kg/m ³)	1656.77	1679.87	1686.47
Promedio	1674.37 kg/m³		

3.4. Porcentaje de vacíos suelto y compactado del agregado fino.

Tabla 34*Porcentaje de vacíos del agregado fino suelto.*

Descripción	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO FINO SUELTO		
	Peso unitario (kg/m ³)	1462.05	1501.65	1504.95
Peso Específico del agregado fino (kg/m ³)	2.53	2.53	2.53
Densidad del agua, (kg/m ³)	998.87	998.87	998.87
Porcentaje de vacíos (%)	42.15%	40.58%	40.45%
Promedio		41.06%	

Tabla 35*Porcentaje de vacíos del agregado fino compactado.*

Descripción	PORCENTAJE DE VACIOS DEL AGREGADO FINO COMPACTADO		
	Peso unitario (kg/m ³)	1656.77	1679.87	1686.47
Peso Específico del agregado fino (kg/m ³)	2.53	2.53	2.53
Densidad del agua, (kg/m ³)	998.87	998.87	998.87
Porcentaje de vacíos (%)	34.44%	33.53%	33.27%
Promedio		33.74%	

4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

4.1. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Tabla 36*Peso específico y absorción del agregado grueso.*

Descripción	Simbología	M1	M2	M3	Promedio
Peso en el aire, de muestra seca al horno (gr)	A	2027	1986	2012	
Peso en el aire, de muestra saturada con superficie seca (gr)	B	2053	2014	2043	
Peso en el agua, de muestra saturada (gr)	C	1267	1239	1247	
Peso Específico de Masa (P.e.m)	$P.e.m = \frac{A}{B - C}$	2.58	2.56	2.53	2.56
Peso Específico con superficie seca (P.e.s.s.s)	$P.e.s.s.s = \frac{B}{B - C}$	2.61	2.60	2.57	2.59
Peso Específico aparente (P.e.a)	$P.e.a = \frac{A}{A - C}$	2.67	2.66	2.63	2.65
Porcentaje de absorción (% A)	$\%A = \frac{B - A}{A}$	1.28%	1.41%	1.54%	1.41%

4.2. Peso específico y absorción del agregado fino.

Tabla 37*Peso específico y absorción del agregado fino.*

Descripción	Simbología	M1	M2	M3	Promedio
Peso de fiola (gr)	-	193	193	193.0	
Peso de fiola + peso de arena superficialmente seca (gr)	-	693	693	693.0	
Peso de fiola + peso de arena superficialmente seca + peso de agua (gr)	C	991.0	997	993	
Peso de fiola lleno de agua hasta la marca de calibración (gr)	B	687	687	687	
Peso de arena saturada superficialmente seca (gr)	S	500	500	500	
Peso de arena seca (gr)	A	491	488	489	
Volumen de fiola (cm ³)	V	500	500	500	
Peso Específico de Masa (P.e.m)	$P.e.m = \frac{A}{B+S-C}$	2.51	2.57	2.52	2.53
Peso Específico con superficie seca (P.e.s.s.s)	$P.e.s.s.s = \frac{S}{B+S-C}$	2.55	2.63	2.58	2.59
Peso Específico aparente (P.e.a)	$P.e.a = \frac{A}{B+A-C}$	2.63	2.74	2.67	2.68
Porcentaje de absorción (% A)	$\%A = \frac{S-A}{A} \times 100$	1.83%	2.46%	2.25%	2.18%

5. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

5.1. Contenido de humedad del agregado grueso.

Tabla 38*Contenido de humedad del agregado grueso.*

Descripción	Simbología	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de recipiente (gr)	-	136	140	132
Peso de recipiente + muestra húmeda (gr)	-	2163	2152	2175
Peso de recipiente + muestra seca (gr)	-	2141	2130	2156
Peso del agua evaporada (gr)	H	22	22	19
Peso de muestra seca (gr)	Ms	2005	1990	2024
Contenido de Humedad (%)	$\%W = \frac{H}{Ms} \times 100$	1.10	1.11	0.94
Contenido de humedad promedio del agregado grueso			1.05 %	

5.2. Contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 39*Contenido de humedad del agregado fino.*

Descripción	Simbología	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de recipiente (gr)	-	46	44	57
Peso de recipiente + muestra húmeda (gr)	-	580	566	596
Peso de recipiente + muestra seca (gr)	-	556	546	563
Peso del agua evaporada (gr)	H	24	20	33
Peso de muestra seca (gr)	Ms	510	502	506
Contenido de Humedad (%)	$\%W = \frac{H}{Ms} \times 100$	4.71	3.98	6.52
Contenido de humedad promedio del agregado fino			5.07 %	

6. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO**Tabla 40***Resistencia al desgaste del agregado grueso.*

Gradación	Nº de esferas	Velocidad (rev./min)	Nº de revoluciones	TMN	Peso de la muestra (g)	
B	11	30 - 33	500	1/2"	5000	
Descripción				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso inicial de la muestra seca (g)				5000	5000	5000
Peso retenido en la malla Nº12 lavado y secado (g)				3619	3590	3642
% Desgaste				27.62	28.2	27.16
Abrasión % Desgaste Promedio				27.66		

ANEXO II: TABLAS ACI PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO**Tabla 41***Volumen unitario de agua.*

Tipo de concreto	Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
		TMN del agregado grueso							
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Sin aire incorporado	1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
	3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
	6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Con aire incorporado	1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
	3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
	6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	--

Fuente: Rivva Enrique (2013).

Tabla 42
Contenido de aire.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Aire Atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%

Fuente: Rivva Enrique (2013)

Tabla 43
Relación agua cemento por resistencia.

Resistencia a la compresión a los 28 días, f'c (Kg/cm ²)	Relación a/c de diseño en Peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	--
400	0.43	--
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Rivva Enrique (2013)

Tabla 44
Módulo de fineza de la combinación de agregados.

Agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados, el cual da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en saco/m ³ indicados.			
	TMN	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.49	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Rivva Enrique (2013)

ANEXO III: DISEÑO DE MEZCLAS

Tabla 45

Diseño de mezclas del concreto.

DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO		
Cemento Pacasmayo Tipo I		
Peso específico	3.11	g/cm ³
1. Resistencia a la compresión requerida.		
Resistencia a la compresión específica del concreto (f'c) =	280	kg/cm ²
Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'cr) = f'c*1.1 =	308	kg/cm ²
* Se consideró el valor 1.1 por condiciones de laboratorio		
2. Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN) =	1/2"	
3. Asentamiento	3 - 4 "	
4. Volumen unitario de agua (Tabla 42)	216	l/m ³
5. Aire atrapado (Tabla 43)	2.5	%
6. Relación agua - cemento por resistencia (Tabla 44)		
	300	0.55
	308	x
	350	0.48
	a/c=	0.5388
7. Contenido de cemento		
Cemento =	400.891	kg/m ³
Factor Cemento =	9.433	bls/m ³
8. Volúmenes absolutos de la pasta.		
Cemento =	0.129	m ³
Agua de diseño =	0.216	m ³
Volumen de aire =	0.025	m ³
Σ =	0.370	m ³
9. Volúmenes absolutos de los agregados =	0.630	m ³
10. Vacíos por corregir =	5.14	%
11. Cálculo del valor m y grado de incidencia de los agregados (Tabla 45)		
	8	4.61
	9	4.69
	9.433	x
	m sin corregir por vacíos=	4.725
	m corregido por vacíos=	4.622
12. Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto.		
% Agreg. Fino	55.10%	
% Agreg. Grueso	44.90%	
13. Volúmenes absolutos		
Cemento =	0.129	m ³
Agua de diseño =	0.216	m ³
Aire =	0.025	m ³
Agregado fino =	0.347	m ³
Agregado grueso =	0.283	m ³
Σ =	1	m ³
14. Peso seco de los materiales de diseño por m³		
Cemento =	400.891	kg/m ³
Agua de diseño =	216	l/m ³
Agregado fino seco =	878.932	kg/m ³
Agregado grueso seco =	723.149	kg/m ³
15. Corrección por humedad de los agregados		
Humedad superficial de los agregados		
Agregado fino =	2.89	%
Agregado grueso =	-0.36	%

Aporte de agua a la mezcla		
Agregado fino =	26.690	
Agregado grueso =	-2.659	
Aporte total =	24.030	
Materiales corregidos por humedad		
Cemento =	400.891	kg/m ³
Agregado fino húmedo =	923.499	l/m ³
Agregado grueso húmedo =	730.722	kg/m ³
Agua =	191.970	kg/m ³
16. Proporción en peso		
Cemento =	1	
Agregado fino =	2.304	
Agregado grueso =	1.823	
Agua =	20.351	l/bolsa
17. Proporción en volumen		
Cemento =	1	
Agregado fino =	2.694	
Agregado grueso =	2.195	
Agua =	20.351	l/bolsa
18. Proporción por tanda (0.020 m3)		
Cemento =	8.018	kg/m ³
Agregado fino =	18.470	kg/m ³
Agregado grueso =	14.614	kg/m ³
Agua =	3.839	l

Tabla 46
Ajuste del diseño de mezclas.

AJUSTE POR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE DISEÑO		
1. Volúmenes absolutos (diseño de mezcla)		
Cemento	0.129	m ³
Agua	0.216	m ³
Volumen de Aire	0.025	m ³
Agregado grueso	0.331	m ³
Agregado fino	0.300	m ³
2. Peso seco de los materiales de diseño por m3		
Cemento	400.891	kg/m ³
Agua	216	l/m ³
Agregado fino	836.691	kg/m ³
Agregado grueso	765.807	kg/m ³
3. Corrección de humedad de los agregados		
Aporte de humedad de los agregados		
Agregado fino	25.407	
Agregado grueso	-2.816	
Agua libre	22.591	
Materiales corregidos por humedad		
Cemento	400.891	kg/m ³
Agregado fino	879.116	kg/m ³
Agregado grueso	773.827	kg/m ³
Agua	193.409	l/m ³
4. Datos obtenidos en laboratorio		

Apariencia	Buena	
Trabajabilidad	Satisfactoria	
Asentamiento	7.9	
Agua sobrante	0.217	
Peso unitario fresco	2346.510	
5. Tanda total (0.02 m3)		
Cemento	8.018	kg/tanda
Agregado fino	17.582	kg/tanda
Agregado grueso	15.477	kg/tanda
Agua	3.868	l/tanda
Σ	44.945	kg/tanda
6. Rendimiento		
Sumatoria Tanda/ P.U. cf	0.0192	m3/tanda
7. Agua de mezcla por tanda		
Aporte agregado fino	0.508	l/tanda
Aporte agregado grueso	-0.056	l/tanda
Agua efectiva (diseño ori)	3.868	l/tanda
Agua sobrante	-0.217	l/tanda
Σ	4.103	l/tanda
8. Agua de mezcla por m3		
Agua de mezcla	214.212	l/m ³
9. Cálculo del cemento nuevo		
Cemento	397.573	kg/m ³
10. Determinación del agregado grueso		
Agregado grueso húmedo	808.009	kg/m ³
Agregado grueso seco	799.635	kg/m ³
Agregado grueso SSS	805.079	kg/m ³
11. Determinación del agregado fino		
Cemento	0.128	m ³
Agua de diseño	0.214	m ³
Aire	0.025	m ³
Agregado grueso seco	0.313	m ³
Agregado grueso fino	0.320	m ³
12. Peso seco de los materiales de diseño por m3		
Cemento	397.573	kg/m ³
Agua de diseño	214.212	l/m ³
Agregado grueso seco	799.635	kg/m ³
Agregado fino seco	810.421	kg/m ³
13. Corrección por humedad de los agregados		
Humedad superficial de los agregados		
Agregado fino	2.89	%
Agregado grueso	-0.36	%
Aporte de humedad de los agregados		
Agregado fino	23.422	
Agregado grueso	-2.910	
Σ	20.512	

Materiales corregidos por humedad

Cemento	397.573	kg/m ³
Agua	193.701	l/m ³
Agregado fino húmedo	851.513	kg/m ³
	808.009	kg/m ³

14. Proporción en peso

Cemento	1	
Agregado fino	2.142	
Agregado grueso	2.032	
Agua	20.706	l/bolsa

15. Proporción en volumen

Cemento	1	
Agregado fino	2.504	
Agregado grueso	2.447	
Agua	20.706	l/bolsa

16. Proporción por tanda 0.02

Cemento	7.951	kg/tanda
Agregado fino	17.030	kg/tanda
Agregado grueso	16.160	kg/tanda
Agua	3.874	l/tanda
Σ	45.016	kg/tanda

ANEXO IV: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**1. RESULTADOS DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO****Tabla 47***Peso unitario del concreto fresco.*

Muestra	Peso del recipiente (kg)	Peso del recipiente más concreto (kg)	Peso del concreto (kg)	Factor "F"	Peso unitario del concreto fresco (kg/m ³)
1	8.549	21.607	13.058	178.974	2337.042
2	8.540	21.635	13.095	179.267	2347.506
3	8.529	21.608	13.079	180.329	2358.519
4	8.614	21.651	13.037	179.326	2337.870
5	8.536	21.551	13.015	180.685	2351.612
Promedio					2346.510

2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN UNIAXIAL

Tabla 48

Resistencia a la compresión uniaxial.

Probeta	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	P.U. (kg/m ³)	Carga Rotura (kg)	Tipo de falla	Resistencia Obtenida (kg/cm ²)
K-01	15.24	30.44	182.42	0.005553	12.968	2335.43	68500	5	375.52
K-02	15.26	30.31	182.89	0.005544	13.053	2354.64	69500	6	380.00
K-03	15.21	30.33	181.70	0.005511	12.982	2355.70	68000	5	374.25
K-04	15.24	30.38	182.42	0.005542	12.99	2344.02	68500	5	375.52
K-05	15.22	30.23	181.94	0.005500	12.963	2356.93	70000	5	384.75
Resistencia media									378.01
Rango muestral									10.50
Varianza									18.991
Desviación estándar									4.358
CV									1.153

3. RESULTADOS DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ Y LA HUMEDAD RELATIVA

Tabla 49

Concentración ambiental del CO₂ y humedad relativa.

Lectura	Concentración de CO ₂ (ppm)	Humedad relativa (%)
1	395	61
2	400	63
3	402	63
Promedio	399.00	62.33

Tabla 50

Concentración de CO₂ y humedad relativa en cámara de carbonatación.

Lectura N°	Concentración de CO ₂ (ppm)	Humedad relativa (%)	Temperatura °C
1	5230	64	16
2	4960	67	14
3	5110	67	13
4	4562	70	19
5	5187	73	18
6	4987	68	17
7	4603	68	20
8	4890	68	19
9	5127	70	17
10	4470	66	18
11	5025	67	14
12	4785	67	15
13	4486	72	15
14	5149	69	17
Promedio	4897.93	68.29	16.57

4. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS DE LA SECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO

4.1. Medidas de los elementos cúbicos de concreto.

Tabla 51

Medidas de los elementos cúbicos de concreto C5.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C5 - 1	5.10	5.08	5.20	5.16	26.20	
	5.07		5.15			
	5.07		5.12			
C5 - 2	5.20	5.19	5.15	5.13	26.66	
	5.20		5.15			
	5.18		5.10			
C5 - 3	5.10	5.11	5.05	5.02	25.62	26.099
	5.12		5.00			
	5.10		5.00			
C5 - 4	5.05	5.07	5.10	5.08	25.72	
	5.10		5.10			
	5.05		5.03			
C5 - 5	5.15	5.16	5.10	5.10	26.30	
	5.20		5.10			
	5.12		5.10			

Tabla 52

Medidas de los elementos cúbicos de concreto C10.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C10 - 1	10.20	10.16	10.15	10.16	103.19	
	10.15		10.12			
	10.12		10.21			
C10 - 2	10.15	10.16	10.22	10.16	103.16	
	10.20		10.15			
	10.12		10.10			
C10 - 3	9.90	9.91	10.00	9.98	98.87	102.593
	9.90		9.95			
	9.93		9.98			
C10 - 4	10.20	10.15	10.05	10.08	102.35	
	10.15		10.10			
	10.10		10.10			
C10 - 5	10.32	10.32	10.20	10.22	105.40	
	10.38		10.20			
	10.25		10.25			

Tabla 53*Medidas de los elementos cúbicos de concreto C15.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C15 - 1	15.20	15.22	14.95	15.07	229.26	
	15.15		15.15			
	15.30		15.10			
C15 - 2	15.40	15.47	15.40	15.32	236.90	
	15.50		15.30			
	15.50		15.25			
C15 - 3	15.20	15.22	15.35	15.28	232.56	232.282
	15.30		15.30			
	15.15		15.20			
C15 - 4	15.10	15.13	15.10	15.18	229.77	
	15.25		15.15			
	15.05		15.30			
C15 - 5	15.00	15.17	15.35	15.36	232.91	
	15.20		15.40			
	15.30		15.32			

Tabla 54*Medidas de los elementos cúbicos de concreto C20.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C20 - 1	20.20	20.15	20.05	20.05	404.01	
	20.15		20.07			
	20.10		20.03			
C20 - 2	20.20	20.18	20.00	20.02	404.00	
	20.20		20.00			
	20.15		20.05			
C20 - 3	20.35	20.30	20.05	20.08	407.69	406.823
	20.30		20.05			
	20.25		20.15			
C20 - 4	20.30	20.40	20.10	20.13	410.72	
	20.50		20.10			
	20.40		20.20			
C20 - 5	20.05	20.10	20.25	20.28	407.70	
	20.10		20.30			
	20.15		20.30			

Tabla 55
Medidas de los elementos cúbicos de concreto C25.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C25 - 1	25.05	25.07	25.40	25.43	637.53	
	25.10		25.50			
	25.05		25.40			
C25 - 2	25.25	25.30	25.10	25.13	635.87	
	25.30		25.15			
	25.35		25.15			
C25 - 3	25.20	25.18	25.15	25.20	634.62	634.695
	25.20		25.25			
	25.15		25.20			
C25 - 4	25.10	25.07	25.30	25.23	632.52	
	25.00		25.20			
	25.10		25.20			
C25 - 5	25.20	25.23	25.10	25.08	632.94	
	25.20		25.00			
	25.30		25.15			

Tabla 56
Medidas de los elementos cúbicos de concreto C30.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C30 - 1	30.05	30.10	30.20	30.25	910.53	
	30.10		30.30			
	30.15		30.25			
C30 - 2	30.00	29.93	30.10	30.17	902.99	
	29.90		30.20			
	29.90		30.20			
C30 - 3	29.80	29.90	30.05	30.03	898.00	905.115
	29.90		30.00			
	30.00		30.05			
C30 - 4	29.80	29.87	30.05	30.03	897.00	
	29.90		30.05			
	29.90		30.00			
C30 - 5	30.30	30.18	30.40	30.38	917.07	
	30.25		30.35			
	30.00		30.40			

Tabla 57
Medidas de los elementos cúbicos de concreto C35.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C35 - 1	34.90	34.98	35.20	35.22	1232.00	
	35.00		35.20			
	35.05		35.25			
C35 - 2	35.10	35.13	35.15	35.17	1235.52	
	35.15		35.20			
	35.15		35.15			
C35 - 3	35.00	35.03	34.95	34.97	1225.00	1230.837
	35.00		34.90			
	35.10		35.05			
C35 - 4	35.05	35.08	35.15	35.15	1233.18	
	35.15		35.20			
	35.05		35.10			
C35 - 5	35.10	35.17	34.90	34.93	1228.49	
	35.20		34.90			
	35.20		35.00			

Tabla 58
Medidas de los elementos cúbicos de concreto C40.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
C40 - 1	40.40	40.28	40.00	40.05	1613.35	
	40.30		40.00			
	40.15		40.15			
C40 - 2	40.25	40.27	40.10	40.12	1615.36	
	40.30		40.15			
	40.25		40.10			
C40 - 3	40.20	40.18	40.50	40.43	1624.75	1614.564
	40.35		40.70			
	40.00		40.10			
C40 - 4	40.10	40.10	40.25	40.20	1612.02	
	40.05		40.20			
	40.15		40.15			
C40 - 5	40.10	40.12	40.15	40.07	1607.34	
	40.05		40.05			
	40.20		40.00			

4.2. Medidas de los elementos prismáticos de concreto.

Tabla 59*Medidas de los elementos prismáticos de concreto P5.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P5 - 1	5.15	5.233	10.15	10.117	52.944	
	5.2		10			
	5.35		10.2			
P5 - 2	5.1	5.117	10.1	10.133	51.849	
	5.15		10.15			
	5.1		10.15			
P5 - 3	5.15	5.160	10.2	10.250	52.890	52.207
	5.2		10.3			
	5.13		10.25			
P5 - 4	5.05	5.033	10.1	10.083	50.753	
	5.05		10.05			
	5		10.1			
P5 - 5	5.25	5.260	10	10.000	52.600	
	5.25		10			
	5.28		10			

Tabla 60*Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P7.5.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P7.5 - 1	7.8	7.767	15.15	15.050	116.888	
	7.7		15			
	7.8		15			
P7.5 - 2	7.3	7.333	15.1	15.033	110.244	
	7.3		15			
	7.4		15			
P7.5 - 3	7.6	7.600	15	15.083	114.633	115.810
	7.6		15.1			
	7.6		15.15			
P7.5 - 4	7.6	7.667	15.25	15.083	115.639	
	7.7		15			
	7.7		15			
P7.5 - 5	8	7.933	15.2	15.333	121.644	
	7.9		15.3			
	7.9		15.5			

Tabla 61*Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P10.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P10 - 1	10.3	10.233	20.2	20.033	205.008	
	10.3		20			
	10.1		19.9			
P10 - 2	10	10.050	20	20.100	202.005	
	10.1		20.2			
	10.05		20.1			
P10 - 3	10.1	10.117	20	20.100	203.345	202.974
	10.1		20.15			
	10.15		20.15			
P10 - 4	10.1	10.117	20.2	20.083	203.176	
	10.15		20.05			
	10.1		20			
P10 - 5	10.05	10.033	20.1	20.067	201.336	
	10.05		20			
	10		20.1			

Tabla 62*Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P12.5.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P12.5 - 1	12.5	12.533	25	24.967	312.916	
	12.55		24.9			
	12.55		25			
P12.5 - 2	12.3	12.417	25.05	25.033	310.831	
	12.45		25			
	12.5		25.05			
P12.5 - 3	12.8	12.667	25.1	25.083	317.722	314.503
	12.7		25.1			
	12.5		25.05			
P12.5 - 4	12.5	12.483	25.2	25.167	314.164	
	12.5		25.2			
	12.45		25.1			
P12.5 - 5	12.65	12.650	25.05	25.050	316.883	
	12.6		25			
	12.7		25.1			

Tabla 63*Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P15.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P15 - 1	15.1	15.150	30	30.033	455.005	
	15.2		30			
	15.15		30.1			
P15 - 2	15.2	15.183	30.1	30.133	457.524	
	15.15		30.1			
	15.2		30.2			
P15 - 3	15.4	15.283	30	30.117	460.283	456.652
	15.3		30.2			
	15.15		30.15			
P15 - 4	15.2	15.267	29.9	29.833	455.456	
	15.2		29.8			
	15.4		29.8			
P15 - 5	15.2	15.183	29.9	29.967	454.994	
	15.15		30			
	15.2		30			

Tabla 64*Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P17.5.*

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P17.5 - 1	17.4	17.450	35.1	35.117	612.786	
	17.5		35.15			
	17.45		35.1			
P17.5 - 2	17.7	17.667	35	35.083	619.806	
	17.7		35.05			
	17.6		35.2			
P17.5 - 3	17.5	17.550	35.1	35.133	616.590	616.598
	17.5		35.15			
	17.65		35.15			
P17.5 - 4	17.4	17.467	35.2	35.217	615.118	
	17.45		35.3			
	17.55		35.15			
P17.5 - 5	17.6	17.650	35.05	35.053	618.691	
	17.7		35.01			
	17.65		35.1			

Tabla 65
Medidas de los elementos Prismáticos de concreto P20.

Elemento	Eje x (cm)	Eje x promedio (cm)	Eje y (cm)	Eje y promedio (cm)	Sección (cm ²)	Sección promedio (cm ²)
P20 - 1	20	14.050	40.3	40.283	565.981	
	20.1		40.25			
	20.05		40.3			
P20 - 2	20.1	20.117	40.25	40.217	809.025	
	20.15		40.2			
	20.1		40.2			
P20 - 3	20	20.033	40.3	40.283	807.009	808.621
	20		40.35			
	20.1		40.2			
P20 - 4	20.05	20.133	40.2	40.217	809.696	
	20.15		40.25			
	20.2		40.2			
P20 - 5	20.1	20.117	40.3	40.250	809.696	
	20.15		40.2			
	20.1		40.25			

5. RESULTADOS DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN

5.1. Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto.

Tabla 66
Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C5.

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C5-1	1.98	1.93	1.66	1.65	1.825
	1.84	1.86	1.84	1.87	
	1.72	1.88	1.78	1.90	
C5-2	1.63	2.01	1.87	1.84	1.791
	1.78	1.71	1.96	1.91	
	1.66	1.78	1.73	1.63	
C5-3	2.01	1.75	1.70	1.92	1.753
	1.62	1.87	1.69	1.65	
	1.57	1.64	1.63	1.99	
C5-4	1.71	1.75	1.80	1.59	1.779
	1.81	1.80	1.66	1.59	
	1.97	1.93	1.82	1.92	
C5-5	1.80	1.80	1.72	1.73	1.783
	1.74	1.75	1.95	1.77	
	1.94	1.79	1.77	1.61	
Menor lectura					1.57
Mayor lectura					2.01
Rango muestral					0.44
Profundidad de carbonatación promedio					1.786
Desviación estándar					0.120

Tabla 67*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C10.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C10-1	1.64	1.89	1.86	1.65	1.739
	1.66	1.60	1.74	1.81	
	1.61	1.77	1.63	2.00	
C10-2	1.89	1.76	1.67	1.83	1.811
	1.81	1.71	1.62	1.97	
	1.83	2.00	1.77	1.87	
C10-3	1.68	1.93	1.99	1.78	1.820
	1.79	1.88	1.82	1.88	
	1.90	1.77	1.80	1.62	
C10-4	1.91	1.90	2.00	1.91	1.834
	1.76	1.71	1.68	1.89	
	1.97	1.74	1.75	1.80	
C10-5	1.90	1.77	1.76	1.66	1.761
	1.63	1.99	1.71	1.69	
	1.86	1.64	1.80	1.73	
Menor lectura					1.60
Mayor lectura					2.00
Rango muestral					0.41
Profundidad de carbonatación promedio					1.793
Desviación estándar					0.116

Tabla 68*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C15.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C15-1	1.95	1.91	1.75	1.72	1.769
	1.63	1.78	1.94	1.72	
	1.83	1.61	1.70	1.68	
C15-2	1.94	1.68	1.80	1.76	1.802
	1.96	1.68	1.71	1.61	
	1.75	1.83	1.99	1.93	
C15-3	2.03	1.78	1.87	1.98	1.841
	1.96	1.65	1.77	1.73	
	1.90	1.73	1.78	1.91	
C15-4	2.00	1.89	1.98	1.78	1.918
	1.99	1.98	1.86	1.96	
	1.79	1.82	2.02	1.93	
C15-5	1.66	1.69	1.83	1.80	1.824
	2.03	2.00	1.75	1.64	
	1.96	1.77	1.99	1.79	
Menor lectura					1.61
Mayor lectura					2.03
Rango muestral					0.43
Profundidad de carbonatación promedio					1.831
Desviación estándar					0.125

Tabla 69*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C20.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C20-1	1.77	1.74	1.90	1.68	1.816
	1.92	1.98	1.99	1.72	
	1.76	1.67	1.73	1.91	
C20-2	1.95	1.81	2.01	1.84	1.867
	1.70	1.94	1.97	1.71	
	1.87	1.74	1.81	2.03	
C20-3	2.02	1.79	1.83	1.83	1.852
	1.74	1.80	1.94	1.64	
	2.01	1.85	1.97	1.81	
C20-4	1.69	1.75	1.79	1.76	1.826
	2.03	1.87	1.72	1.94	
	1.89	1.72	1.77	1.99	
C20-5	1.88	1.67	1.80	1.96	1.820
	1.99	1.99	1.70	1.71	
	1.87	1.69	1.88	1.69	
Menor lectura					1.64
Mayor lectura					2.03
Rango muestral					0.39
Profundidad de carbonatación promedio					1.836
Desviación estándar					0.114

Tabla 70*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C25.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C25-1	1.69	1.85	2.04	1.79	1.882
	1.74	1.89	2.03	1.83	
	1.82	1.98	2.05	1.89	
C25-2	1.75	1.89	1.99	1.80	1.882
	2.04	1.76	1.83	1.79	
	2.00	1.76	1.98	1.98	
C25-3	1.90	1.82	2.05	1.80	1.844
	1.95	1.89	1.78	1.82	
	1.74	1.81	1.75	1.83	
C25-4	1.78	1.88	1.94	1.99	1.857
	1.69	1.84	1.69	1.83	
	1.99	1.89	1.81	1.95	
C25-5	1.97	1.70	1.94	1.93	1.856
	1.97	1.88	1.72	1.83	
	1.81	1.76	1.72	2.03	
Menor lectura					1.69
Mayor lectura					2.05
Rango muestral					0.36
Profundidad de carbonatación promedio					1.864
Desviación estándar					0.106

Tabla 71*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C30.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C30-1	1.92	1.96	2.03	1.83	1.887
	1.87	1.90	2.05	1.70	
	1.77	1.91	1.90	1.80	
C30-2	1.90	1.78	1.88	1.91	1.878
	1.96	1.87	1.91	1.87	
	1.85	1.98	1.72	1.90	
C30-3	2.02	2.00	1.75	1.80	1.863
	1.79	1.72	1.79	2.02	
	1.93	1.88	1.69	1.97	
C30-4	2.01	1.84	1.74	1.90	1.848
	1.79	1.71	1.84	1.84	
	1.82	1.85	1.89	1.95	
C30-5	1.69	1.94	1.89	1.74	1.829
	1.79	1.87	1.97	1.71	
	2.05	1.83	1.70	1.77	
Menor lectura					1.69
Mayor lectura					2.05
Rango muestral					0.36
Profundidad de carbonatación promedio					1.861
Desviación estándar					0.099

Tabla 72*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C35.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C35-1	2.03	2.12	1.82	1.69	1.903
	2.12	1.67	1.70	1.78	
	1.83	2.12	1.86	2.12	
C35-2	1.99	1.70	1.94	2.05	1.885
	2.04	1.80	2.03	1.77	
	1.68	1.94	1.94	1.75	
C35-3	2.04	2.05	1.97	1.77	1.888
	1.89	1.68	2.05	2.11	
	1.76	1.69	1.86	1.78	
C35-4	1.95	1.93	2.04	1.78	1.965
	2.10	1.81	2.01	2.00	
	2.11	1.86	1.99	1.98	
C35-5	1.97	1.91	2.01	2.03	1.923
	1.67	2.01	1.75	2.03	
	1.98	1.88	2.03	1.81	
Menor lectura					1.67
Mayor lectura					2.12
Rango muestral					0.46
Profundidad de carbonatación promedio					1.913
Desviación estándar					0.141

Tabla 73*Profundidad de carbonatación en los elementos cúbicos de concreto C40.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
C40-1	2.12	1.93	2.09	1.88	1.979
	2.07	1.82	1.90	2.10	
	2.15	1.96	1.92	1.81	
C40-2	1.83	2.19	2.08	1.87	1.965
	1.90	2.09	1.93	1.76	
	1.99	1.91	2.07	1.96	
C40-3	1.90	1.96	1.97	1.94	1.920
	1.83	1.99	1.81	2.01	
	2.00	2.05	1.86	1.74	
C40-4	2.03	1.75	1.77	1.88	1.907
	1.79	2.03	2.19	1.79	
	1.76	2.15	1.86	1.88	
C40-5	2.03	1.89	2.02	2.09	2.008
	2.12	1.78	1.87	2.02	
	2.03	1.93	2.13	2.18	
Menor lectura					1.74
Mayor lectura					2.19
Rango muestral					0.45
Profundidad de carbonatación promedio					1.956
Desviación estándar					0.125

5.2. Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto.

Tabla 74*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P5.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P5-1	1.94	1.83	1.64	1.68	1.813
	1.83	1.71	1.85	1.79	
	1.85	1.77	1.89	1.96	
P5-2	1.68	1.74	1.78	1.94	1.811
	1.97	2.00	1.77	1.77	
	1.73	1.81	1.74	1.79	
P5-3	1.85	1.84	1.89	1.74	1.785
	1.85	1.79	1.69	1.70	
	1.92	1.61	1.61	1.93	
P5-4	1.90	1.75	1.97	1.82	1.821
	1.88	1.65	1.61	1.82	
	1.92	1.87	1.79	1.86	
P5-5	1.70	1.66	1.91	1.63	1.785
	1.83	1.68	1.91	1.89	
	1.81	1.75	1.94	1.70	
Menor lectura					1.61
Mayor lectura					2.00
Rango muestral					0.39
Profundidad de carbonatación promedio					1.803
Desviación estándar					0.104

Tabla 75*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P7.5.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P7.5-1	1.62	1.85	1.86	1.88	1.797
	1.71	1.63	2.00	1.76	
	2.00	1.61	1.72	1.94	
P7.5-2	1.73	1.66	1.69	1.77	1.763
	1.86	1.70	1.96	1.94	
	1.74	1.76	1.65	1.68	
P7.5-3	1.75	1.84	1.83	1.90	1.811
	1.73	1.71	1.85	1.97	
	1.68	1.94	1.85	1.68	
P7.5-4	1.68	1.97	1.88	2.00	1.855
	1.77	1.81	1.95	2.00	
	1.85	1.75	1.63	1.96	
P7.5-5	1.69	1.59	1.76	1.81	1.769
	1.88	1.70	1.94	1.87	
	1.84	1.66	1.70	1.78	
Menor lectura					1.59
Mayor lectura					2.00
Rango muestral					0.41
Profundidad de carbonatación promedio					1.799
Desviación estándar					0.118

Tabla 76*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P10.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P10-1	1.70	1.85	2.02	1.89	1.866
	1.89	1.65	2.00	1.92	
	1.88	1.92	1.74	1.94	
P10-2	1.97	1.76	1.95	1.81	1.829
	1.78	2.02	1.94	1.67	
	1.66	1.75	1.80	1.83	
P10-3	1.84	1.78	1.88	1.86	1.790
	1.66	1.77	1.83	1.67	
	1.79	1.78	1.83	1.80	
P10-4	1.81	1.73	1.69	1.69	1.805
	1.76	1.87	2.01	1.70	
	2.01	1.91	1.71	1.76	
P10-5	1.65	1.74	1.87	2.02	1.831
	1.89	1.86	1.90	1.87	
	1.88	1.86	1.68	1.75	
Menor lectura					1.65
Mayor lectura					2.02
Rango muestral					0.37
Profundidad de carbonatación promedio					1.824
Desviación estándar					0.105

Tabla 77*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P12.5.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P12.5-1	1.84	1.82	1.99	1.84	1.884
	1.86	1.89	1.88	1.91	
	1.71	2.01	1.98	1.89	
P12.5-2	1.86	1.84	2.04	1.95	1.870
	1.85	1.90	1.88	1.73	
	2.03	1.83	1.72	1.81	
P12.5-3	1.79	1.71	1.92	1.69	1.817
	1.75	1.73	1.81	1.97	
	1.87	1.74	1.79	2.02	
P12.5-4	1.81	1.74	1.94	1.80	1.852
	1.88	1.96	1.84	1.77	
	1.83	1.79	1.83	2.03	
P12.5-5	1.78	1.74	1.76	1.76	1.812
	1.71	1.71	2.01	1.84	
	1.92	1.94	1.74	1.82	
Menor lectura					1.69
Mayor lectura					2.04
Rango muestral					0.35
Profundidad de carbonatación promedio					1.847
Desviación estándar					0.096

Tabla 78*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P15.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P15-1	1.81	1.90	1.78	1.76	1.859
	2.02	1.88	1.98	1.79	
	1.89	1.86	1.73	1.90	
P15-2	1.88	1.92	1.75	1.82	1.889
	1.75	1.95	2.02	1.88	
	2.00	1.73	1.97	2.00	
P15-3	1.72	1.76	1.97	1.88	1.873
	1.96	1.74	2.03	2.01	
	1.94	1.72	1.78	1.95	
P15-4	1.79	1.88	1.92	1.84	1.905
	2.01	2.01	1.91	1.95	
	1.86	1.78	2.02	1.89	
P15-5	1.94	1.82	1.84	1.85	1.840
	1.83	1.99	1.73	1.72	
	1.78	1.86	1.99	1.72	
Menor lectura					1.72
Mayor lectura					2.03
Rango muestral					0.31
Profundidad de carbonatación promedio					1.873
Desviación estándar					0.098

Tabla 79*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P17.5.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P17.5-1	1.80	1.98	1.96	1.98	1.880
	1.81	1.77	1.94	1.82	
	1.80	1.83	1.92	1.92	
P17.5-2	1.88	1.96	1.92	1.78	1.861
	1.74	1.97	1.83	1.71	
	1.82	1.84	1.91	1.95	
P17.5-3	1.74	1.95	1.86	1.86	1.854
	1.98	1.86	1.74	1.95	
	1.77	1.82	1.78	1.93	
P17.5-4	1.71	1.94	1.83	1.92	1.889
	1.93	1.91	1.96	1.97	
	1.90	1.96	1.95	1.70	
P17.5-5	1.77	1.74	1.80	1.94	1.857
	1.93	1.92	1.98	1.76	
	1.95	1.89	1.84	1.77	
Menor lectura					1.70
Mayor lectura					1.98
Rango muestral					0.28
Profundidad de carbonatación promedio					1.868
Desviación estándar					0.085

Tabla 80*Profundidad de carbonatación en los elementos prismáticos de concreto P20.*

Elemento	Ex		Ey		Promedio (mm)
	Izquierda (mm)	Derecha (mm)	Superior (mm)	Inferior (mm)	
P20-1	1.75	1.88	1.75	2.00	1.871
	2.02	1.82	1.78	1.80	
	2.05	2.00	1.83	1.80	
P20-2	1.81	1.83	1.87	1.89	1.897
	1.90	2.04	1.86	1.93	
	1.84	1.86	2.00	1.92	
P20-3	1.80	1.98	1.75	1.76	1.872
	1.79	1.99	2.02	2.03	
	1.77	1.92	1.81	1.85	
P20-4	1.92	1.84	1.75	1.84	1.884
	1.92	1.92	1.98	1.74	
	2.00	1.94	1.74	2.01	
P20-5	1.76	1.92	1.77	1.89	1.871
	1.79	1.75	1.94	1.86	
	1.93	2.00	1.81	2.03	
Menor lectura					1.74
Mayor lectura					2.05
Rango muestral					0.30
Profundidad de carbonatación promedio					1.879
Desviación estándar					0.095

Tabla 81

Variación de la profundidad de carbonatación por el incremento de la sección de los elementos cúbicos de concreto.

Elementos Cúbicos	Sección Promedio (cm ²)	Incremento de sección (cm ²)	Profundidad de carbonatación promedio(mm)	Incremento de la profundidad de carbonatación (%)	Variación de profundidad de carbonatación (mm)
C5	26.099	--	1.786	0	--
C10	102.593	76.494	1.793	0.392	0.007
C15	232.282	129.689	1.831	2.520	0.038
C20	406.823	174.541	1.836	2.800	0.005
C25	634.695	227.872	1.864	4.367	0.028
C30	905.115	270.42	1.861	4.199	-0.003
C35	1230.837	325.722	1.913	7.111	0.052
C40	1614.564	383.727	1.956	9.518	0.043
Promedio		226.924			0.0243

Tabla 82

Variación de la profundidad de carbonatación por el incremento de la sección de los elementos prismáticos de concreto.

Elementos Cúbicos	Sección Promedio (cm ²)	Incremento de sección (cm ²)	Profundidad de carbonatación promedio(mm)	Incremento de la profundidad de carbonatación (%)	Variación de profundidad de carbonatación (mm)
P5	52.207	--	1.803	0	--
P7.5	115.81	63.603	1.799	-0.222	-0.004
P10	202.974	87.164	1.824	1.165	0.025
P12.5	314.503	111.529	1.847	2.440	0.023
P15	456.652	142.149	1.873	3.882	0.026
P17.5	616.598	159.946	1.868	3.605	-0.005
P20	808.621	192.023	1.879	4.215	0.011
Promedio	--	126.069	--		0.0127

ANEXO VI: FICHA TÉCNICA CEMENTO PACASMAYO PORTLAND TIPO I.



DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES



*En cumplimiento de la Norma Metroológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



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

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Placa de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.





Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.7
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.82
Alcalis equivalente	-	-	%	NTP 334.086	0.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.8
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4100
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	7
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.6 (4000)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.5 (5870)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	148
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	274
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.008

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150

ANEXO VII: FICHA TÉCNICA DEL CO₂

 INDUSTRIAS CRIOGÉNICAS DEL PERU GRUPO swissgas	FICHA TECNICA DEL PRODUCTO	CÓDIGO:FO-CGE-01-PR-01
		PÁGINA: 1 de 1
		VERSIÓN: 02

DÍOXIDO DE CARBONO INDUSTRIAL

Swissgas del Ecuador S.A., dispone Dióxido de Carbono en su presentación Industrial, cuya composición química responde en base a la Norma NTE INEN 2377:2005. TIPO 2.

Fase: Gaseosa $\geq 99.5\%$ V/V

PROPIEDADES QUIMICAS

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
PUREZA LIQUIDA	$\geq 99.9\%$ V/V
IMPUREZAS	IMPUREZAS
MONOXIDO DE CARBONO	≤ 10 ppm CO
Humedad	≤ 20 ppm H ₂ O
HIDROCARBUROS TOTALES (METANO)	≤ 50.0 ppm SO ₂

ENVASES USUALES

CILINDROS Tamaño	VALV. CGA	Especificación DOT	Contenido		Presión de llenado a 15 °C	
			volumen m ³ (15°C, 1atm)	Peso kg	bar	psig
150/40	320	3AA 2265	6,0	20,0	56	800
150/40	320	3AA 2265	6,0	25,0	56	800
150/40	320	3AA 2265	6,0	30,0	56	800

TERMOS Especificación JISG4304

Tamaño	m ³	Contenido kg	l	Dimens. Aprox.		Peso vacío Aprox.	Evaporación diaria	Rendimiento flujo cont.
				Alto	Diámetro			
175 l	109,2	129,6	160	1,52 m	0,51 m	125 kg	$\leq 2,1\%$	≥ 10 m ³ /hr



Laboratorio de Gases Especiales & Industriales
SWISSGAS DEL ECUADOR S.A



Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria

BPM
Buenas Prácticas de Manufactura

RO 296:2004

COTECNA

COMPANIA
ISO 9001:2008
ISO 14001:2004
OHSAS 18001:2007
CERTIFICADA



Oficina: Av. J. Tanca Marengo
Km 1.8 Edificio Conauto,
3er Piso Tel. 593 4268 1920
Guayaquil – Ecuador
Planta: Km. 10
Via Durán – Tambo,
Durán – Ecuador
www.swissgas.com.ec

ANEXO VIII: CERTIFICADO DE CALIDAD FENOLFTALEÍNA 1%



FENOLFTALEINA T.S.

Solución al 1.0%

CERTIFICADO DE CALIDAD

1. Producto Identificación

NOMBRE COMERCIAL : Fenolftaleína Indicador solución al 1 %

FORMULA : No aplica

PESO MOLECULAR : No aplica

CAS : No aplica

APLICACIONES : Indicador de pH

pH (8.2) Incoloro
(10.0) Rojo Violeta

DATOS FISICOS : Solución alcohólica al 1 %.Preparado según norma USP XXII (TS = Test Solution)

2. Composición

COMPONENTES	CANTIDADES	CAS No
Fenolftaleína	10.0 g	77-09-8
Etanol 96 °	a 1L	64-17-5

3. Presentación

En frascos plásticos de 100 ml, 250 ml 500ml, 1000 ml, 1 Galón

4. Caducidad, Lote

LOTE : FTS1/2301

FECHA DE MANUFACTURA: Enero.2023

FECHA DE VENCIMIENTO: Enero.2025

JUAN FERNÁNDEZ TRUJILLO
Ing. Químico
C.I.P 31839

ANEXO IX: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

El Bach. Kevin Erwin Altamirano Guevara, Exalumno de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, que se ha realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo Contenido de humedad
02	Ensayo Análisis granulométrico
03	Ensayo Peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo Peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo material más fino que pasa el tamiz 200
07	Elaboración de especímenes de concreto
08	Ensayo a compresión muestras cilíndricas
09	Exposición acelerada en CO ₂ de los especímenes de concreto

Para la Tesis Titulada: "INFLUENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LA SECCIÓN DEL ELEMENTO DE CONCRETO EN LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN". Las actividades se desarrollaron del 15 de abril al 12 de julio 2024.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 19 de julio de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
 FACULTAD DE INGENIERÍA

 Ing. Mauro Sebastián Vargas
 JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO X: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 14

Acopio de agregados en el laboratorio.



Figura 15

Reducción de muestras por el método del cuarteo.



Figura 16

Ensayo de resistencia a la degradación en la máquina de los Ángeles.

**Figura 17**

Elaboración de los moldes para los elementos de concreto.



Figura 18

Medición del asentamiento de la mezcla de concreto.

**Figura 19**

Elaboración de elementos de concreto.



Figura 20
Curado de los elementos de concreto.



Figura 21
Ensayo de compresión uniaxial del concreto a los 28 días.



Figura 22

Acondicionamiento de elementos de concreto dentro de la cámara de carbonatación acelerada.

**Figura 23**

Instalación y acondicionamiento del tanque de CO₂.

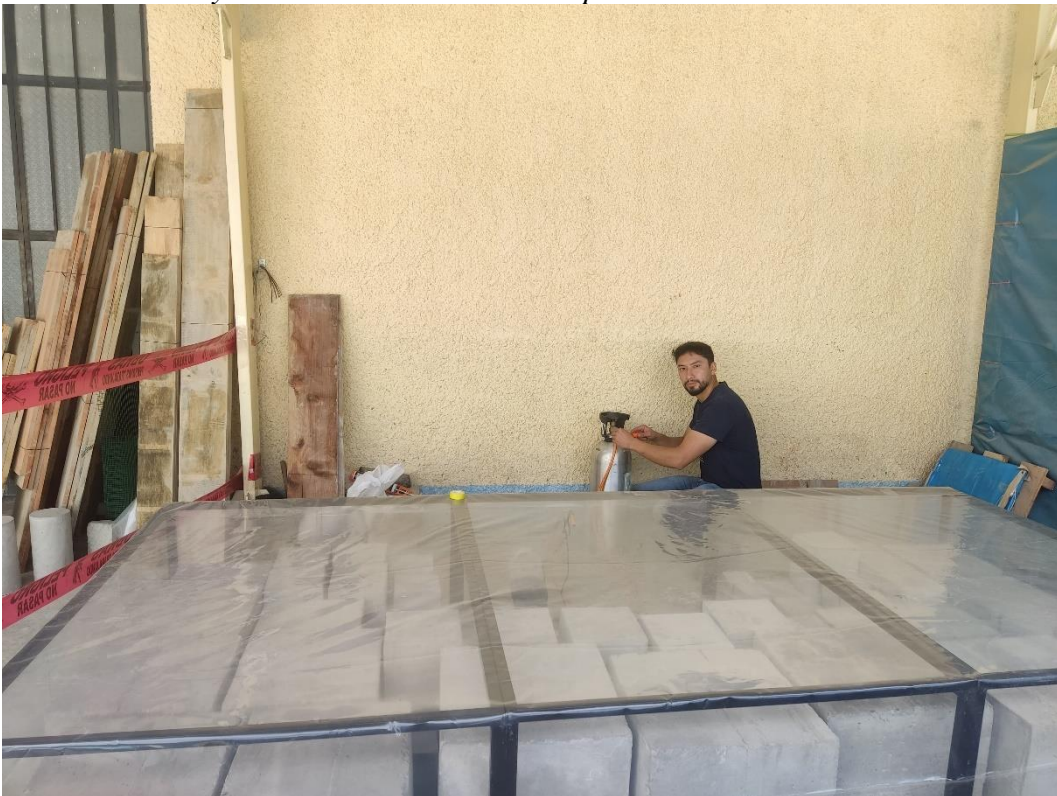


Figura 24
Sensor de CO₂ y ventilador dentro de la cámara.



Figura 25
Sensor de CO₂ y humedad relativa y temperatura.



Figura 26
Inicio del proceso de carbonatación acelerada.



Figura 27
Concentración de CO₂ dentro de la cámara de carbonatación acelerada.



Figura 28
Peso del tanque de CO₂.



Figura 29
Fin del proceso de carbonatación acelerada.



Figura 30
Rotura de elementos cúbicos y prismáticos de concreto.



Figura 31
Ensayo con el indicador fenolftaleína al 1%.

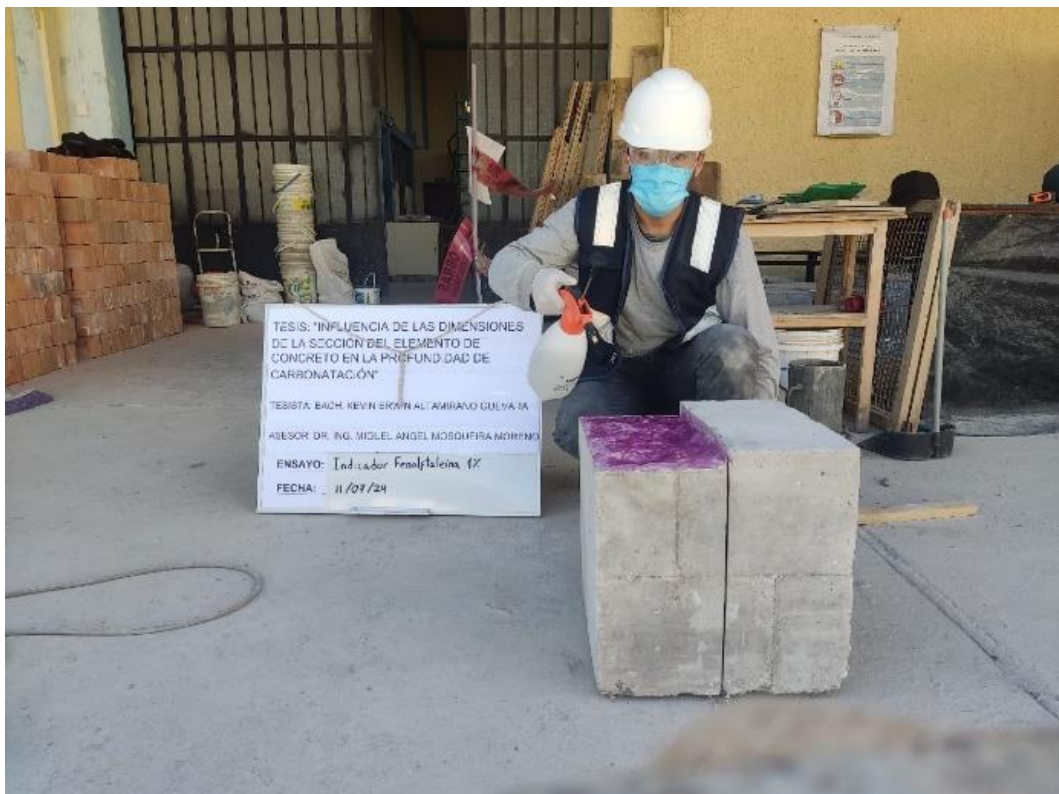


Figura 32

Elemento de concreto con el indicador fenolftaleína al 1%.

**Figura 33**

Medición de la profundidad de carbonatación.



Figura 34

Medición de la profundidad de carbonatación en los elementos de concreto con el Vernier.

**Figura 35**

Elementos cúbicos y prismáticos con el indicador fenolftaleína al 1%.

