



**UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

**CARRERA: INGENIERÍA CIVIL**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención curricular del título de:

**INGENIEROS CIVILES**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS TAMAÑOS NOMINALES DE  
LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA AL HORMIGÓN.**

**ELABORADO POR**

MERO MEDINA ISAÍAS EMMANUEL

TOHALA SORNOZA BERBILY JULEIDY

**TUTOR:**

ING. MARCELO FABIÁN OLEAS ESCALANTE, MSc

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

2026-1

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Como tutor académico de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de proyecto de investigación. El tema del proyecto se titula: **Determinación de la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia al hormigón.**

Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, certifico que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Mero Medina Isaías Emmanuel y Tohala Sornoza, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, periodo académico 2026 (1), quienes se encuentran aptos para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Manta, 23 de julio del 2026

**Lo certifico,**



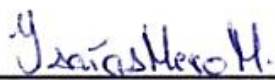
Ing., Marcelo Fabián Oleas Escalante / Tutor / C.C.: 060180951-0

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Isaías Emmanuel Mero Medina con C.C.: 131419396-0, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad de Proyecto de investigación con el tema **Determinación de la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia al hormigón**, el cual fue dirigido por el tutor Ing. Marcelo Fabián Oleas Escalante.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta a los 23 días del mes de julio del dos mil veinte y seis.



---

Isaías Emmanuel Mero Medina

C.C.: 131419396-0

Autor

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Berbily Juleidy Tohala Sornoza con C.C:131497263-7, doy constancia de ser la autora del Trabajo de Titulación con modalidad de Proyecto de investigación con el tema **Determinación de la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia al hormigón**, el cual fue dirigido por el tutor Ing. Marcelo Fabián Oleas Escalante.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta a los 23 días del mes de julio del dos mil veinte y seis.



Berbily Juleidy Tohala Sornoza

C.C.: 131497263-7

Autora

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



### UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS TAMAÑOS NOMINALES DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA AL HORMIGÓN.”** elaborado por la egresada: TOHALA SORNOZA BERBILY JULEIDY de la Carrera de Ingeniería Civil.

### INGENIERA CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador



Ing. Páez Cornejo Julio Dario  
Miembro del tribunal



Ing. Villacreses Vera Adolfo Fernando  
Miembro del tribunal

## **DEDICATORIA**

Este título está dedicado, en primer lugar, a mis padres, Lino Bladimir Mero Mero y Mayra Tatiana Medina Revelo, quienes, con su amor, esfuerzo y sacrificio, hicieron posible mi formación profesional. Este logro representa mi manera de agradecerles todo el apoyo que me han brindado durante de mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida para demostrarles que cada uno de sus esfuerzos ha valido la pena, muchas gracias, padres.

También dedico este logro a mi abuela, mi segunda madre, quien siempre estuvo pendiente de mí y nunca dejó de preguntarme si todo había salido bien después de cada examen. Su cariño y preocupación fueron un gran apoyo durante este camino

A mi hermana menor, con quien compartí gran parte de esta etapa universitaria y quien fue testigo de los desafíos y las alegrías que vivimos durante estos años, especialmente en cada viaje hacia la universidad.

También dedico este logro a mi novia, quien estuvo a mi lado durante esta etapa tan importante de mi vida. Gracias por acompañarme, apoyarme y compartir conmigo cada momento de este camino. Hoy tenemos la satisfacción de ver cumplido este logro, uno de nuestros mayores sueños.

Finalmente, dedico este logro a cada miembro de mi familia, quienes, de una u otra manera, estuvieron pendientes de mí y me brindaron su apoyo y sus palabras de aliento para continuar hasta alcanzar esta meta.

Isaías Emmanuel Mero Medina

## **AGRADECIMIENTO**

Agradeciendo a Dios y a mis padres por permitirme culminar mis estudios profesionales y por brindarme la fortaleza y sabiduría necesarias para poder alcanzar esta meta.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a mis profesores por cada una de sus enseñanzas y por compartir sus conocimientos los cuales aprendí de la Ingeniería Civil. Gracias a su experiencia y sobre todo la dedicación en cada clase hoy puedo decir que cuento con las bases necesarias para fortalecer mi desarrollo profesional y enfrentar todo aquel reto que se presenten en mi día a día.

Agradezco también a mis compañeros de la carrera con quienes establecí una unión de experiencias, trabajos, desafíos y momentos inolvidables en cada compartir en el aula de clases. Su apoyo y compañerismo fueron fundamentales para seguir adelante durante este proceso. De la misma manera extendiendo mi agradecimiento a todas las personas de la carrera de Ingeniería Civil que con un gesto de apoyo hicieron más llevadero este camino, ya sea por la mañana, la tarde o incluso durante las largas noches de estudio y preparación académica.

Finalmente, agradezco a mi compañera de tesis, quien, al momento de elegir esta carrera, llegó a mi vida cuando mi propósito era únicamente obtener mi título universitario. Con el tiempo, se convirtió en una persona muy importante para mí. Juntos compartimos alegrías, lágrimas, enojos y decepciones después de cada evaluación, pero, sobre todo, la motivación constante para alcanzar nuestro sueño de convertirnos en ingenieros civiles. Gracias por ser ese motor que me impulsó a seguir adelante y por nunca flaquear. Hoy, gracias a Dios, ese sueño es una realidad. Por todo lo vivido y por cada momento compartido, solo puedo decir gracias.

Isaías Emmanuel Mero Medina

## **DEDICATORIA**

Con mucho cariño, dedico esta meta a Dios y a la Virgen, por acompañarme durante este camino y ser mis guías.

Asimismo, dedico este logro a mis amados padres, Lidia Monserrate Sornoza Sornoza y José Freddy Tohala Pilligua, quienes han sido mi mayor apoyo, mi fortaleza y ejemplo de esfuerzo. Gracias por su amor incondicional, de creer siempre en mis capacidades y de estar presentes con sus consejos, enseñanzas y palabras de ánimo en todo momento. Este logro también les pertenece a ustedes. Los amo con todo mi corazón.

Este trabajo también está dedicado a mis hermanos y a toda mi familia, gracias por estar siempre presentes, por los momentos compartidos, por el cariño, la comprensión y la motivación durante toda mi vida y aún más en este proceso. También dedico esta meta a mis ángeles en el cielo, quienes viven siempre en mi corazón.

A mi novio, por acompañarme con amor, paciencia y comprensión durante este proceso, por estar presente en los momentos de cansancio, desvelos y en aquellos momentos que sentía que quería rendirme; gracias por motivarme a continuar, confiar siempre en mí y por compartir conmigo esta etapa muy importante. Hoy celebramos juntos esta gran meta.

Finalmente, me dedico este gran logro a mí misma, por haber tenido la fuerza de continuar a pesar de las dificultades. Detrás de este trabajo quedaron muchas horas de esfuerzo, sacrificios, desvelos y lágrimas, pero también quedo la satisfacción de saber que no me rendí. Hoy culmino una etapa muy importante de mi vida con la alegría de haber cumplido uno de mis más grandes sueños.

Berbily Juleidy Tohala Sornoza

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios y a la Virgen por acompañarme siempre durante este camino y por permitirme terminar esta etapa. A mis padres, a mis hermanos y a toda mi familia, gracias su amor, sus palabras de aliento y el apoyo que me brindaron, fueron el impulso que necesitaba para no rendirme.

A mis compañeros de estudios, a quienes compartieron conmigo esta linda etapa, y a mis grandes amistades gracias por ser parte de este camino. Agradezco su apoyo, consejos, motivación y colaboración en todo momento. Asimismo , gracias por las risas, las experiencias, la unión en los momentos de dificultad y los momentos inolvidables que hicieron de esta etapa una vivencia especial.

De manera especial agradezco a mi tutor por su guía, apoyo y disposición durante el desarrollo de este trabajo, y a mis docentes por las enseñanzas, conocimientos y aportes impartidos a lo largo de mi formación universitaria, los cuales fueron fundamentales para mi desarrollo académico y mi futuro profesional.

A mi compañero de tesis, qué llegó a convertirse en una persona muy especial en mi vida, le agradezco de corazón por su compañía y por permitirme compartir juntos esta experiencia. Aunque enfrentamos días difíciles, desvelos, estrés y lágrimas, también compartimos momentos de alegría, aprendizajes y logros que nos hicieron crecer juntos. Asimismo, gracias por nunca perder de vista nuestro mayor objetivo y por mantenerse firme a mi lado en las dificultades. También agradezco el apoyo, la constancia y el trabajo en equipo que hicieron posible cumplir nuestros sueños. Gracias por convertir este camino en una etapa más ligera, llena de lindos recuerdos que llevaré siempre en mi corazón.

Con mucha gratitud y orgullo, cierro esta etapa que representa un importante paso en mi vida profesional y personal. Hoy miro hacia atrás con orgullo por todo lo aprendido, llevando en mi corazón todo lo vivido y con la gran felicidad de saber que uno de mis más grandes sueños ha sido cumplido.

Bebily Juleidy Tohala Sornoza

## **SÍNTESIS**

Este ensayo determina la influencia de los tamaños nominales de los agregados gruesos en la resistencia a la compresión del hormigón. El estudio se desarrolla mediante un enfoque cuantitativo, experimental y comparativo, utilizando mezclas elaboradas a partir de cemento Holcim UTKA, agua potable, arena natural, agregados gruesos de la cantera Uruzca en tamaños de 3/8", 1/2" y 3/4", aditivo plastificante Adiflow 2010 y aditivo retardante Adiretard 3010. Para este desarrollo técnico experimental se consideraron dos dosificaciones para los diferentes tamaños nominales de agregado, las cuales fueron evaluadas a edades de curado de 3, 7 y 28 días. Se elaboraron 33 probetas cilíndricas de hormigón, distribuidas según el tamaño nominal del agregado, la procedencia del material y las edades de ensayo establecidas. Los resultados obtenidos evidenciaron que el agregado de 3/4" presentó la mayor resistencia promedio a los 28 días, mientras que los agregados de 1/2" y 3/8" de la cantera Travesía mostraron menor desempeño.

## **PALABRAS CLAVE**

Tamaño nominal, compresión axial, dosificación de mezclas, probetas cilíndricas, curado controlado.

## **ABSTRACT**

This study determines the influence of coarse aggregate nominal sizes on the compressive strength of concrete. The research employs a quantitative, experimental, and comparative approach, using mixtures made from Holcim UTKA cement, potable water, natural sand, coarse aggregates from the Uruzca quarry in 3/8", 1/2", and 3/4" sizes, Adiflow 2010 plasticizer, and Adiretard 3010 retarder. Two mix designs were considered for the different nominal aggregate sizes and evaluated at curing ages of 3, 7, and 28 days. For the experimental development, 33 cylindrical concrete specimens were prepared and distributed according to the nominal aggregate size, material origin, and established testing ages. The results demonstrated that the 3/4" aggregate achieved the highest average compressive strength at 28 days, whereas the 1/2" and 3/8" aggregates from the Travesía quarry showed lower performance.

## **KEYWORDS**

Nominal size, axial compression, mix proportioning, cylindrical specimens, controlled curing.

## ÍNDICE

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                                          | 17 |
| 1   CAPÍTULO I.....                                                                         | 21 |
| 1.1   ESTADO DEL ARTE .....                                                                 | 21 |
| 1.1.1   Antecedentes de investigaciones sobre el tamaño nominal del<br>agregado grueso..... | 21 |
| 1.1.2   El hormigón como material compuesto .....                                           | 22 |
| 1.1.3   Los agregados y su función dentro del hormigón .....                                | 24 |
| 1.1.4   Tamaño nominal del agregado grueso .....                                            | 25 |
| 1.1.5   Granulometría y distribución de partículas .....                                    | 26 |
| 1.1.6   Relación agua/cemento y trabajabilidad del hormigón .....                           | 27 |
| 1.1.7   Zona de transición interfacial entre agregado y pasta .....                         | 28 |
| 1.1.8   Curado y desarrollo de resistencia del hormigón .....                               | 29 |
| 1.1.9   Resistencia a la compresión del hormigón .....                                      | 30 |
| 1.1.10   Normativas técnicas aplicables al estudio .....                                    | 30 |
| 1.1.11   Síntesis crítica del estado actual del conocimiento .....                          | 31 |
| 2   CAPÍTULO II.....                                                                        | 33 |
| 2.1   MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                            | 33 |
| 2.1.1   Consideraciones generales del capítulo.....                                         | 33 |
| 2.1.2   Enfoque, tipo y alcance de la investigación.....                                    | 33 |
| 2.1.3   Variables de la investigación .....                                                 | 34 |
| 2.1.4   Lugar y condiciones de desarrollo experimental .....                                | 35 |
| 2.1.5   Materiales utilizados .....                                                         | 36 |
| 2.1.6   Equipos e instrumentos empleados .....                                              | 38 |

|        |                                                                                                                   |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.7  | Diseño experimental .....                                                                                         | 39 |
| 2.1.8  | Identificación y codificación de las probetas .....                                                               | 41 |
| 2.1.9  | Dosificación de las mezclas .....                                                                                 | 41 |
| 2.1.10 | Caracterización de los agregados.....                                                                             | 43 |
| 2.1.11 | Materiales deletéreos en los agregados gruesos .....                                                              | 44 |
| 2.1.12 | Grado de meteorización de la roca .....                                                                           | 45 |
| 2.1.13 | Curva granulométrica de los agregados.....                                                                        | 45 |
| 2.1.14 | Procedimiento de elaboración de las mezclas .....                                                                 | 48 |
| 2.1.15 | Evaluación de trabajabilidad .....                                                                                | 49 |
| 2.1.16 | Moldeo y compactación de probetas.....                                                                            | 50 |
| 2.1.17 | Curado de las probetas.....                                                                                       | 51 |
| 2.1.18 | Ensayo de resistencia a la compresión.....                                                                        | 52 |
| 2.1.19 | Método de cálculo de la resistencia .....                                                                         | 53 |
| 2.1.20 | Procesamiento y análisis de datos.....                                                                            | 53 |
| 2.1.21 | Control de calidad del procedimiento experimental.....                                                            | 54 |
| 2.1.22 | Limitaciones metodológicas .....                                                                                  | 54 |
| 3      | CAPÍTULO III.....                                                                                                 | 55 |
| 3.1    | PROPUESTA PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DE LOS TAMAÑOS<br>NOMINALES DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA AL HORMIGÓN.. | 55 |
| 3.1.1  | Denominación de la propuesta .....                                                                                | 55 |
| 3.1.2  | Fundamentación de la propuesta.....                                                                               | 56 |
| 3.1.3  | Objetivo de la propuesta .....                                                                                    | 57 |
| 3.1.4  | Alcance de la propuesta .....                                                                                     | 57 |
| 3.1.5  | Componentes considerados en la propuesta .....                                                                    | 58 |
| 3.1.6  | Criterios técnicos de evaluación.....                                                                             | 59 |

|        |                                                                                                                                               |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.7  | Procedimiento de aplicación de la propuesta .....                                                                                             | 60 |
| 3.1.8  | Matriz de comparación propuesta .....                                                                                                         | 61 |
| 3.1.9  | Requisitos para aplicar la propuesta .....                                                                                                    | 62 |
| 3.1.10 | Aporte de la propuesta.....                                                                                                                   | 62 |
| 3.1.11 | Consideraciones finales del capítulo .....                                                                                                    | 63 |
| 4      | CAPÍTULO IV.....                                                                                                                              | 63 |
| 4.1    | APLICACIÓN DE LA PROPUESTA Y ANÁLISIS DE CÓMO LOS<br>TAMAÑOS 3/8", 1/2" Y 3/4" INFLUYERON EN LA RESISTENCIA OBTENIDA EN<br>LAS PROBETAS. .... | 63 |
| 4.1.1  | Consideraciones generales del capítulo.....                                                                                                   | 63 |
| 4.1.2  | Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas con<br>agregado de la cantera Uruzca .....                                       | 64 |
| 4.1.4  | Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas con<br>agregado de la cantera Travesía.....                                      | 65 |
| 4.1.5  | Comparación de la resistencia promedio a los 28 días .....                                                                                    | 66 |
| 4.1.6  | Análisis comparativo por tamaño nominal .....                                                                                                 | 69 |
| 4.1.7  | Relación entre trabajabilidad y resistencia .....                                                                                             | 69 |
| 4.1.8  | Relación entre granulometría, procedencia y resistencia .....                                                                                 | 70 |
| 4.1.9  | Discusión de resultados .....                                                                                                                 | 71 |
| 4.1.10 | Evaluación de la propuesta aplicada.....                                                                                                      | 72 |
| 4.1.11 | Síntesis del capítulo.....                                                                                                                    | 73 |
|        | CONCLUSIONES .....                                                                                                                            | 74 |
|        | RECOMENDACIONES .....                                                                                                                         | 75 |
|        | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                              | 76 |
|        | ANEXOS.....                                                                                                                                   | 79 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1.-</b> Curva granulométrica del agregado grueso de 3/8".....                                      | 46 |
| <b>Figura 2.2.-</b> Curva granulométrica del agregado grueso de 1/2".....                                      | 47 |
| <b>Figura 2.3.-</b> Curva granulométrica del agregado grueso de 3/4" proveniente de la cantera Uruzca.....     | 47 |
| <b>Figura 2.4.-</b> Curva granulométrica del agregado grueso de 3/4" proveniente de la cantera Travesía. ....  | 48 |
| <b>Figura 4.1.-</b> Comparación de resistencia promedio a los 3 días según tamaño nominal y procedencia. ....  | 67 |
| <b>Figura 4.2.-</b> Comparación de resistencia promedio a los 7 días según tamaño nominal y procedencia. ....  | 68 |
| <b>Figura 4.3.-</b> Comparación de resistencia promedio a los 28 días según tamaño nominal y procedencia. .... | 68 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 2.1.-</b> Operacionalización de variables.....                                                                              | 35 |
| <b>Tabla 2.2.-</b> Materiales empleados en la investigación. ....                                                                    | 37 |
| <b>Tabla 2.3.-</b> Equipos e instrumentos utilizados. ....                                                                           | 39 |
| <b>Tabla 2.4.-</b> Matriz experimental de probetas. ....                                                                             | 40 |
| <b>Tabla 2.5.-</b> Ejemplo de numeración de probetas. ....                                                                           | 41 |
| <b>Tabla 2.6.-</b> Dosificaciones utilizadas en la investigación. ....                                                               | 42 |
| <b>Tabla 2.7.-</b> Registro de caracterización de agregados. ....                                                                    | 43 |
| <b>Tabla 2.8.-</b> Registro de trabajabilidad.....                                                                                   | 49 |
| <b>Tabla 2.9.-</b> Registro de curado de probetas. ....                                                                              | 51 |
| <b>Tabla 2.10.-</b> Formato de registro del ensayo de compresión.....                                                                | 52 |
| <b>Tabla 3.1.-</b> Criterios técnicos para evaluar la influencia del tamaño nominal del agregado en la resistencia del hormigón..... | 59 |
| <b>Tabla 3.2.-</b> Matriz propuesta para comparar los tamaños nominales de los agregados. ....                                       | 61 |
| <b>Tabla 4.1.-</b> Resultados de la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregado de Uruzca. ....                  | 64 |
| <b>Tabla 4.2.-</b> Resultados de la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregado de la cantera Travesía. ....     | 65 |
| <b>Tabla 4.3.-</b> Comparación de resistencia promedio a los 28 días. ....                                                           | 66 |

## INTRODUCCIÓN

El hormigón corresponde a uno de los materiales más comunes en las construcciones civiles, por las ventajas que ofrece, facilidad de preparación, disponibilidad de sus componentes y capacidad de adaptación a distintos tipos de obras. Se utiliza en los diferentes elementos constructivos donde se requiere un material capaz de soportar esfuerzos de compresión y conservar un comportamiento adecuado durante su vida útil. Para ello su calidad no depende únicamente del cemento o del agua, sino también de la correcta selección como la dosificación y control de los agregados que forman parte de la mezcla.

En el hormigón los agregados ocupan una parte fundamental sobre el volumen total y cumplen una función esencial ya sea en estado fresco como endurecido. Su influencia se observa en el trabajo su densidad, compactación y contenido de vacíos la estabilidad y resistencia final del material. Por este motivo, la elección de los agregados debería realizarse mediante criterios técnicos como es la normativa de cada país de origen que permitan obtener mezclas uniformes, resistentes y adecuadas para el uso de construcciones.

El tamaño nominal del agregado grueso es una de las variables que puede cambiar el comportamiento del hormigón. Dependiendo de su dimensión, puede cambiar el acomodo interno de las partículas, la cantidad de pasta necesaria para recubrirlas, el nivel de compactación y la presencia de vacíos dentro de la mezcla. Un agregado de menor tamaño puede favorecer una mezcla más homogénea, mientras que uno de mayor tamaño puede reducir la superficie específica total; no obstante, su desempeño depende también de la dosificación, la trabajabilidad, el método de elaboración y las condiciones de curado.

Autores como (Neville, 2011) y (Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M., 2014) señalan que el comportamiento del hormigón depende de la interacción entre la pasta de cemento, los agregados, la relación agua/cemento, la compactación, el curado y la estructura interna del material.

Asimismo, (Kosmatka y Wilson, 2016) indican que una mezcla de hormigón adecuadamente diseñada debe mantener equilibrio entre resistencia, trabajabilidad, durabilidad y economía, aspectos que se relacionan directamente con la selección y distribución granulométrica de los agregados. Por otra parte, (Rodríguez, 1971) menciona que el tamaño máximo del agregado influye en la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia determinada, lo cual puede repercutir en la resistencia del hormigón endurecido.

En la práctica constructiva, la elección del agregado grueso suele realizarse muchas veces por disponibilidad comercial, experiencia previa o costumbre de obra. Sin embargo, no siempre se cuenta con una evaluación experimental que permita justificar técnicamente qué tamaño nominal ofrece un mejor comportamiento mecánico bajo determinadas condiciones de dosificación. Esta situación puede ocasionar mezclas con baja trabajabilidad, dificultad de compactación, mayor presencia de vacíos, variaciones en la resistencia a la compresión o un uso poco eficiente de los materiales.

A partir de esta problemática, la investigación plantea la siguiente interrogante: ¿cómo influyen los tamaños nominales de los agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4" en la resistencia a la compresión del hormigón, considerando dos dosificaciones por cada tamaño nominal y ensayos a edades de curado de 3, 7 y 28 días. Esta pregunta surge de la necesidad de obtener información experimental que permita comparar el comportamiento mecánico de mezclas elaboradas bajo condiciones similares, modificando el tamaño nominal del agregado grueso y la dosificación establecida para cada grupo.

El objeto de estudio corresponde al comportamiento mecánico del hormigón, específicamente a la resistencia a la compresión. El campo de acción se delimita al diseño y evaluación experimental de mezclas elaboradas con cemento Holcim UTKA, agua potable, arena natural, agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", aditivo plastificante Adiflow 2010 y aditivo retardante Adiretard 3010.

La investigación se desarrolla mediante la elaboración de probetas cilíndricas, las cuales son curadas y ensayadas a compresión en edades previamente definidas. Con este procedimiento se busca obtener datos comparables entre las diferentes combinaciones experimentales y analizar el efecto del tamaño nominal del agregado grueso en la resistencia del hormigón.

La hipótesis de trabajo sostiene que la variación del tamaño nominal del agregado grueso influye en la resistencia a la compresión del hormigón, debido a los cambios que puede generar en la compactación de la mezcla, la cantidad de pasta de cemento necesaria para cubrir los agregados, la trabajabilidad, el contenido de vacíos y la interacción entre el agregado y la matriz de cemento.

### **Objetivo general**

Determinar la influencia del tamaño nominal de los agregados gruesos en la resistencia a la compresión del hormigón.

### **Objetivos específicos**

1. Fundamentar la relación entre los agregados, el tamaño nominal y la resistencia a la compresión del hormigón.
2. Describir los materiales y sus dosificaciones para los procedimientos empleados en la elaboración de las probetas de hormigón.
3. Evaluar la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", a edades de curado de 3, 7 y 28 días.
4. Comparar los resultados obtenidos entre los diferentes tamaños nominales de agregado grueso y las dosificaciones aplicadas.
5. Establecer criterios técnicos que orienten la selección del tamaño nominal del agregado grueso en el diseño de mezclas de hormigón.

La metodología que se utilizara para el proyecto de tesis tiene un enfoque experimental cuantitativo y comparativo. Por ello se consideraron tres tamaños nominales de agregado grueso: 3/8" (9,5 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/4" (19 mm).

Por eso se utilizó para cada tamaño nominal un aplicativo de dos dosificaciones, identificadas como D1 y D2. En total se elaboraron 33 probetas cilíndricas, distribuidas según el tamaño nominal del agregado, el origen de la procedencia del material y las edades de ensayo establecidas.

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizan a los 3, 7 y 28 días establecidos según la Normativa Ecuatoriana, lo que permite analizar el desarrollo inicial en 3 días, intermedia a 7 días y final a los 28 días.

Por cual, se emplean registros del laboratorio para controlar las cantidades de materiales, la identificación de las probetas, las edades de ensayo, la carga máxima de rotura, la resistencia calculada y las observaciones del tipo de obtenida durante los ensayos realizados.

Este análisis y la información obtenida permiten realizar la comparación de resultados y en la estadística por cada una de las roturas de los cilindros, con el fin de interpretar de manera ordenada el comportamiento de cada dosificación realizadas en cada una de las mezclas realizadas por cada tamaño nominal.

La importancia de esta investigación permite generar información técnica útil para el diseño de mezclas de hormigón en obras de construcción civil. Desde el punto de vista académico, este estudio permite fortalecer la aplicación de conocimientos relacionados con las tecnologías del hormigón, también así mismo también los materiales de construcción, control de calidad y ensayos de laboratorio. Desde lo práctico sus los resultados pueden contribuir a seleccionar de manera más adecuada el tamaño nominal del agregado grueso para el cual se valla a utilizar, evitando así decisiones basadas únicamente en la experiencia empírica o en la disponibilidad del material.

El trabajo de titulación permite a organizar en cuatro capítulos. En el Capítulo I se desarrolla el estado del arte y la fundamentación teórica relacionada con el hormigón, los agregados, el tamaño nominal, la granulometría, la trabajabilidad, la relación agua/cemento, la zona de transición interfacial, el curado y la resistencia a la compresión.

En el Capítulo II se describen como los materiales y metodologías que se emplearan sea bien utilizadas para eso incluye el enfoque de investigación, el diseño experimental, los materiales utilizados, la elaboración de probetas los curados y sus ensayos de laboratorio para la obtención y procesamiento de datos.

En el Capítulo III se plantea la propuesta técnica de la investigación, orientada a establecer criterios de comparación para la selección del tamaño nominal del agregado grueso en función de la resistencia a la compresión, la dosificación y las condiciones de trabajabilidad. En el Capítulo IV se desarrolla la aplicación de la propuesta y la evaluación de los resultados experimentales. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis realizado.

## **1 CAPÍTULO I**

### **1.1 ESTADO DEL ARTE**

#### **1.1.1 Antecedentes de investigaciones sobre el tamaño nominal del agregado grueso**

Los antecedentes de esta investigación se relacionan con estudios que han analizado la influencia de los agregados en el comportamiento del hormigón, especialmente en la trabajabilidad, la compactación, el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión. Estos aportes permiten entender que el tamaño nominal del agregado grueso no debería elegirse solo por disponibilidad comercial o por costumbre en obra, sino a partir de criterios técnicos vinculados al diseño de mezcla y al desempeño mecánico del material.

(Rodríguez, 1971) estudió la relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y el agua de amasado, señalando que la dimensión del agregado puede modificar la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia determinada. Este antecedente resulta importante para la presente investigación, debido a que la demanda de agua y la trabajabilidad influyen directamente en la compactación de la mezcla y en la resistencia final del hormigón.

(Martínez, 1975) analizó aspectos generales del diseño de hormigones de cemento Portland y resaltó la importancia de mantener una proporción adecuada entre cemento, agua y agregados. Su aporte permite reconocer que los agregados no cumplen únicamente una función de relleno, sino que forman parte de la estructura interna del hormigón y pueden condicionar su comportamiento resistente.

(Bažant, Z. P., & Planas, J., 1998) relacionaron el comportamiento del hormigón con el efecto del tamaño y la propagación de microfisuras en materiales cuasi frágiles. Aunque su enfoque se orienta principalmente al análisis de fractura, sus criterios ayudan a interpretar cómo las dimensiones internas de los componentes del hormigón pueden influir en la concentración de esfuerzos durante el ensayo de compresión.

(Hidalgo Silverio, O. R., 2018) desarrolló un estudio experimental de hormigones utilizando agregados y cemento comercial, destacando que la selección de materiales y la dosificación influyen en el desempeño mecánico de las mezclas.

Este antecedente evidencia la importancia de la presente investigación se demuestre la importancia de generar datos experimentales con materiales disponibles en el entorno local y bajo condiciones controladas que se realizaran en el laboratorio.

Los antecedentes y datos revisados muestran que existe una relación técnica entre las características de los agregados y la resistencia del hormigón. Sin embargo, todavía se requiere información experimental específica sobre mezclas elaboradas con agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", considerando dos dosificaciones y edades de curado de 3, 7 y 28 días. Para esto, el estudio busca aportar criterios comparativos sobre la influencia del tamaño nominal del agregado grueso en la resistencia a la compresión del hormigón.

### **1.1.2 El hormigón como material compuesto**

El hormigón es un material compuesto principalmente por cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y, en determinados casos, aditivos químicos. Su

comportamiento depende de la unión entre la pasta de cemento hidratada y los agregados, lo que genera una estructura interna heterogénea.

Esta condición hace que el hormigón no pueda analizarse como un material completamente uniforme, debido a que dentro de su masa existen partículas de diferentes tamaños, poros, vacíos, zonas de pasta endurecida y regiones de contacto entre el agregado y la matriz cementante.

(Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M., 2014) explican que el hormigón endurecido está compuesto por tres fases principales: la pasta de cemento hidratada, los agregados y la zona de transición interfacial. Esta última corresponde al área de contacto entre el agregado y la pasta, y suele ser una zona crítica para el comportamiento mecánico del material. De manera similar, (Mindess, Young y Darwin, 2003) señalan que la resistencia del hormigón depende de la calidad de la pasta, de las propiedades de los agregados y de la adherencia que se desarrolla entre ambos componentes.

La resistencia a la compresión de Hormigón es una de las propiedades más importantes porque permite estimar su capacidad para soportar cargas axiales. Sin embargo, esta resistencia está influenciada por varios factores. Como lo son la relación agua/cemento, la compactación, el curado, la edad de ensayo, el contenido de vacíos, la granulometría a realizarse, y los más importante el tamaño nominal del agregado grueso. De esta manera se puede analizar no solo únicamente el cemento utilizado sino como es el comportamiento resistente del hormigón.

La problemática de investigación, comprender al hormigón como material compuesto permite justificar el análisis experimental de los agregados gruesos. Si el agregado forma parte del esqueleto interno de la mezcla, cualquier variación en su tamaño nominal puede modificar la forma en que se acomodan las partículas, la cantidad de pasta requerida y la distribución de esfuerzos dentro de la probeta. Por tanto, el estudio de los agregados de 3/8", 1/2" y 3/4" se fundamenta en la necesidad de conocer cómo estas variaciones afectan la resistencia a la compresión.

### **1.1.3 Los agregados y su función dentro del hormigón**

Los agregados son materiales granulares que forman parte esencial del hormigón. Se clasifican generalmente en agregado fino y agregado grueso.

El agregado fino corresponde a la arena, mientras que el agregado grueso está constituido por partículas de mayor dimensión, como grava o piedra triturada. Aunque durante mucho tiempo se consideró que los agregados cumplían principalmente una función de relleno, diversos autores han demostrado que estos influyen de manera directa en las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

(Rodríguez, 1971) analizó la relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y el agua de amasado, señalando que el tamaño del agregado condiciona la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia determinada.

Esta afirmación resulta importante, porque la cantidad de agua influye en la relación agua/cemento y, por consiguiente, en la resistencia final del hormigón. Asimismo, (Kosmatka y Wilson, 2016) señalan que los agregados influyen en la trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía del hormigón, por lo que su selección debe realizarse con criterios técnicos.

La función de los agregados dentro del hormigón se relaciona con la formación granular capaz de aportar estabilidad volumen y resistencia interna. Esto para una adecuada combinación de partículas internas que permite reducir la relación de vacíos y ayuda a mejorar la compactación y disminuir la cantidad de pasta necesaria para llenar los espacios entre los agregados. En cambio, una mala selección granulométrica puede producir mezclas con segregación, baja trabajabilidad, exceso de vacíos o menor resistencia mecánica.

En obra, los agregados tienen una influencia mayor de la que muchas veces se reconoce. Cuando se utilizan sin control de granulometría, humedad o tamaño nominal, la mezcla puede presentar variaciones importantes en su comportamiento.

Con base en ello, este estudio compara experimentalmente diferentes tamaños nominales de agregado grueso, con el fin de aportar información técnica que permita mejorar el diseño de mezclas de hormigón.

#### **1.1.4 Tamaño nominal del agregado grueso**

El tamaño nominal de los agregados gruesos se refiere a las dimensiones y sus características de las partículas que conforman el agregado esto utilizando en todas mezclas.

Los parámetros que se relaciona con el tamizado del material permiten clasificarlo para un debido uso a lo que se requiera.

Para el estudio se consideraron agregados gruesos con los siguientes tamaños nominales: 3/8" (9,5 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/4" (19 mm), debido a que corresponden a tamaños empleados comúnmente en mezclas de hormigón destinadas a diferentes tipos de construcciones.

El tamaño nominal influye mucho en la trabajabilidad del hormigón y esto en la cantidad de pasta necesaria para recubrir las partículas y en el contenido de vacíos de la mezcla. Un agregado de menor tamaño puede favorecer la homogeneidad y el acomodo interno especialmente en elementos con espacios reducidos, sin embargo, al tener mayor superficie específica, puede requerir mayor cantidad de pasta. Por el contrario, un agregado de mayor tamaño puede reducir el área superficial total, pero exige una compactación adecuada para evitar vacíos alrededor de las partículas.

(Neville, 2011) sostiene que el tamaño del agregado puede influir en la resistencia del hormigón cuando afecta la compactación, la relación agua/cemento efectivo o la adherencia entre agregado y pasta. Por su parte, (Bažant, Z. P., & Planas, J., 1998) explican que el comportamiento del hormigón también puede interpretarse desde el efecto tamaño, debido a que las dimensiones internas de sus componentes pueden favorecer la concentración de esfuerzos y la propagación de microfisuras.

Las relaciones de este fundamento con el problema de investigación son muy directas. Si los tamaños nominales modifican la compactación y las características internas de la mezcla, entonces también pueden generar variaciones en la resistencia a la compresión.

No obstante, esta relación debe comprobarse experimentalmente, ya que el efecto del tamaño nominal puede depender de la dosificación, la humedad de los agregados, el contenido de pasta, el uso de aditivos y las condiciones de curado.

#### **1.1.5 Granulometría y distribución de partículas**

La granulometría es la distribución de tamaños de partículas presentes en un agregado. Esta propiedad influye en el acomodo de los materiales dentro de la mezcla y en la cantidad de vacíos que deben ser ocupados por la pasta cementante. Una granulometría adecuada permite que las partículas pequeñas llenen los espacios entre las partículas de mayor tamaño, generando una mezcla más compacta y con menor demanda de pasta.

(Kosmatka y Wilson, 2016) explican que una buena distribución granulométrica permite mejorar la trabajabilidad, reducir la segregación y optimizar el contenido de cemento. En este sentido, la granulometría no solo tiene importancia en el estado fresco del hormigón, sino también en su comportamiento endurecido. Una mezcla con menor cantidad de vacíos puede desarrollar mayor densidad y, en consecuencia, mejores condiciones de resistencia.

La granulometría también está relacionada con la durabilidad del hormigón. (Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M., 2014) sostienen que la porosidad y la conectividad de los poros influyen en la permeabilidad del hormigón, lo cual afecta su resistencia frente a agentes externos. Por tanto, una distribución inadecuada de agregados puede aumentar la presencia de vacíos y facilitar el ingreso de humedad o sustancias agresivas.

En el contexto de esta investigación, la granulometría permite explicar por qué el tamaño nominal del agregado grueso puede influir en la resistencia a la compresión. Si un tamaño de agregado permite una mejor distribución y compactación, es posible que la mezcla alcance mayores resistencias. Sin embargo, si el tamaño genera exceso de vacíos o dificulta el moldeo de las probetas, la resistencia puede disminuir. Esta interpretación será fundamental al momento de analizar los resultados de laboratorio.

### **1.1.6 Relación agua/cemento y trabajabilidad del hormigón**

La relación agua/cemento es uno de los parámetros más influyentes en la resistencia del hormigón. (Abrams, 1918) estableció que, bajo condiciones similares de materiales y compactación, la resistencia del hormigón disminuye cuando aumenta la relación agua/cemento. Esto ocurre porque el exceso de agua genera mayor porosidad capilar dentro de la pasta endurecida, reduciendo la densidad y la resistencia del material.

No obstante, una mezcla con poca agua puede presentar problemas de trabajabilidad. La trabajabilidad se define como la facilidad con la que el hormigón fresco puede mezclarse, transportarse, colocarse y compactarse sin segregarse.

Si la mezcla es demasiado seca, puede quedar aire atrapado durante el moldeo si es demasiado fluida puede presentar segregación. Por esta razón, el diseño de mezclas debe buscar un equilibrio entre baja relación agua/cemento y adecuada manejabilidad que para ello se debe usar una buena dosificación.

El tamaño nominal del agregado grueso influye en la trabajabilidad porque modifica el rozamiento interno de la mezcla y la cantidad de pasta necesaria para recubrir las partículas. Un agregado más pequeño puede aumentar la demanda de pasta, mientras que un agregado más grande puede dificultar el acomodo en moldes o elementos con limitaciones de espacio. En esta investigación, el uso de aditivos como Adiflow 2010 y Adiretard 3010 permite mejorar las condiciones de trabajabilidad y controlar el tiempo de manejabilidad de la mezcla.

Al analizar los resultados, la resistencia obtenida en las probetas no debe interpretarse solo en función del tamaño nominal del agregado. También deben considerarse la trabajabilidad, la compactación, la consistencia de la mezcla y las condiciones de curado. Si una mezcla presenta menor trabajabilidad o compactación deficiente, sus resultados pueden verse afectados. Por ello, el análisis de los ensayos deberá considerar la relación entre tamaño nominal, dosificación, consistencia, compactación y resistencia final.

### **1.1.7 Zona de transición interfacial entre agregado y pasta**

La zona de transición interfacial es la región que se forma alrededor de las partículas de agregado, donde la pasta de cemento entra en contacto con la superficie del árido.

Esta zona suele presentar mayor porosidad que la pasta ubicada lejos del agregado, por lo que puede convertirse en una región débil dentro del hormigón. (Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M., 2014) explican que la zona de transición interfacial influye en la resistencia, fisuración y durabilidad del hormigón, debido a que en ella se concentran fenómenos relacionados con adherencia, porosidad y microfisuración.

El tamaño nominal del agregado grueso puede modificar la cantidad de superficie de contacto entre agregado y pasta. Los agregados pequeños generan mayor área superficial total, por lo que requieren más pasta para recubrir sus partículas. En cambio, los agregados de mayor tamaño generan menor superficie total, pero pueden producir concentraciones de esfuerzo alrededor de partículas grandes, especialmente si existen vacíos o baja adherencia con la pasta cementante.

(Mindess, Young y Darwin, 2003) señalan que la adherencia entre el agregado y la pasta depende de la textura, limpieza, forma y absorción del agregado.

Por ello, la calidad del agregado no se limita a su tamaño, sino que incluye varias características físicas que pueden incidir en el comportamiento mecánico del hormigón. En el caso de esta investigación, aunque el tamaño nominal es la variable principal, también se debe considerar que la textura y limpieza de los agregados pueden influir en los resultados.

Este apartado muestra que la resistencia a la compresión depende de una estructura interna compleja. Si el agregado y la pasta no trabajan de manera adecuada, la probeta puede fallar por zonas débiles en la interfaz. Por ello, al comparar los agregados de 3/8", 1/2" y 3/4", será necesario analizar no solo el valor numérico de resistencia, sino también el tipo de falla observado durante la rotura.

### **1.1.8 Curado y desarrollo de resistencia del hormigón**

El curado es el proceso mediante el cual se mantiene la humedad y temperatura adecuadas para permitir la hidratación del cemento y el desarrollo progresivo de resistencia. Un curado deficiente puede reducir la resistencia del hormigón, aumentar la porosidad superficial y afectar su durabilidad. (Neville, 2011) indica que el curado es especialmente importante en las primeras edades, debido a que durante este periodo se produce una parte significativa del desarrollo resistente.

La resistencia del hormigón aumenta con la edad como resultado de la hidratación del cemento. A los 3 días se obtiene una resistencia inicial que permite observar el comportamiento temprano de la mezcla. A los 7 días se puede evaluar una resistencia intermedia, mientras que a los 28 días se analiza la resistencia de referencia utilizada comúnmente para valorar la calidad del hormigón (Kosmatka y Wilson, 2016) señalan que la edad de 28 días se emplea de manera habitual como criterio técnico para comparar mezclas y verificar su desempeño.

En este estudio, las edades de ensayo de 3, 7 y 28 días permiten analizar la evolución resistente del hormigón elaborado con agregados de diferentes tamaños nominales. Esto es importante porque un tamaño de agregado podría presentar mejor comportamiento a edades tempranas, mientras que otro podría alcanzar mayor resistencia a los 28 días.

Por tanto, el análisis no debe limitarse a un solo momento de ensayo, sino a la tendencia completa de desarrollo resistente.

El curado debe considerarse una variable de control dentro del proceso experimental. Si las probetas no se conservan bajo condiciones similares, las diferencias de resistencia podrían deberse al curado y no necesariamente al tamaño nominal del agregado. Por ello, todas las probetas deben mantenerse bajo condiciones controladas y registrarse correctamente las fechas de elaboración, curado y rotura.

### **1.1.9 Resistencia a la compresión del hormigón**

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón porque permite evaluar su capacidad para soportar cargas axiales. Esta propiedad se determina mediante el ensayo de compresión de probetas cilíndricas, aplicando una carga creciente hasta alcanzar la falla. El resultado se expresa como la relación entre la carga máxima soportada y el área de la sección transversal del espécimen.

El ensayo de resistencia a la compresión es ampliamente utilizado en el control de calidad del hormigón porque permite comparar mezcla y verificar el cumplimiento de especificaciones para analizar el efecto de diferentes variables. En esta investigación, la resistencia se expresa en  $\text{kgf/cm}^2$  y se evalúa en probetas elaboradas con agregados de 3/8", 1/2" y 3/4", dos dosificaciones y tres edades de curado. Esta organización permitirá comparar el comportamiento mecánico de cada grupo experimental.

La resistencia a la compresión está influenciada por múltiples factores, entre ellos la relación agua/cemento, el tipo de cemento, la calidad de los agregados, la compactación, el curado, el contenido de vacíos y la edad de ensayo. En este sentido, el tamaño nominal del agregado debe analizarse dentro de un conjunto de condiciones controladas. Si no se controlan las demás variables, no sería posible atribuir de manera confiable las diferencias de resistencia al tamaño del agregado.

Este criterio muestra que el valor de resistencia no debe interpretarse como un dato aislado. Un resultado alto o bajo debe relacionarse con la trabajabilidad, el moldeo, el curado, la granulometría y el tipo de falla observado. En consecuencia, el Capítulo IV deberá discutir los resultados de manera integral y no únicamente mediante comparación numérica.

### **1.1.10 Normativas técnicas aplicables al estudio**

El diseño, elaboración y control del hormigón requieren el cumplimiento de normas técnicas que permitan garantizar la confiabilidad de los procedimientos. En el caso de los agregados para hormigón, (ASTM C33/C33M, 2024 ) establece requisitos

relacionados con la granulometría y calidad del material. Esta norma es importante para asegurar que los agregados utilizados cumplan condiciones adecuadas para su empleo en mezclas de concreto.

Para la caracterización granulométrica de los agregados, (ASTM C136/C136M, 2019) se establece el método de análisis por tamizado de agregados finos y gruesos. Este procedimiento permite determinar las distribuciones de tamaños de partículas y verificar si el agregado corresponde al tamaño nominal requerido.

En el contexto de esta investigación esta normada y resulta fundamental porque la variable independiente se relaciona directamente con los tamaños de 3/8", 1/2" y 3/4".

La elaboración y curado de probetas en laboratorio se relaciona con (ASTM C192/C192M, 2026), norma que establece prácticas para preparar y conservar especímenes de hormigón bajo condiciones controladas. Asimismo, ASTM C39/C39M establece el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón. Por otro lado, (ASTM C143/C143M, 2026) permite evaluar el asentamiento del hormigón fresco mediante el cono de Abrams.

El análisis de las normas permite comprender que el estudio experimental no debe ejecutarse de manera empírica sino bajo los procedimientos técnicos que garanticen la validez de los resultados. El cumplimiento de normas permite que los ensayos sean reproducidos y comparables para la aceptación dentro del ámbito académico y profesional. Por ello, las normas técnicas constituyen un soporte esencial para el desarrollo metodológico de la investigación.

#### **1.1.11 Síntesis crítica del estado actual del conocimiento**

El análisis del estado del arte muestra que el hormigón es un material compuesto cuyo comportamiento mecánico depende de múltiples factores. Entre ellos, los agregados cumplen un papel fundamental porque conforman la mayor parte del volumen de la mezcla y participan en la formación del esqueleto resistente.

La literatura revisada indica que la granulometría, el tamaño nominal, la textura, la absorción, la limpieza y la distribución de partículas pueden modificar la trabajabilidad, compactación, contenido de vacíos y resistencia a la compresión.

También se evidencia que la resistencia del hormigón no puede explicarse únicamente por la cantidad de cemento o por la relación agua/cemento. Aunque estos factores son determinantes, el tamaño nominal del agregado grueso puede influir en la demanda de pasta, en el acomodo interno de las partículas y en la calidad de la zona de transición interfacial.

Con base en lo anterior, el estudio experimental de agregados de diferentes tamaños nominales resulta necesario para comprender mejor el comportamiento del hormigón bajo condiciones controladas.

El vacío principal identificado en la revisión bibliográfica se relaciona con la falta de información experimental específica sobre el comportamiento comparativo de mezclas elaboradas con agregados de 3/8", 1/2" y 3/4", empleando cemento Holcim UTKA, dos dosificaciones, aditivos y ensayos a edades de 3, 7 y 28 días.

Aunque existen estudios generales sobre agregados, granulometría y resistencia, se requiere información propia que permita establecer criterios aplicables a las condiciones del estudio.

En consecuencia, el presente capítulo permite fundamentar la investigación y orientar el desarrollo metodológico posterior. La revisión teórica demuestra que el tamaño nominal del agregado grueso es una variable técnicamente relevante, pero su influencia debe comprobarse mediante ensayos de laboratorio. Por ello, el Capítulo II describirá los materiales, métodos y procedimientos experimentales empleados para evaluar la resistencia a la compresión de las 33 probetas.

## **2 CAPÍTULO II**

### **2.1 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1.1 Consideraciones generales del capítulo**

En este capítulo se describen los materiales, equipos, procedimientos y criterios metodológicos empleados para el desarrollo experimental de la investigación. Se detallan las características de los componentes utilizados, el diseño de las mezclas, la elaboración de las probetas, el proceso de curado, los ensayos de trabajabilidad y resistencia a la compresión, así como la forma de registro y procesamiento de los datos obtenidos. La finalidad de este capítulo es dar a conocer de manera ordenada el procedimiento realizado, de modo que el trabajo pueda ser entendido y revisado técnicamente.

La investigación se orienta al estudio comparativo de mezclas de hormigón elaboradas con tres tamaños nominales de agregado grueso: 3/8" (9,5 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/4" (19 mm).

Para cada tamaño nominal se utilizaron dos dosificaciones, identificadas como D1 y D2, con la finalidad de analizar si la diferencia del tamaño del agregado tiene cambios importantes en la resistencia a la compresión. Las probetas son evaluadas a edades de curado de 3, 7 y 28 días, lo que permite observar el desarrollo temprano, intermedio y final de la resistencia del hormigón.

El desarrollo de este capítulo responde al principio de orden metodológico, ya que primero se define el enfoque de investigación, luego se describen las variables, materiales, equipos y procedimientos, y finalmente se explica la forma en que se organizarán y analizarán los datos. En esta sección no se presentan resultados de resistencia, debido a que estos corresponden al capítulo de aplicación de la propuesta y evaluación de los resultados.

#### **2.1.2 Enfoque, tipo y alcance de la investigación**

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que los datos principales se expresan mediante valores numéricos de resistencia a la compresión en kgf/cm<sup>2</sup>.

Según (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) , el enfoque cuantitativo se caracteriza por medir variables, organizar datos y analizarlos mediante procedimientos objetivos que permiten establecer relaciones entre los elementos estudiados.

En este caso, la medición de la resistencia a la compresión permite comparar el comportamiento mecánico de las mezclas elaboradas con diferentes tamaños nominales de agregado grueso.

El estudio corresponde a una investigación experimental, porque se manipula de manera controlada la variable independiente, representada por el tamaño nominal del agregado grueso, para observar su influencia sobre la variable dependiente, que corresponde a la resistencia a la compresión del hormigón.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio se apoya en procedimientos de laboratorio, control de materiales, identificación de probetas, curado controlado y ensayos mecánicos normalizados y obtener datos que puedan relacionarse principalmente con el tamaño nominal del agregado grueso y con la dosificación aplicada.

### **2.1.3 Variables de la investigación**

La variable independiente de la investigación corresponde al tamaño nominal del agregado grueso, debido a que este es el factor modificado dentro del diseño experimental. Los tamaños evaluados son 3/8" (9,5 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/4" (19 mm). Esta variable se relaciona con la distribución interna de partículas, la cantidad de pasta cementante requerida, la trabajabilidad, la compactación y el contenido de vacíos dentro de la mezcla.

La variable dependiente se refiere a la resistencia a la compresión del hormigón, medida en  $\text{kgf/cm}^2$ . Esta propiedad permite realizar un análisis en el comportamiento mecánico de las probetas cuando son sometidas a carga axial hasta su rotura.

La resistencia a la compresión se selecciona como variable dependiente porque constituye uno de los parámetros más empleados para valorar la calidad del hormigón en obras de ingeniería civil.

También se consideran variables de control, como el tipo de cemento, el agua de mezclado, el agregado fino, los aditivos, el procedimiento de mezclado, el método de compactación, el curado, las dimensiones de las probetas, las edades de ensayo y el equipo utilizado para la rotura.

El control de estas variables resulta necesario para que las diferencias observadas en la resistencia puedan relacionarse principalmente con el tamaño nominal del agregado grueso y no con variaciones no controladas del procedimiento experimental.

**Tabla 2.1.-** Operacionalización de variables.

| <b>Tipo de variable</b> | <b>Variable</b>                    | <b>Dimensión</b>             | <b>Indicador</b>                      | <b>Unidad o criterio</b> |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Independiente           | Tamaño nominal del agregado grueso | Clasificación granulométrica | 3/8", 1/2" y 3/4"                     | mm o pulgadas            |
| Dependiente             | Resistencia a la compresión        | Comportamiento mecánico      | Carga máxima soportada por la probeta | kgf/cm <sup>2</sup>      |
| Control                 | Dosificación                       | Proporción de materiales     | D1 y D2                               | Cantidades por mezcla    |
| Control                 | Edad de curado                     | Tiempo de hidratación        | 3, 7 y 28 días                        | Días                     |
| Control                 | Curado                             | Conservación de probetas     | Condición húmeda controlada           | Registro de curado       |

#### **2.1.4 Lugar y condiciones de desarrollo experimental**

La etapa experimental se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicado en la Ciudadela Universitaria, Calle 12 y Av. Circunvalación - Vía a San Mateo Manta, Manabí. En el laboratorio se realizaron algunas actividades las cuales fueron la preparación de materiales, dosificaciones,

mezclados, elaboraciones de probetas, curados y ensayos de resistencia a la compresión.

Durante el desarrollo experimental se procura mantener condiciones uniformes para todas las mezclas, especialmente en el pesaje de materiales, preparación de agregados, tiempo de mezclado, método de compactación, identificación de probetas y proceso de curado.

Estas condiciones son importantes porque el hormigón es un material sensible a pequeñas variaciones en el contenido de agua, humedad de los agregados, compactación y conservación de las muestras.

Las fechas de elaboración y rotura de las probetas se registran en fichas de control, con el fin de asegurar que cada espécimen sea ensayado en la edad correspondiente. Esta trazabilidad permite relacionar cada resultado con su tamaño nominal, dosificación, edad de curado y número de probeta.

#### **2.1.5 Materiales utilizados**

Los materiales utilizados en la investigación son cemento hidráulico Holcim UTKA, agua potable, arena natural, agregado grueso de 3/8", agregado grueso de 1/2", agregado grueso de 3/4", aditivo plastificante Adiflow 2010 y aditivo retardante Adiretard 3010.

Estos materiales fueron seleccionados considerando su disponibilidad para la elaboración de mezclas de hormigón y su relación directa con el objetivo experimental del estudio.

El cemento hidráulico Holcim UTKA cumple la función de material aglomerante. Según (Holcim Ecuador S. A., (s. f.)), Holcim UTKA es un cemento hidráulico, tipo MS, desarrollado para aplicaciones como prefabricados livianos, bloques y adoquines, y cuenta con certificación de calidad INEN conforme a la normativa NTE INEN 2380:2011. En la presente investigación se mantiene el mismo tipo de cemento en todas las mezclas, con el propósito de evitar que las variaciones de resistencia se atribuyan a cambios en el material cementante.

El agua utilizada es potable, debido a que este tipo de agua no contiene impurezas visibles que puedan afectar el proceso de hidratación del cemento o el desarrollo de resistencia. Su cantidad debe controlarse en cada dosificación, ya que una variación en el contenido de agua puede modificar la trabajabilidad, la relación agua/cemento y la resistencia final del hormigón.

La arena natural se utiliza como agregado fino dentro de las mezclas de hormigón. Su utilización permite ocupar parte de los espacios vacíos encontrados entre el agregado grueso la cual favorece una buena mezcla.

El agregado grueso corresponde a los tamaños nominales de 3/8", 1/2" y 3/4", que constituyen la variable principal del estudio. Cada tamaño se utiliza de manera separada en las mezclas, con el fin de comparar su influencia sobre la resistencia a la compresión.

Los aditivos utilizados son Adiflow 2010, como plastificante, y Adiretard 3010, como retardante. El plastificante se emplea para mejorar la manejabilidad del hormigón fresco, mientras que el retardante permite controlar el tiempo de trabajabilidad de la mezcla. De acuerdo con ASTM C494/C494M, los aditivos químicos para hormigón pueden modificar propiedades del material fresco y endurecido, por lo que su dosificación debe ser controlada técnicamente (ASTM International, 2019).

**Tabla 2.2.-** Materiales empleados en la investigación.

| <b>Material</b>        | <b>Función en la mezcla</b>  | <b>Observación</b>                               |
|------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| Cemento Holcim<br>UTKA | Aglomerante hidráulico       | Se utiliza el mismo cemento en todas las mezclas |
| Agua potable           | Hidratación y trabajabilidad | Su cantidad se controla por dosificación         |
| Arena natural          | Agregado fino                | Contribuye al llenado de vacíos                  |

|                      |                       |                                             |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------------------|
| Agregado grueso 3/8" | Variable de estudio   | Tamaño nominal menor                        |
| Agregado grueso 1/2" | Variable de estudio   | Tamaño nominal intermedio                   |
| Agregado grueso 3/4" | Variable de estudio   | Tamaño nominal mayor                        |
| Adiflow 2010         | Aditivo plastificante | Mejora la manejabilidad del hormigón fresco |
| Adiretard 3010       | Aditivo retardante    | Controla el tiempo de trabajabilidad        |

### **2.1.6 Equipos e instrumentos empleados**

Para la ejecución del proceso experimental se emplean equipos e instrumentos de laboratorio destinados a la preparación, control y ensayo de las mezclas de hormigón. Entre los principales equipos se consideran balanza, recipientes de medición, tamices normalizados, mezcladora, moldes cilíndricos, varilla de compactación, cono de Abrams, tanque o área de curado y prensa hidráulica para ensayo de compresión.

La balanza se utiliza para pesar los materiales correspondientes a cada dosificación, garantizando que las cantidades sean controladas. Los tamices permiten verificar la clasificación granulométrica de los agregados y separar los tamaños requeridos. La mezcladora se emplea para homogenizar los componentes de cada mezcla. Los moldes cilíndricos permiten elaborar las probetas de ensayo bajo una geometría uniforme.

El cono de Abrams se considera para evaluar la trabajabilidad del hormigón fresco mediante el asentamiento, de acuerdo con ASTM C143/C143M, norma que establece el método para determinar el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico (ASTM International, 2026a). La prensa hidráulica para ensayo de compresión se utiliza para aplicar carga axial a las probetas hasta alcanzar su rotura, registrando la carga máxima soportada por cada espécimen. Además, se

emplean fichas de registro para identificar las probetas, anotar las fechas de curado, registrar las cargas máximas y describir las observaciones del tipo de falla.

**Tabla 2.3.-** Equipos e instrumentos utilizados.

| Equipo o instrumento                        | Uso dentro de la investigación                        |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Balanza                                     | Pesaje de cemento, arena, agregados, agua y aditivos  |
| Tamices normalizados                        | Clasificación y control granulométrico de agregados   |
| Mezcladora                                  | Homogeneización de las mezclas de hormigón            |
| Moldes cilíndricos                          | Elaboración de probetas de ensayo                     |
| Varilla de compactación                     | Compactación del hormigón dentro de los moldes        |
| Cono de Abrams                              | Evaluación de la trabajabilidad mediante asentamiento |
| Recipientes de medición                     | Control de cantidades de agua y aditivos              |
| Tanque o área de curado                     | Conservación de probetas hasta la edad de ensayo      |
| Prensa hidráulica para ensayo de compresión | Ensayo de resistencia a la compresión                 |
| Fichas de laboratorio                       | Registro de datos y control de trazabilidad           |

### 2.1.7 Diseño experimental

El diseño experimental se organiza considerando tres tamaños nominales de agregado grueso: 3/8" (9,5 mm), 1/2" (12,5 mm) y 3/4" (19 mm). Para cada tamaño nominal del agregado proveniente de la cantera Uruzca se elaboraron seis probetas cilíndricas, distribuidas en dos etapas para cada edad de ensayo (3, 7 y 28 días), obteniéndose un total de 18 probetas. En el caso del agregado del Material de la cantera Travesía, para el tamaño nominal de 3/4" se elaboraron únicamente tres probetas, debido a que esta etapa se planteó como una evaluación preliminar para verificar el comportamiento del material antes de continuar con el programa experimental. Una vez comprobada la viabilidad de los resultados obtenidos, para los tamaños nominales de 1/2" y 3/8" se elaboraron seis probetas por dosificación,

siguiendo la misma distribución por edades de curado. En conjunto, el programa experimental comprendió la elaboración de 33 probetas cilíndricas.

En total se elaboran 33 probetas cilíndricas. Esta cantidad permite realizar una comparación entre tamaños nominales, dosificaciones y edades de ensayo, manteniendo una distribución ordenada de especímenes. ASTM C192/C192M establece prácticas para la preparación y curado de probetas de hormigón en el laboratorio, incluyendo la preparación de materiales, el mezclado, el moldeo y el curado bajo condiciones controladas (ASTM International, 2026b). Por ello, la organización experimental busca mantener uniformidad en todas las combinaciones.

**Tabla 2.4.-** Matriz experimental de probetas.

| <b>Tamaño nominal del agregado</b> | <b>Dosificación</b> | <b>Edad de ensayo</b> | <b>Número de probetas</b> |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| 3/8"                               | D1                  | 3 días                | 2                         |
| 3/8"                               | D1                  | 7 días                | 2                         |
| 3/8"                               | D1                  | 28 días               | 2                         |
| 3/8"                               | D2                  | 3 días                | 2                         |
| 3/8"                               | D2                  | 7 días                | 2                         |
| 3/8"                               | D2                  | 28 días               | 2                         |
| 1/2"                               | D1                  | 3 días                | 2                         |
| 1/2"                               | D1                  | 7 días                | 2                         |
| 1/2"                               | D1                  | 28 días               | 2                         |
| 1/2"                               | D2                  | 3 días                | 2                         |
| 1/2"                               | D2                  | 7 días                | 2                         |
| 1/2"                               | D2                  | 28 días               | 2                         |
| 3/4"                               | D1                  | 3 días                | 2                         |
| 3/4"                               | D1                  | 7 días                | 2                         |
| 3/4"                               | D1                  | 28 días               | 2                         |
| 3/4"                               | D2                  | 3 días                | 1                         |

|              |    |         |           |
|--------------|----|---------|-----------|
| 3/4"         | D2 | 7 días  | 1         |
| 3/4"         | D2 | 28 días | 1         |
| <b>Total</b> | —  | —       | <b>33</b> |

### 2.1.8 Identificación y codificación de las probetas

La identificación de las probetas se realiza con el fin de diferenciar los distintos tamaños y dosificaciones que se emplean durante todo el desarrollo experimental. Cada espécimen se etiqueta con un código que incluye, en este orden: el tamaño nominal del agregado, la dosificación, la edad de ensayo y el número de repetición. Gracias a este procedimiento, es posible relacionar cada resultado con su mezcla correspondiente y evitar confusiones durante el curado y la rotura.

Se propone una codificación sencilla. Por ejemplo: A38-D1-3D-P1, donde A38 corresponde al agregado de 3/8", D1 indica la dosificación, 3D representa la edad de curado y P1 señala el número de probeta. Para el agregado de 1/2" se puede utilizar la numeración A12, mientras que para el agregado de 3/4" se puede emplear A34. Realizar la identificación ayuda a facilitar mejor la organización de los datos obtenidos para colocarlos en las tablas y realizar los gráficos.

**Tabla 2.5.-** Ejemplo de numeración de probetas.

| Número        | Significado                                             |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| A38-D1-3D-P1  | Agregado 3/8", dosificación D1, edad 3 días, probeta 1  |
| A38-D1-3D-P2  | Agregado 3/8", dosificación D1, edad 3 días, probeta 2  |
| A12-D2-7D-P1  | Agregado 1/2", dosificación D2, edad 7 días, probeta 1  |
| A34-D2-28D-P2 | Agregado 3/4", dosificación D2, edad 28 días, probeta 2 |

### 2.1.9 Dosificación de las mezclas

Para el desarrollo experimental se emplean dos dosificaciones por cada tamaño nominal de agregado grueso. Estas dosificaciones se identifican como D1 y D2.

La aplicación de dos proporciones permite comparar el comportamiento de las mezclas no solo en función del tamaño del agregado, sino también en relación con la variación de cantidades de los materiales.

La dosificación de las mezclas incluye cemento Holcim UTKA, agua potable, arena natural, agregado grueso, aditivo plastificante Adiflow 2010 y aditivo retardante Adiretard 3010.

Las cantidades utilizadas deben registrarse de manera exacta, debido a que cualquier variación en el contenido de cemento, agua, agregado o aditivo puede influir en la resistencia obtenida. (ACI Committee 211, 2009) plantea criterios para seleccionar proporciones de mezclas de concreto, considerando trabajabilidad, consistencia, resistencia y durabilidad, por lo que el control de la dosificación constituye una parte esencial del diseño experimental.

**Tabla 2.6.-** Dosificaciones utilizadas en la investigación.

| Procedencia      | Tamaño nominal | Dosificación | Cemento Holcim UTKA (kg) | Agua (kg) | Arena natural (kg) | Agregado grueso (kg) | Adiflow 2010 (g) | Adiretard 3010 (g) |
|------------------|----------------|--------------|--------------------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| Cantera Uruzca   | 3/8"           | D1           | 7.36                     | 3.02      | 17.50              | 17.85                | 78               | 40                 |
| Cantera Uruzca   | 1/2"           | D1           | 7.36                     | 3.02      | 17.50              | 17.85                | 78               | 40                 |
| Cantera Uruzca   | 3/4"           | D1           | 7.36                     | 3.02      | 17.50              | 17.85                | 78               | 40                 |
| Cantera Travesía | 3/8"           | D2           | 7.36                     | 3.52      | 18.15              | 17.70                | 111              | 40                 |
| Cantera Travesía | 1/2"           | D2           | 7.36                     | 3.52      | 18.15              | 17.70                | 111              | 40                 |
| Cantera Travesía | 3/4"           | D2           | 7.36                     | 3.52      | 18.15              | 17.70                | 111              | 40                 |

### 2.1.10 Caracterización de los agregados

La caracterización de los agregados se realiza con la finalidad de conocer sus propiedades físicas y verificar que los tamaños utilizados correspondan a los grupos definidos en el diseño experimental. Esta etapa permite controlar la variable independiente y reducir errores asociados a una clasificación incorrecta del material.

La norma ASTM C33/C33M establece requisitos de gradación y calidad para agregados finos y gruesos utilizados en concreto. Por ello, constituye una referencia normativa directa para el control de los agregados en esta investigación (ASTM International, 2024a).

La granulometría se determina mediante tamices normalizados, separando y verificando los agregados correspondientes a 3/8 pulgadas, 1/2 pulgadas y 3/4 pulgadas. Para este procedimiento se considera como referencia ASTM C136/C136M, norma que establece el método de análisis por tamizado de agregados finos y gruesos (ASTM International, 2019a).

Este ensayo permitió conocer la forma en que fueron distribuidas las partículas dentro del agregado y confirmar que cada material corresponda al tamaño nominal establecido. La absorción y humedad de los agregados también son parámetros importantes porque pueden modificar la cantidad de agua efectiva disponible en la mezcla. Un agregado con elevada absorción puede tomar parte del agua de amasado, disminuyendo la trabajabilidad; mientras que un agregado con humedad superficial puede aportar agua adicional y alterar la relación agua/cemento.

Por lo anterior, la condición de humedad de los agregados debe registrarse antes de elaborar las mezclas, ya que puede modificar la cantidad efectiva de agua disponible.

**Tabla 2.7.-** Registro de caracterización de agregados.

| Agregado        | Tamaño nominal | Granulometría | Humedad        | Absorción      | Observaciones        |
|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------------|
| Agregado grueso | 3/8"           | Realizada     | No determinada | No determinada | Material tipo chispa |

|                 |                       |             |                |                |                                             |
|-----------------|-----------------------|-------------|----------------|----------------|---------------------------------------------|
| Agregado grueso | 1/2"                  | Realizada   | No determinada | No determinada | Material tipo ripio                         |
| Agregado grueso | 3/4" cantera Uruzca   | Realizada   | No determinada | No determinada | Material proveniente de la cantera Uruzca   |
| Agregado grueso | 3/4" cantera Travesía | Realizada   | No determinada | No determinada | Material proveniente de la cantera Travesía |
| Arena natural   | Agregado fino         | No evaluada | No determinada | No determinada | Se utilizó como componente de la mezcla     |

### 2.1.11 Materiales deletéreos en los agregados gruesos

Los materiales deletéreos corresponden a impurezas o partículas no deseadas que pueden encontrarse dentro de los agregados gruesos y que dependiendo de su cantidad puede afectar la calidad del hormigón. Entre ellos se encuentran los terrones de arcilla, el polvo, los limos, la materia orgánica, las partículas blandas, los fragmentos frágiles y el material contaminado.

Cuando su contenido es elevado, pueden reducir la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, incrementar los vacíos dentro de la mezcla y disminuir la resistencia a la compresión.

La presencia de materiales deletéreos es relevante, ya que el agregado grueso no cumple únicamente la función de relleno, sino que contribuye al esqueleto resistente del hormigón.

Si el agregado contiene partículas débiles, arcillosas o presenta un exceso de polvo, la pasta de cemento no logra adherirse adecuadamente a la superficie del agregado. Como consecuencia, pueden formarse zonas débiles dentro de la probeta y producirse variaciones en los resultados de resistencia.

### **2.1.12 Grado de meteorización de la roca**

El grado de meteorización de la roca se refiere al nivel de alteración física o química que puede presentar el agregado debido a la acción del ambiente. Este proceso puede originarse por la humedad, el agua, los cambios de temperatura, el viento y otros agentes naturales que actúan sobre la roca a lo largo del tiempo.

Como resultado, el material puede perder parte de su dureza, presentar desprendimiento superficial o mostrar mayor facilidad para fragmentarse.

Un agregado con baja meteorización conserva mejores características físicas como la dureza, estabilidad y resistencia, lo que esto favorece su comportamiento dentro de las mezclas de hormigón. En cambio, cuando material está con un grado de meteorización puede presentar partículas débiles, mayor absorción de agua y una menor adherencia con la pasta de cemento.

Esto es importante porque, si el agregado se encuentra muy alterado, puede comportarse como un punto débil dentro de la mezcla y afectar la resistencia final de la probeta.

### **2.1.13 Curva granulométrica de los agregados**

Como parte de la caracterización física de los agregados gruesos utilizados en la investigación, se realizó el análisis granulométrico de los materiales correspondientes a los tamaños nominales de 3/8", 1/2" y 3/4". Para el agregado de 3/8" se empleó material conocido como chispa, para el agregado de 1/2" se utilizó ripio, mientras que para el agregado de 3/4" se consideraron dos muestras de distinta procedencia: una proveniente de la cantera Uruzca y otra proveniente de la cantera Travesía.

Esta diferenciación fue necesaria porque ambos materiales, aunque corresponden al mismo tamaño nominal, pueden presentar variaciones en su distribución de partículas debido a su origen.

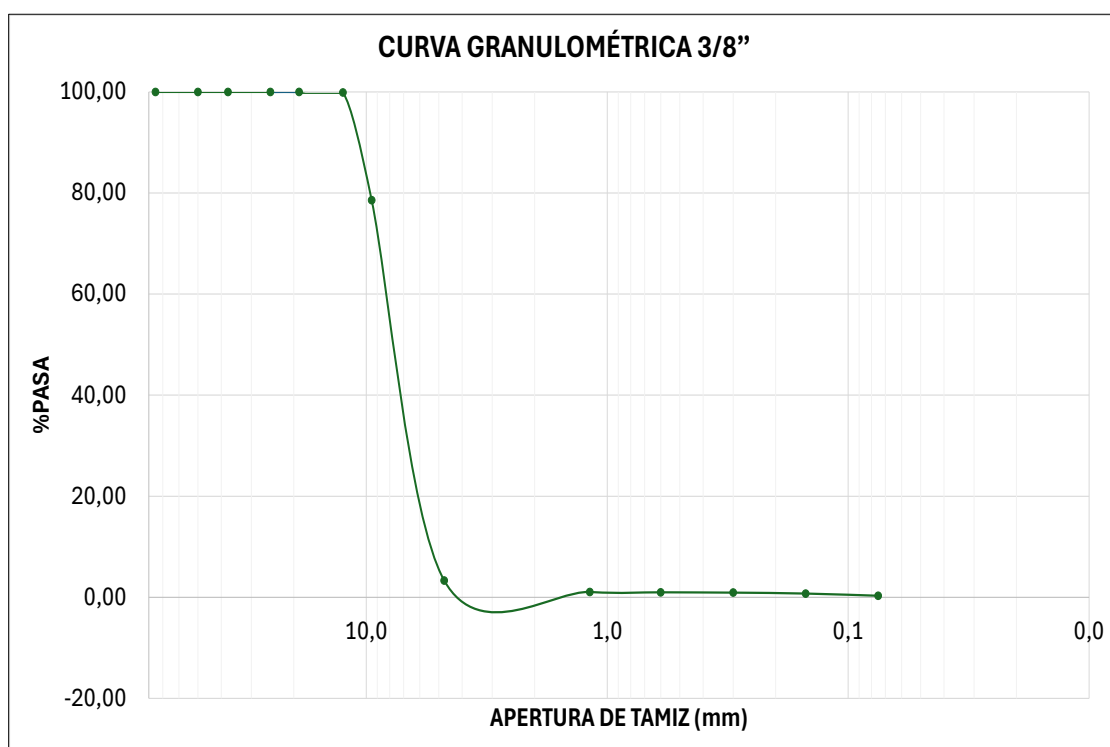
El análisis granulométrico se desarrolló mediante tamices normalizados, a partir de los cuales se obtuvieron los porcentajes retenidos y pasantes de cada muestra.

Con esta información se elaboraron las curvas granulométricas correspondientes, las cuales permiten representar gráficamente el comportamiento de cada agregado.

En el caso del agregado de 3/4", se elaboró una curva independiente de las canteras Uruzca y Travesía, con el fin de comparar su distribución granulométrica y considerar posibles diferencias dentro del análisis experimental.

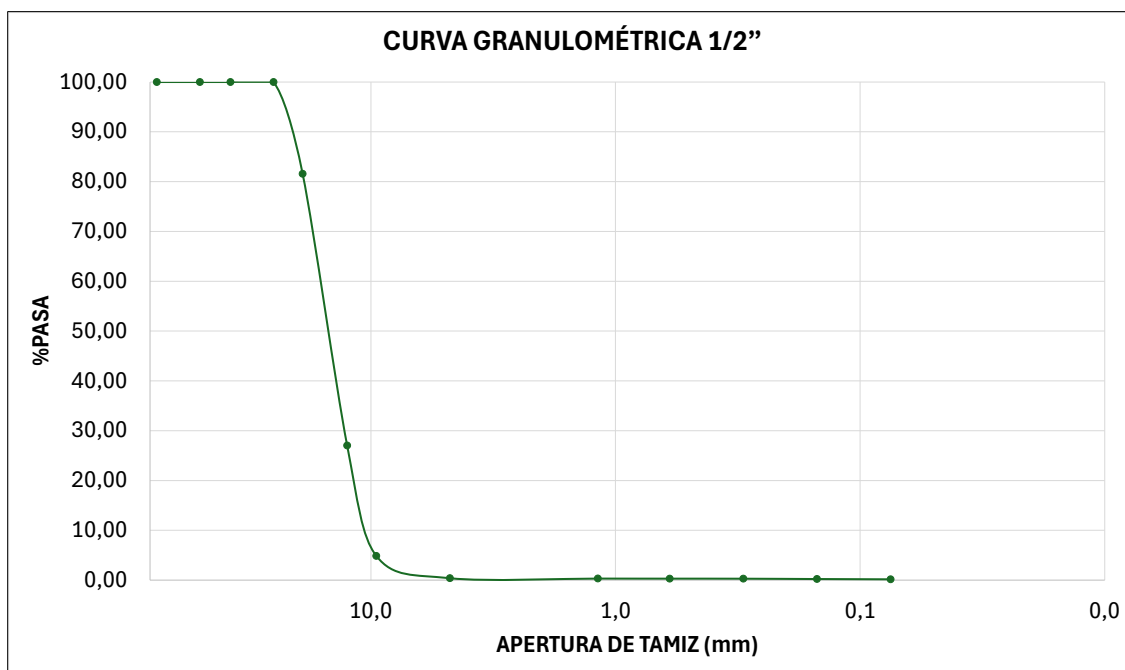
La información obtenida resulta importante porque la distribución de partículas puede influir en el acomodo interno del hormigón, la compactación, el contenido de vacíos, la trabajabilidad y, posteriormente, en la resistencia a la compresión de las probetas.

En esta investigación no se realizó curva granulométrica del agregado fino, por lo que el análisis granulométrico se limita únicamente a los agregados gruesos empleados como variable principal del estudio.



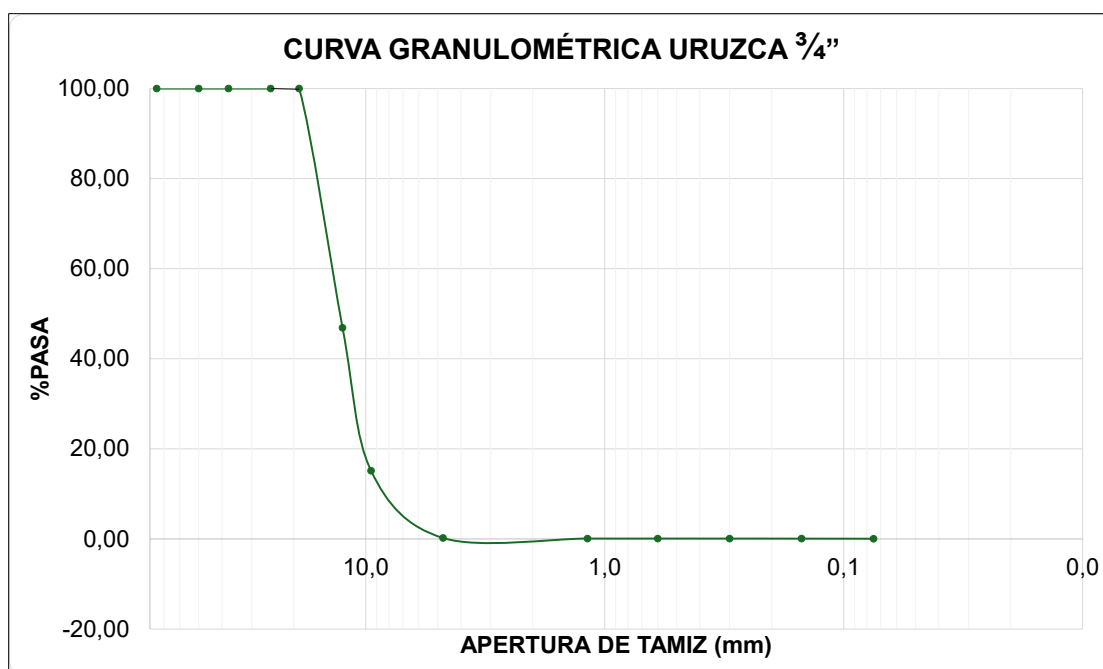
**Figura 2.1.-**Curva granulométrica del agregado grueso de 3/8".

**Nota.** Elaboración propia con base en el análisis granulométrico realizado en laboratorio.



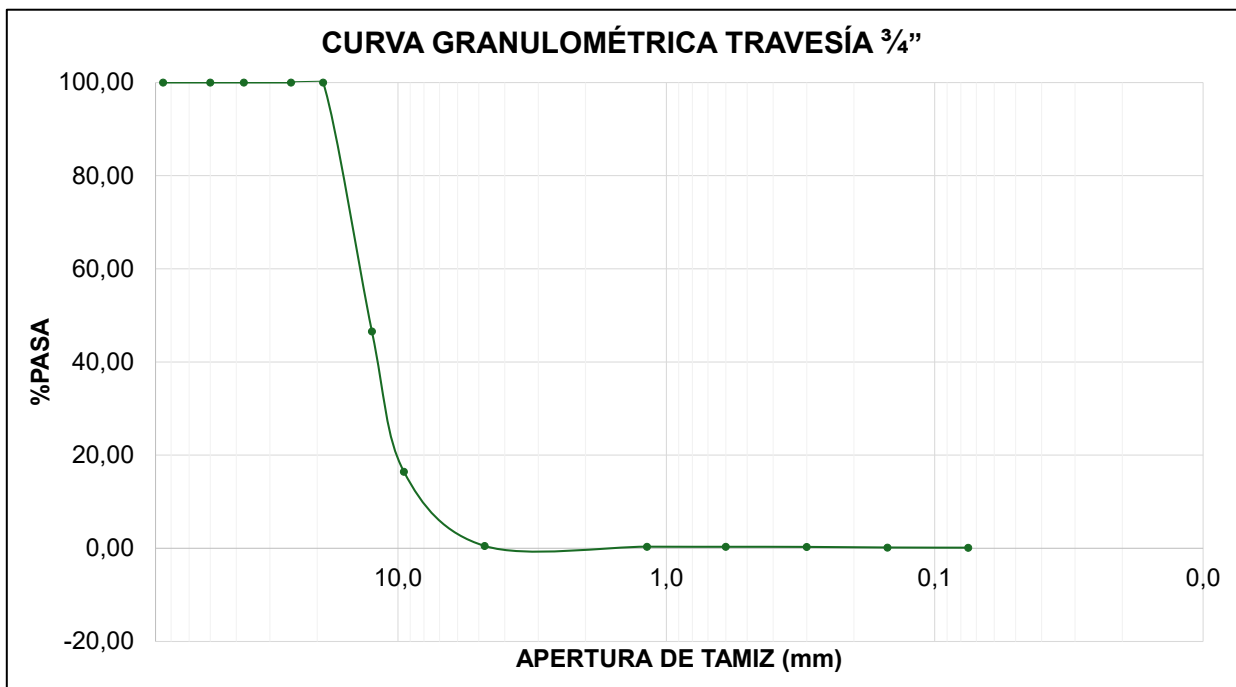
**Figura 2.2.**-Curva granulométrica del agregado grueso de 1/2\".

**Nota.** Elaboración propia con base en el análisis granulométrico realizado en laboratorio.



**Figura 2.3.**-Curva granulométrica del agregado grueso de 3/4\" proveniente de la cantera Uruzca.

**Nota.** Elaboración propia con base en el análisis granulométrico realizado en laboratorio.



**Figura 2.4.**-Curva granulométrica del agregado grueso de 3/4" proveniente de la cantera Travesía.

**Nota.** Elaboración propia con base en el análisis granulométrico realizado en laboratorio.

#### 2.1.14 Procedimiento de elaboración de las mezclas

El procedimiento de elaboración de las mezclas se desarrolla siguiendo una secuencia ordenada para mantener uniformidad entre los grupos experimentales. Primero se seleccionan y preparan los materiales correspondientes a cada dosificación. Luego se pesan las cantidades de cemento, agua, arena, agregado grueso y aditivos, de acuerdo con la dosificación establecida.

Posteriormente, los materiales se incorporan en la mezcladora procurando mantener el mismo orden y tiempo de mezclado para todas las combinaciones. ASTM C192/C192M establece que la preparación de especímenes de hormigón en laboratorio requiere controlar la preparación de materiales, el mezclado, el moldeo y el curado, con el fin de obtener muestras comparables (ASTM International, 2026b). Por tanto, la uniformidad del mezclado resulta importante para lograr una distribución adecuada de la pasta cementante y de los agregados dentro de la mezcla.

Durante el mezclado se observa la consistencia del hormigón fresco y se verifica que la mezcla presente condiciones adecuadas para el moldeo de probetas. Cuando se utilizan aditivos, estos se incorporan de manera controlada, procurando que su distribución sea uniforme dentro de la mezcla. Todas las observaciones realizadas durante el proceso deben registrarse en la ficha de laboratorio.

### **2.1.15 Evaluación de trabajabilidad**

La trabajabilidad del hormigón fresco se evalúa mediante el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams. ASTM C143/C143M establece el procedimiento para determinar el asentamiento del hormigón de cemento, tanto en laboratorio como en campo, lo que permite obtener una referencia práctica sobre la consistencia de la mezcla (ASTM International, 2026a). Este procedimiento permite observar la facilidad de colocación del hormigón fresco y comparar la manejabilidad entre los diferentes tamaños nominales de agregado grueso.

El procedimiento consiste en llenar el cono con hormigón fresco en capas, compactar cada capa de manera uniforme, retirar el molde verticalmente y medir el asentamiento producido. El valor obtenido permite registrar la consistencia de la mezcla y relacionarla posteriormente con el comportamiento de resistencia. Aunque el asentamiento no representa por sí solo la calidad del hormigón constituye un indicador práctico de su manejabilidad.

En esta investigación, el asentamiento se considera una variable de control. Si la mezcla obtiene menor resistencia, la trabajabilidad ayudará a analizar si dicha reducción pudo estar asociada con dificultad de compactación, baja fluidez o presencia de vacíos. Por tanto, este ensayo complementa el análisis de resistencia a la compresión.

**Tabla 2.8.-** Registro de trabajabilidad.

| <b>Mezcla</b> | <b>Tamaño nominal</b> | <b>Procedencia</b> | <b>Dosificación</b> | <b>Asentamiento</b> | <b>Observaciones</b> |
|---------------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| M1            | 3/8"                  | Cantera Uruzca     | D1                  | 21 cm               | Mezcla trabajable    |
| M2            | 1/2"                  | Cantera Uruzca     | D1                  | 21 cm               | Mezcla trabajable    |

|    |      |                     |    |       |                                                       |
|----|------|---------------------|----|-------|-------------------------------------------------------|
| M3 | 3/4" | Cantera Uruzca      | D1 | 21 cm | Mezcla trabajable                                     |
| M4 | 3/8" | Cantera<br>Travesía | D2 | 21 cm | Mezcla trabajable                                     |
| M5 | 1/2" | Cantera<br>Travesía | D2 | 21 cm | Mezcla trabajable                                     |
| M6 | 3/4" | Cantera<br>Travesía | D2 | 15 cm | Menor asentamiento<br>respecto a las demás<br>mezclas |

### **2.1.16 Moldeo y compactación de probetas**

El moldeo de las probetas se realiza utilizando moldes cilíndricos limpios y previamente identificados. Cada molde se llena con la mezcla correspondiente, procurando mantener el mismo procedimiento para todas las probetas. La compactación se efectúa de manera uniforme, con el propósito de reducir el aire atrapado y mejorar la densidad del hormigón.

ASTM C192/C192M sirve como referencia para la elaboración de especímenes de hormigón en laboratorio, debido a que establece prácticas relacionadas con el moldeo, compactación y curado de probetas bajo condiciones controladas (ASTM International, 2026b).

La compactación de la mezcla fue una etapa necesaria durante la elaboración de las probetas, debido a que influye directamente en la cantidad de vacíos los cuales quedan dentro del hormigón. Un buen trabajo de compactación permite obtener una uniformidad en las mezclas y, por tanto, en la resistencia a la compresión. Si este proceso no se realiza bien, esto puede generar que el comportamiento de las probetas se afecte y no se cumpla con lo esperado en el ensayo de resistencia a la compresión. Una vez finalizado el moldeo, las probetas se nivelan en la parte superior y se etiquetan con su código correspondiente. Posteriormente, se dejan en reposo inicial antes de ser trasladadas al proceso de curado. El registro de cada probeta permite mantener el control de su edad de ensayo y de la mezcla a la que pertenece.

### 2.1.17 Curado de las probetas

El curado de las probetas se realiza con el objetivo de mantener condiciones adecuadas de humedad para favorecer la hidratación del cemento y el desarrollo progresivo de resistencia. Después del periodo inicial de fraguado, las probetas se trasladan al sistema de curado definido, manteniéndose bajo condiciones controladas hasta alcanzar las edades de 3, 7 y 28 días.

El proceso de curado se aplica de manera similar para todas las probetas, debido a que diferencias en esta etapa podrían afectar los resultados de resistencia.

(ASTM C192/C192M, 2026) establece criterios de curado para especímenes de hormigón elaborados en laboratorio, con la finalidad de obtener muestras comparables y reproducibles. Un curado deficiente puede provocar pérdida de humedad, desarrollo incompleto de la hidratación y disminución de la resistencia final.

**Tabla 2.9.-** Registro de curado de probetas.

| <b>Procedencia</b> | <b>Tamaño nominal</b> | <b>Fecha de elaboración</b> | <b>Edades de ensayo</b> | <b>Fechas de rotura</b>       |
|--------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Cantera Uruzca     | 3/4"                  | 05/05/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |
| Cantera Uruzca     | 1/2"                  | 09/06/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |
| Cantera Uruzca     | 3/8"                  | 09/06/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |
| Cantera Travesía   | 3/4"                  | 19/05/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |
| Cantera Travesía   | 1/2"                  | 16/06/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |
| Cantera Travesía   | 3/8"                  | 16/06/2026                  | 3, 7 y 28 días          | Según registro de laboratorio |

**Nota.** Elaboración propia. Las fechas de rotura corresponden a las edades de ensayo establecidas (3, 7 y 28 días) según el registro del laboratorio.

### 2.1.18 Ensayo de resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se realiza mediante la aplicación de carga axial sobre las probetas cilíndricas hasta alcanzar la falla. Antes del ensayo, cada probeta se identifica, se revisa visualmente y se coloca correctamente en la prensa hidráulica para ensayo de compresión. La correcta alineación del espécimen es importante para evitar cargas excéntricas que puedan generar fallas irregulares o resultados no representativos.

La norma (ASTM C39/C39M-24) establece el procedimiento utilizado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, ya sean probetas o núcleos extraídos de algunas estructuradas ya construidas. En el desarrollo de esta investigación se consideraron los criterios establecidos dicha norma para realizar los ensayos de roturas de las probetas y registrar de la carga máxima soportada por cada probeta hasta alcanzar la falla. Este cálculo de la resistencia a la compresión fue realizado teniendo en cuenta la carga máxima obtenida por cada probeta ensayada. Los resultados fueron expresados en  $\text{kgf/cm}^2$ , de acuerdo con la normativa establecida. Cuando es necesario, se realiza las conversiones requeridas para obtener los valores necesarios. Además, se observó el tipo de falla en cada probeta después de la rotura. Este proceso permitió identificar posibles irregularidades relacionadas con el proceso de elaboración, compactación, curado o colocación de la muestra dentro de la prensa

**Tabla 2.10.-** Formato de registro del ensayo de compresión.

| <b>Código de probeta</b> | <b>Tamaño nominal</b> | <b>Dosificación</b> | <b>Edad</b> | <b>Carga máxima</b> | <b>Resistencia <math>\text{kgf/cm}^2</math></b> | <b>Tipo de falla</b> |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------------------------------------------|----------------------|
| _____                    | 3/8"                  | D1                  | 3 días      | _____               | _____                                           | _____                |
| _____                    | 3/8"                  | D1                  | 7 días      | _____               | _____                                           | _____                |
| _____                    | 3/8"                  | D1                  | 28 días     | _____               | _____                                           | _____                |
| _____                    | 1/2"                  | D1                  | 3 días      | _____               | _____                                           | _____                |
| _____                    | 1/2"                  | D1                  | 7 días      | _____               | _____                                           | _____                |
| _____                    | 1/2"                  | D1                  | 28 días     | _____               | _____                                           | _____                |

### **2.1.19 Método de cálculo de la resistencia**

La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la probeta entre el área de su sección transversal. Para ello, se considera el diámetro de la probeta y la carga máxima registrada por la prensa hidráulica para ensayos de compresión. El valor final se expresa en  $\text{kgf/cm}^2$ , con el fin de comparar los resultados de todos los grupos experimentales bajo una misma unidad.

La expresión general empleada es:

Resistencia a la compresión = carga máxima / área de la sección transversal

Donde la carga máxima corresponde al valor registrado por la prensa hidráulica para ensayos de compresión en el momento de la rotura, y el área corresponde a la sección circular de la probeta cilíndrica. Este cálculo permite obtener el valor de resistencia individual para cada espécimen y, posteriormente, calcular los promedios por grupo experimental.

### **2.1.20 Procesamiento y análisis de datos**

Los datos obtenidos se organizan en tablas comparativas según tamaño nominal del agregado, dosificación y edad de curado. Para cada combinación experimental se calcula el promedio de resistencia de las dos probetas correspondientes a la misma edad de ensayo. Este procedimiento permite reducir la influencia de variaciones individuales y obtener un valor representativo por grupo.

El análisis de datos se desarrolla mediante estadística descriptiva, considerando promedios, diferencias entre probetas y comparación porcentual entre grupos. (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018) indican que el procesamiento de datos cuantitativos debe responder a los objetivos de investigación y permitir la interpretación ordenada de las variables medidas. Durante el análisis de los resultados se aplicará la estadística descriptiva permitirá observar tendencias de comportamiento entre tamaños nominales, dosificaciones y edades de curado.

Para facilitar la interpretación de cada resultado se emplearán gráficos de barras, curvas de desarrollo de resistencia para observar la evolución de cada mezcla a los 3, 7 y 28 días.

A partir de este proceso será posible comparar el desempeño de cada probeta para así relacionarlo con la influencia del tamaño nominal del agregado y la dosificación utilizada.

#### **2.1.21 Control de calidad del procedimiento experimental**

Durante la etapa experimental se mantuvo un control constante en el pesaje de materiales se usó de los mismos equipos y se realizó la identificación de probetas, con el control de edades de curado y el registro de observaciones durante cada etapa. Estas acciones permitieron reducir todos los errores y facilitar la comparación de los resultados obtenidos. Para reducir errores se consideró utilizar el mismo tipo de cemento, el agua y los mismos agregados asimismo los mismos aditivos y procedimientos similares de mezclado, compactación y curado. Además, se verificó que cada probeta estuviera correctamente identificada antes de ingresar al proceso de curado y previo a su ensayo en la prensa hidráulica para determinar la resistencia a compresión.

El control de calidad también incluye el registro de posibles observaciones, como variaciones en la consistencia de la mezcla, segregación, dificultad de compactación, fisuras visibles, defectos de moldeo o fallas irregulares durante la rotura. Estas observaciones serán consideradas en el análisis de resultados para interpretar con mayor precisión el comportamiento de cada mezcla.

#### **2.1.22 Limitaciones metodológicas**

Como toda investigación experimental, el presente estudio puede estar sujeto a ciertas limitaciones. Entre ellas se encuentran la variación natural de los agregados, la humedad presente en los materiales, pequeñas diferencias durante el mezclado, compactación manual, condiciones de curado y precisión de los equipos de medición. Estas limitaciones se consideran durante el proceso experimental para evitar interpretaciones absolutas de los resultados.

Otra limitación corresponde al número de probetas por edad de ensayo. En la mayoría de las combinaciones se elaboraron dos probetas por cada tamaño

nominal, dosificación y edad; sin embargo, para el agregado de 3/4" proveniente de la cantera Travesía se contó con un solo valor por edad.

El mayor número de probetas permitió obtener un análisis más amplio y confirmar con mayor seguridad las tendencias observadas. Aun así, la cantidad utilizada permite realizar una comparación técnica adecuada para los objetivos de la investigación y para el alcance de un trabajo de titulación de pregrado.

El reconocimiento de estas limitaciones no reduce el valor de la investigación, sino que permite interpretar los resultados con responsabilidad técnica. De esta manera, las conclusiones deberán formularse considerando el alcance experimental definido y las condiciones específicas bajo las cuales se elaboraron y ensayaron las probetas.

### **3 CAPÍTULO III**

#### **3.1 PROPUESTA PARA EVALUAR LA INFLUENCIA DE LOS TAMAÑOS NOMINALES DE LOS AGREGADOS EN LA RESISTENCIA AL HORMIGÓN.**

##### **3.1.1 Denominación de la propuesta**

La propuesta de esta investigación consiste en establecer un procedimiento técnico de comparación para evaluar cómo influyen los tamaños nominales de los agregados gruesos en la resistencia del hormigón. Para ello, se consideran los agregados de 3/8", 1/2" y 3/4", dos dosificaciones de mezcla, el control de trabajabilidad, las curvas granulométricas, el proceso de curado y los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia a la compresión.

Esta propuesta se relaciona directamente con el tema central del trabajo de titulación: Determinación de la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia al hormigón. Por esta razón, el capítulo no busca únicamente presentar una tabla de resultados, sino ordenar los criterios que permitirán interpretar de forma técnica el comportamiento de cada tamaño de agregado dentro de la mezcla.

En este sentido, la propuesta sirve como una forma ordenada de revisar los resultados del ensayo. Con ella se busca comparar el comportamiento de los agregados utilizados y reconocer cuál de los tamaños nominales presentó mejor respuesta resistente bajo las condiciones reales de dosificación, elaboración y curado aplicadas en el laboratorio.

### **3.1.2 Fundamentación de la propuesta**

El hormigón es un material compuesto cuyo comportamiento depende de la calidad y proporción de sus materiales. Aunque el cemento y el agua cumplen una función fundamental en el desarrollo de resistencia, los agregados también tienen una participación importante, ya que ocupan gran parte del volumen de la mezcla y forman el esqueleto interno del material endurecido. En muchas obras, la elección del agregado grueso se realiza por disponibilidad en el mercado, experiencia del constructor o facilidad de adquisición.

Sin embargo, esta práctica no siempre permite conocer si el tamaño del agregado utilizado es el más conveniente para alcanzar una mejor resistencia. Por ello, resulta necesario analizar experimentalmente el comportamiento de diferentes tamaños nominales, especialmente cuando se busca obtener criterios técnicos aplicables al diseño de mezclas de hormigón.

El tamaño nominal del agregado puede modificar la forma en que las partículas se acomodan dentro de la mezcla, la cantidad de pasta necesaria para recubrir las, el contenido de vacíos, la trabajabilidad del hormigón fresco y la adherencia entre el agregado y la pasta cementante.

Estos aspectos pueden influir en la resistencia final de las probetas, por lo que no deben ser analizados de manera aislada.

En esta investigación se utilizaron agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", junto con cemento Holcim UTKA, agua potable, arena natural y aditivos. Además, se consideraron materiales provenientes de diferentes procedencias, lo cual permite reconocer que el comportamiento del hormigón no depende solamente del tamaño

del agregado, sino también de sus condiciones físicas, granulometría, limpieza, textura y posible grado de meteorización.

Por esta razón, la propuesta plantea una evaluación organizada, en la que la resistencia a la compresión se analiza junto con otros factores del proceso experimental. De esta manera, los resultados del Capítulo IV podrán interpretarse con mayor claridad y no solo como valores numéricos independientes.

### **3.1.3 Objetivo de la propuesta**

Establecer criterios técnicos de evaluación que permitan analizar la influencia de los tamaños nominales de los agregados gruesos en la resistencia del hormigón, mediante la comparación de mezclas elaboradas con agregados de 3/8", 1/2" y 3/4", dosificaciones controladas y ensayos de resistencia a la compresión a edades de 3, 7 y 28 días.

### **3.1.4 Alcance de la propuesta**

La propuesta se limita al análisis experimental desarrollado en la presente investigación. Se consideran las mezclas elaboradas con cemento Holcim UTKA, agua potable, arena natural, agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", aditivo plastificante Adiflow 2010 y aditivo retardante Adiretard 3010.

El análisis se enfoca en las probetas cilíndricas elaboradas en laboratorio y ensayadas a compresión a los 3, 7 y 28 días. La variable principal de estudio corresponde al tamaño nominal del agregado grueso; sin embargo, también se consideraron otros factores que pueden influir en los resultados, como la dosificación, la trabajabilidad, la granulometría, la procedencia del material, la compactación, el curado y el tipo de falla observado durante el ensayo.

Es importante señalar que esta propuesta no pretende generalizar los resultados para todos los tipos de hormigón ni para todas las fuentes de agregado. Su aplicación corresponde a las condiciones específicas de este trabajo experimental.

Por tanto, las conclusiones deberán interpretarse dentro del alcance definido por los materiales, dosificaciones y procedimientos utilizados.

### **3.1.5 Componentes considerados en la propuesta**

Para evaluar la influencia del tamaño nominal del agregado en la resistencia del hormigón, la propuesta se organiza en varios componentes que permiten analizar el proceso experimental de forma ordenada.

El primer componente corresponde a la identificación del tamaño nominal del agregado grueso. Para este caso, se consideraron tamaños de 3/8", 1/2" y 3/4", los cuales representan la variable principal de estudio en la investigación.

El segundo componente es la granulometría del agregado. Las curvas granulométricas permitieron observar cómo es la distribución de partículas las cuales permiten interpretar el comportamiento del material dentro de la mezcla. Una distribución adecuada puede favorecer el acomodo de las partículas y reducir vacíos internos.

El tercer componente corresponde a la dosificación de las mezclas. El registro de cantidades de cemento, agua, arena, agregado grueso y aditivos es necesario para relacionar cada resultado con las condiciones reales de elaboración. Cualquier variación en la dosificación puede modificar la trabajabilidad y la resistencia final del hormigón.

El cuarto componente es la trabajabilidad del hormigón fresco. Esta condición permite conocer la facilidad con la que la mezcla puede ser colocada y compactada dentro de los moldes. Una mezcla con baja trabajabilidad puede generar vacíos o dificultades durante el moldeo, mientras que una mezcla demasiado fluida puede presentar segregación.

El quinto componente corresponde al curado de las probetas. La conservación adecuada de las muestras permite el desarrollo progresivo de la resistencia. Por esta razón, se consideran las edades de ensayo de 3, 7 y 28 días.

El sexto componente es el ensayo de resistencia a la compresión, mediante el cual se obtiene el valor de resistencia de cada probeta. Este resultado constituye el dato principal para evaluar la influencia del tamaño nominal del agregado en el comportamiento del hormigón.

Finalmente, se considera el tipo de falla observado durante la rotura de las probetas, ya que este puede aportar información sobre posibles problemas de compactación, alineación, curado o adherencia entre el agregado y la pasta de cemento.

### 3.1.6 Criterios técnicos de evaluación

La propuesta se apoya en criterios técnicos que ayudan a comparar el comportamiento de los agregados gruesos utilizados en la investigación. Estos criterios ordenan el análisis y relacionan los resultados de resistencia con las condiciones de elaboración de cada mezcla.

**Tabla 3.1.-** Criterios técnicos para evaluar la influencia del tamaño nominal del agregado en la resistencia del hormigón.

| <b>Criterio técnico</b>     | <b>Descripción</b>                                                    | <b>Importancia dentro del estudio</b>                                        |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Tamaño nominal del agregado | Considera los agregados de 3/8", 1/2" y 3/4".                         | Permite comparar la variable principal de la investigación.                  |
| Granulometría               | Representa la distribución de partículas del agregado grueso.         | Ayuda a interpretar el acomodo interno del material en la mezcla.            |
| Dosificación                | Registra las cantidades de cemento, agua, arena, agregado y aditivos. | Permite relacionar la resistencia con las condiciones reales de elaboración. |
| Trabajabilidad              | Evalúa la consistencia del hormigón fresco.                           | Permite analizar la facilidad de moldeo y compactación.                      |
| Curado                      | Considera las edades de ensayo de 3, 7 y 28 días.                     | Permite observar el desarrollo de resistencia con el tiempo.                 |
| Resistencia a la compresión | Corresponde al valor obtenido en el ensayo de rotura.                 | Es la variable principal para evaluar el comportamiento del hormigón.        |
| Procedencia del agregado    | Identifica el origen del material utilizado.                          | Permite considerar posibles variaciones físicas entre materiales.            |

|               |                                              |                                                                       |
|---------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Tipo de falla | Describe la forma de rotura de las probetas. | Ayuda a interpretar posibles problemas durante el ensayo o el moldeo. |
|---------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

**Nota.** Los criterios planteados permiten analizar los resultados de manera integral, considerando tanto el tamaño nominal del agregado como las condiciones experimentales de cada mezcla.

### **3.1.7 Procedimiento de aplicación de la propuesta**

La aplicación de la propuesta se desarrolla mediante una secuencia ordenada, desde la selección del material hasta la interpretación de los resultados. Este procedimiento permite mantener coherencia entre el objetivo de la investigación, la metodología aplicada y el análisis final.

En primer lugar, se identificaron fueron los agregados gruesos según el tamaño nominal. Para esta investigación los tamaños nominales se mantendrán en 3/8", 1/2" y 3/4". Esta clasificación permitió organizar las mezclas y establecer comparaciones entre los diferentes grupos experimentales.

Se realizó la caracterización granulométrica de los agregados gruesos. Las curvas granulométricas obtenidas permiten reconocer la distribución de partículas y cuales sirven como base para interpretar posibles diferencias en el comportamiento del hormigón.

Se registraron todas las dosificaciones utilizadas en cada mezcla. Este registro incluye las cantidades de cemento, agua, arena natural, agregado grueso y aditivos. El control de la dosificación es fundamental, ya que permite conocer las condiciones bajo las cuales fue elaborada cada probeta y facilita la comparación de los resultados obtenidos.

Después, se prepara el hormigón fresco y se evalúa su trabajabilidad. Esta etapa permite observar si la mezcla presenta condiciones adecuadas para ser colocada en los moldes y compactada correctamente. Las observaciones realizadas durante

el mezclado y moldeo se consideran importantes para la interpretación de los resultados.

A continuación, se elaboran las probetas cilíndricas y se realiza el proceso de curado. Cada probeta debe estar identificada con su tamaño nominal, dosificación, edad de ensayo y número de cilindro, para evitar confusiones durante la rotura y el registro de resultados.

Una vez alcanzadas las edades de 3, 7 y 28 días, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión. En esta etapa se obtiene la carga máxima soportada por cada probeta y se calcula la resistencia correspondiente en  $\text{kgf/cm}^2$ .

Finalmente, se organizan los resultados, se calculan los promedios y se comparan los valores obtenidos para cada tamaño nominal de agregado.

Esta comparación permite determinar cuál de los agregados presentó mejor desempeño resistente bajo las condiciones del estudio.

### **3.1.8 Matriz de comparación propuesta**

La matriz de comparación permite ordenar los resultados que serán analizados en el Capítulo IV. Su finalidad es relacionar el tamaño nominal del agregado con la trabajabilidad, granulometría y resistencia a la compresión.

**Tabla 3.2.-** Matriz propuesta para comparar los tamaños nominales de los agregados.

| <b>Tamaño nominal</b> | <b>Dosificación</b> | <b>Criterios de análisis</b>                                 | <b>Interpretación en resultados</b>                       |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 3/8"                  | D1 / D2             | Granulometría, trabajabilidad, resistencia a 3, 7 y 28 días. | Se analiza en el Capítulo IV según los valores obtenidos. |
| 1/2"                  | D1 / D2             | Granulometría, trabajabilidad, resistencia a 3, 7 y 28 días. | Se analiza en el Capítulo IV según los valores obtenidos. |
| 3/4"                  | D1 / D2             | Granulometría, trabajabilidad,                               | Se analiza en el Capítulo IV según los valores obtenidos. |

|  |  |                               |  |
|--|--|-------------------------------|--|
|  |  | resistencia a 3, 7 y 28 días. |  |
|--|--|-------------------------------|--|

### **3.1.9 Requisitos para aplicar la propuesta**

Para aplicar correctamente la propuesta es necesario contar con registros completos de los materiales utilizados, las dosificaciones empleadas, las fechas de elaboración, las fechas de rotura, las edades de ensayo y los valores de resistencia obtenidos en laboratorio.

También es importante que las probetas hayan sido elaboradas bajo condiciones similares de mezclado, moldeo, compactación y curado. Esto permitió que la comparación entre los tamaños nominales sea más confiable.

Cuando existan variaciones en el procedimiento, estas deben registrarse y considerarse durante el análisis. Otro requisito importante es interpretar los resultados de manera integral. La resistencia a la compresión no debe analizarse únicamente como un número final, sino como el resultado de varios factores que actúan en conjunto.

Por ello, la propuesta considera la granulometría, la trabajabilidad, la dosificación, el curado y el tipo de falla como elementos complementarios al valor de resistencia.

### **3.1.10 Aporte de la propuesta**

El principal aporte de esta propuesta es que permite evaluar de manera ordenada la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia del hormigón. En lugar de limitarse a comparar valores aislados de resistencia, la propuesta relaciona esos resultados con las condiciones reales bajo las cuales fueron elaboradas las probetas.

Desde el punto de vista académico este planteamiento y procedimiento aportó el estudio de los materiales de construcción y al control de calidad del hormigón, ya que permite comprender cómo una variable aparentemente simple como los es el tamaño del agregado puede generar diferencias en el comportamiento resistente. Desde el punto de vista práctico, la propuesta puede servir como referencia para

seleccionar agregados gruesos con mayor criterio técnico. Esto resulta útil porque en obra muchas veces se escoge el agregado por disponibilidad, sin evaluar previamente su influencia en el desempeño del hormigón. Además, la propuesta permite dar coherencia al análisis que se desarrollará en el Capítulo IV. Los resultados no se presentarán solamente como tablas, sino que serán interpretados considerando los criterios definidos en este capítulo.

#### **3.1.11 Consideraciones finales del capítulo**

En este capítulo se planteó la propuesta técnica para evaluar la influencia de los tamaños nominales de los agregados para la resistencia del hormigón.

La propuesta se basó en la comparación de los agregados considerados en el estudio, correspondientes a los tamaños nominales de 3/8", 1/2" y 3/4", considerando la granulometría, dosificación, trabajabilidad, curado, resistencia a la compresión y las observaciones del proceso experimental.

La aplicación de estos criterios permitirá analizar los resultados del Capítulo IV de manera más ordenada y técnica. De esta forma, será posible identificar qué tamaño nominal presentó mejor comportamiento y cual no lo hizo para determinar si fue o no resistente bajo las condiciones del estudio y establecer recomendaciones relacionadas con la selección de agregados gruesos para mezclas de hormigón.

## **4 CAPÍTULO IV**

### **4.1 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA Y ANÁLISIS DE CÓMO LOS TAMAÑOS 3/8", 1/2" Y 3/4" INFLUYERON EN LA RESISTENCIA OBTENIDA EN LAS PROBETAS.**

#### **4.1.1 Consideraciones generales del capítulo**

En este capítulo se presentan los análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas de hormigón elaboradas con agregados gruesos de diferentes tamaños nominales.

El análisis se desarrolla en función del tema principal de la investigación: determinación de la influencia de los tamaños nominales de los agregados en la resistencia al hormigón.

Para la evaluación se consideraron los tamaños nominales de 3/8", 1/2" y 3/4", dosificaciones controladas, edades de curado de 3, 7 y 28 días, y resistencias expresadas en kgf/cm<sup>2</sup>. Además, se tomó en cuenta la procedencia del material, debido a que los agregados empleados provinieron de las canteras Uruzca y Travesía, condición que puede generar variaciones en la resistencia debido a diferencias en granulometría, textura, limpieza, dureza y estado físico del agregado.

Los resultados se organizan en tablas comparativas, donde se presentan las resistencias individuales de cada cilindro y el promedio correspondiente por edad de ensayo. Esta forma de presentación permite observar el desarrollo de resistencia en el tiempo y comparar el comportamiento de los agregados según su tamaño nominal.

#### **4.1.2 Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas con agregado de la cantera Uruzca**

**Tabla 4.1.-** Resultados de la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregado de Uruzca.

| <b>Tamaño nominal</b> | <b>Edad de ensayo</b> | <b>Resistencia 1 (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Resistencia 2 (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| 3/4"                  | 3 días                | 268,80                                    | 302,25                                    | 285,53                               |
| 3/4"                  | 7 días                | 321,97                                    | 312,19                                    | 317,08                               |
| 3/4"                  | 28 días               | 376,21                                    | 373,89                                    | 375,05                               |
| 1/2"                  | 3 días                | 165,35                                    | 172,65                                    | 169,00                               |
| 1/2"                  | 7 días                | 232,79                                    | 241,42                                    | 237,11                               |
| 1/2"                  | 28 días               | 329,38                                    | 276,84                                    | 303,11                               |
| 3/8"                  | 3 días                | 216,65                                    | 223,28                                    | 219,97                               |
| 3/8"                  | 7 días                | 239,06                                    | 206,68                                    | 222,87                               |
| 3/8"                  | 28 días               | 278,40                                    | 246,02                                    | 262,21                               |

**Nota.** Los valores corresponden a las resistencias individuales y promedios obtenidos en las probetas elaboradas con material proveniente de Uruzca.

En los resultados obtenidos con el agregado de la cantera Uruzca se observa que el tamaño nominal de 3/4" presentó las mayores resistencias promedio en las tres edades de ensayo. A los 3 días alcanzó 285,53 kgf/cm<sup>2</sup>, a los 7 días obtuvo 317,08 kgf/cm<sup>2</sup> y a los 28 días registró 375,05 kgf/cm<sup>2</sup>.

Este comportamiento muestra una evolución favorable de resistencia desde edades tempranas hasta la edad de referencia de 28 días.

El agregado de 1/2" presentó una resistencia promedio de 169,00 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 237,11 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 303,11 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Aunque su resistencia inicial fue menor que la obtenida con los agregados de 3/8" y 3/4", a los 28 días logró superar al agregado de 3/8", lo que evidencia un desarrollo progresivo de resistencia con el curado.

Por su parte, el agregado de 3/8" obtuvo una resistencia promedio de 219,97 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 222,87 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 262,21 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Este agregado presentó una resistencia inicial mayor que el de 1/2", pero su incremento posterior fue más limitado. Esto puede relacionarse con la mayor superficie específica del agregado pequeño, lo que puede aumentar la demanda de pasta cementante y afectar el comportamiento final si la mezcla no alcanza una compactación adecuada. En el material proveniente de Uruzca, el agregado de 3/4" fue el que alcanzó la mejor respuesta resistente, seguido por el de 1/2" y luego por el de 3/8".

#### **4.1.4 Resultados de la resistencia a la compresión de las probetas con agregado de la cantera Travesía**

**Tabla 4.2.-** Resultados de la resistencia a la compresión de probetas elaboradas con agregado de la cantera Travesía.

| <b>Tamaño nominal</b> | <b>Edad de ensayo</b> | <b>Resistencia 1 (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Resistencia 2 (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b> |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------|
| 3/4"                  | 3 días                | 341,29                                    | —                                         | 341,29                               |
| 3/4"                  | 7 días                | 401,17                                    | —                                         | 401,17                               |
| 3/4"                  | 28 días               | 518,46                                    | —                                         | 518,46                               |

|      |         |        |        |        |
|------|---------|--------|--------|--------|
| 1/2" | 3 días  | 122,08 | 127,88 | 124,98 |
| 1/2" | 7 días  | 143,47 | 145,21 | 144,34 |
| 1/2" | 28 días | 152,51 | 159,06 | 155,79 |
| 3/8" | 3 días  | 99,62  | 99,30  | 99,46  |
| 3/8" | 7 días  | 128,99 | 134,70 | 131,85 |
| 3/8" | 28 días | 164,40 | 165,16 | 164,78 |

Los resultados correspondientes al agregado de la cantera Travesía muestran un comportamiento diferente entre los tamaños nominales evaluados. El agregado de 3/4" presentó las mayores resistencias en todas las edades, con 341,29 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 401,17 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 518,46 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Estos valores fueron superiores a los obtenidos por los agregados de 1/2" y 3/8".

El agregado de 1/2" alcanzó resistencias promedio de 124,98 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 144,34 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 155,79 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Aunque se observa un incremento progresivo con la edad, sus valores finales fueron bajos en comparación con el agregado de 3/4".

El agregado de 3/8" presentó una resistencia promedio de 99,46 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 131,85 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 164,78 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días. En este caso, a los 28 días superó ligeramente al agregado de 1/2", aunque ambos quedaron por debajo del comportamiento alcanzado por el agregado de 3/4". Es importante indicar que el resultado del agregado de 3/4" de la cantera Travesía debe interpretarse con cuidado, debido a que se dispone de un solo valor por edad. Aun así, dentro del registro experimental disponible, este tamaño nominal presentó el mayor desempeño resistente.

#### 4.1.5 Comparación de la resistencia promedio a los 28 días

**Tabla 4.3.-** Comparación de resistencia promedio a los 28 días.

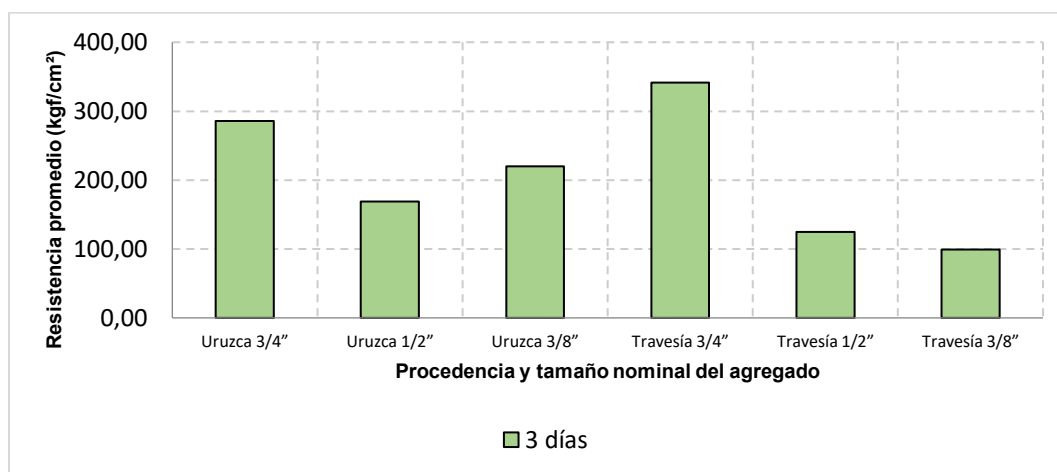
| Procedencia    | Tamaño nominal | Resistencia promedio a 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Porcentaje respecto a f'c = 240 kgf/cm <sup>2</sup> |
|----------------|----------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Cantera Uruzca | 3/4"           | 375,05                                                | 156,27 %                                            |
| Cantera Uruzca | 1/2"           | 303,11                                                | 126,30 %                                            |

|                  |      |        |          |
|------------------|------|--------|----------|
| Cantera Uruzca   | 3/8" | 262,21 | 109,25 % |
| Cantera Travesía | 3/4" | 518,46 | 216,03 % |
| Cantera Travesía | 1/2" | 155,79 | 64,91 %  |
| Cantera Travesía | 3/8" | 164,78 | 68,66 %  |

La comparación a los 28 días permite observar el comportamiento final de cada grupo experimental. En el caso de la cantera Uruzca, los tres tamaños nominales superaron la resistencia de referencia de 240 kgf/cm<sup>2</sup>. El agregado de 3/4" alcanzó el mayor valor, con 375,05 kgf/cm<sup>2</sup>, seguido por el agregado de 1/2", con 303,11 kgf/cm<sup>2</sup>, y el agregado de 3/8", con 262,21 kgf/cm<sup>2</sup>.

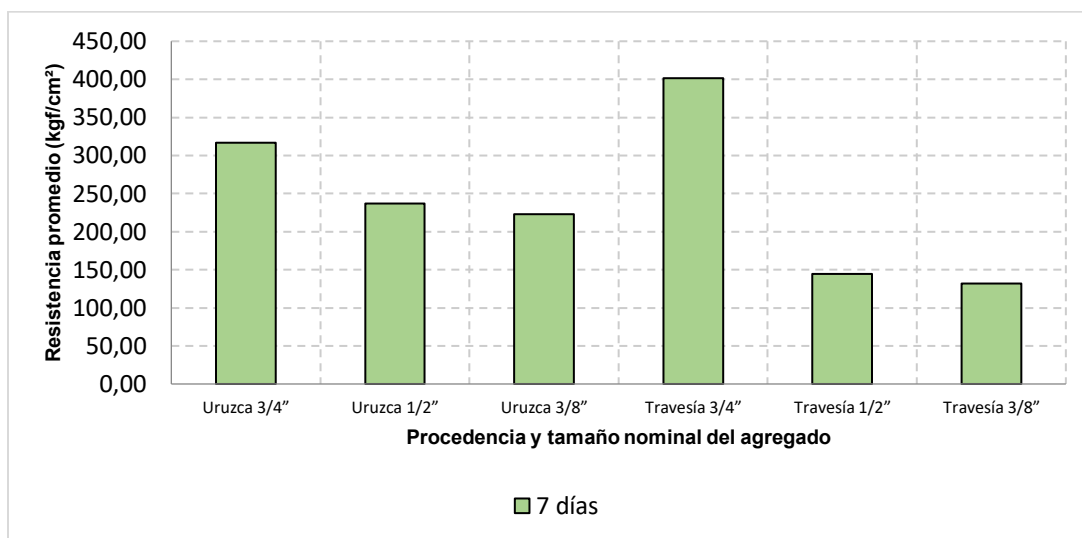
En el caso de la cantera Travesía, el agregado de 3/4" presentó una resistencia de 518,46 kgf/cm<sup>2</sup>, valor que supera ampliamente la resistencia de referencia. Sin embargo, los agregados de 1/2" y 3/8" no alcanzaron los 240 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, registrando 155,79 kgf/cm<sup>2</sup> y 164,78 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Con estos resultados se observa que el tamaño nominal del agregado grueso sí tuvo participación en el comportamiento resistente del hormigón.

En ambas procedencias, el agregado de 3/4" presentó el mejor comportamiento resistente. No obstante, también se observa que la procedencia del material pudo influir en los resultados, especialmente en los agregados de 1/2" y 3/8", donde las diferencias entre las canteras Uruzca y Travesía fueron significativas.



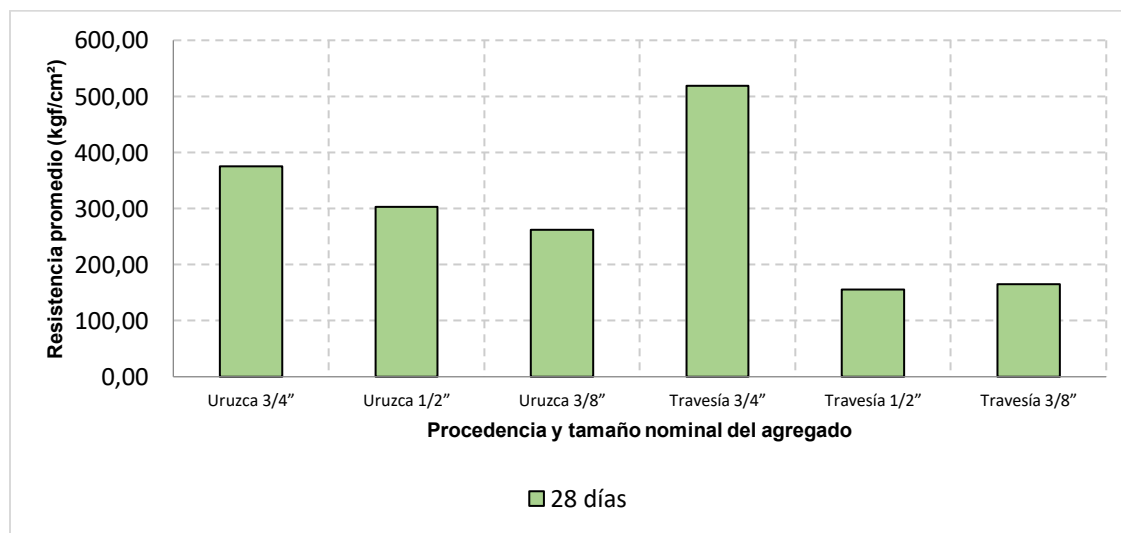
**Figura 4.1.-** Comparación de resistencia promedio a los 3 días según tamaño nominal y procedencia.

**Nota.** Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión.



**Figura 4.2.-** Comparación de resistencia promedio a los 7 días según tamaño nominal y procedencia.

**Nota.** Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de resistencia a la compresión.



**Figura 4.3.-** Comparación de resistencia promedio a los 28 días según tamaño nominal y procedencia.

**Nota.** Elaboración propia con base en los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión.

#### **4.1.6 Análisis comparativo por tamaño nominal**

Al comparar los resultados por tamaño nominal, se observa que el agregado de 3/4" fue el que presentó mayor resistencia en ambas procedencias. En la cantera Uruzca alcanzó 375,05 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, mientras que en la cantera Travesía registró 518,46 kgf/cm<sup>2</sup>. Esto indicó que, bajo las condiciones experimentales evaluadas realizadas, el agregado de mayor tamaño nominal que fue el 3/4 presentó una respuesta resistente más favorable.

El agregado de 1/2" tuvo un comportamiento más favorable en la cantera Uruzca que en la cantera Travesía. En la cantera Uruzca alcanzó 303,11 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, superando la resistencia de referencia. En cambio, en la cantera Travesía obtuvo 155,79 kgf/cm<sup>2</sup>, valor considerablemente menor.

Esta diferencia permitió comprender que la resistencia del hormigón no depende únicamente del tamaño nominal del agregado, sino también de las características físicas del material, como su limpieza, forma, textura, absorción y grado de meteorización, además de las condiciones presentes durante la preparación de la mezcla.

El agregado de 3/8" también presentó diferencias entre procedencias. En la cantera Uruzca alcanzó 262,21 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que en la cantera Travesía obtuvo 164,78 kgf/cm<sup>2</sup>.

Aunque el tamaño de 3/8" puede favorecer mezclas más homogéneas, también puede requerir mayor cantidad de pasta debido a su mayor superficie específica. Si esta condición no se controla correctamente, puede afectar la resistencia final.

En conjunto, los resultados muestran que el tamaño nominal sí influyó en la resistencia del hormigón, pero su efecto no puede analizarse de forma aislada. La procedencia del agregado y las condiciones de dosificación también tuvieron una participación importante en el comportamiento de las probetas.

#### **4.1.7 Relación entre trabajabilidad y resistencia**

La trabajabilidad registrada en las mezclas permitió observar diferencias en la consistencia del hormigón fresco.

En la mayoría de los casos, el asentamiento obtenido fue de 21 cm, lo que indica una mezcla manejable para el moldeo de las probetas.

Sin embargo, el agregado de 3/4" proveniente de la cantera Travesía presentó un asentamiento de 15 cm, menor al de las demás mezclas.

A pesar de presentar menor asentamiento, el agregado de 3/4" de la cantera Travesía obtuvo el mayor valor de resistencia a los 28 días. Esto demostró que una menor trabajabilidad no siempre implica menor resistencia, siempre y cuando que la mezcla pueda compactarse adecuadamente. Sin embargo, también se debe considerar que una mezcla menos trabajable puede aumentar el riesgo de vacíos internos si el proceso de compactación no se realiza con cuidado.

En los agregados de 3/8" y 1/2", especialmente en la cantera Travesía, las resistencias fueron menores. Esto puede relacionarse con varios factores, como la dosificación, el contenido efectivo de agua, la compactación, la condición superficial del agregado y la posible presencia de finos o partículas débiles esta condición se observó durante la elaboración de las probetas. Por esta razón, la trabajabilidad debe analizarse como un complemento del resultado de resistencia y no como un dato independiente.

Cabe mencionar que, durante la elaboración de las mezclas correspondientes a los agregados de 1/2" y 3/8" de la cantera Travesía, se incorporó material identificado como ripio y chispa, respectivamente. Esta condición pudo influir en la variación de los resultados obtenidos, debido a que la mezcla de materiales de distinta procedencia puede modificar la granulometría, la textura superficial, la compactación y la adherencia entre el agregado y la pasta cementante. Por esta razón, las bajas resistencias registradas en estos grupos deben interpretarse considerando esta particularidad del proceso experimental.

#### **4.1.8 Relación entre granulometría, procedencia y resistencia**

Las curvas granulométricas presentadas en el Capítulo II permitieron observar la distribución de partículas de los agregados gruesos utilizados.

Esta información resulta importante porque la granulometría influye en el acomodo interno de los materiales, en la cantidad de vacíos y en la demanda de pasta dentro de la mezcla.

Los resultados de resistencia muestran que el agregado de 3/4" tuvo mejor comportamiento en ambas procedencias.

Esto se debe a que un agregado de mayor tamaño nominal puede reducir la superficie específica de la probeta o relación de vacíos, por tanto, al momento de disminuir la cantidad de cemento en comparación con agregados de menor tamaño. No obstante, para que este comportamiento sea favorable, la mezcla debe compactarse correctamente y el agregado debe presentar buenas condiciones físicas que sean favorables.

En el caso de los agregados de 3/8" y 1/2", los resultados fueron más variables. Ya que este cambio puede estar relacionado con diferencias en la distribución granulométrica esto se puede deber a la textura superficial o su limpieza del material como también un grado de meteorización. Además, al tratarse de materiales provenientes de distintas canteras, es posible que existan diferencias en la calidad del agregado que hayan influido en el comportamiento final del hormigón.

Por ello, la procedencia del agregado debe considerarse como un factor complementario en el análisis.

Aunque el objetivo principal de la investigación es evaluar la influencia del tamaño nominal, los resultados muestran que el origen y las condiciones físicas del material también pueden modificar la resistencia obtenida.

#### **4.1.9 Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos guardan relación con los fundamentos teóricos revisados en el Capítulo I. Neville (2011) señala que el tamaño del agregado puede influir en la resistencia del hormigón cuando modifica la compactación, la adherencia entre agregado y pasta, o el contenido de vacíos. En esta investigación, los ensayos realizados permitieron identificar diferencias de resistencia entre los tamaños nominales de 3/8", 1/2" y 3/4", generando evidencia sobre la influencia del agregado

grueso en el comportamiento mecánico del hormigón. Los resultados obtenidos permitieron establecer que el tamaño nominal de 3/4" presentó el mejor desempeño resistente bajo las condiciones evaluadas.

Mehta y Monteiro (2014) explico que el hormigón debe analizarse como un material compuesto, donde la resistencia depende de la interacción entre la pasta cementante, los agregados y la zona de transición interfacial.

Esta idea se relaciona con los resultados obtenidos, ya que las diferencias entre agregados no se explican únicamente por su tamaño, sino también por su capacidad de integrarse con la pasta de cemento y formar una estructura interna resistente.

De igual manera, Kosmatka y Wilson (2016) indican que una mezcla de hormigón debe mantener equilibrio entre trabajabilidad, resistencia y durabilidad. En el presente estudio se observó que las mezclas con igual o similar asentamiento no siempre alcanzaron resistencias parecidas, lo que confirma que la trabajabilidad es importante, pero no es el único factor que determina el desempeño del hormigón.

Los resultados respaldan la hipótesis planteada en la investigación, debido a que muestran variaciones de resistencia asociadas al tamaño nominal del agregado grueso. Sin embargo, esta influencia estuvo acompañada de otros factores, como la procedencia del material, la granulometría, la dosificación y las condiciones de compactación y curado.

#### **4.1.10 Evaluación de la propuesta aplicada**

La propuesta planteada en el Capítulo III permitió organizar el análisis de los resultados mediante criterios técnicos relacionados con el tamaño nominal del agregado, granulometría, dosificación, trabajabilidad, curado y resistencia a la compresión. Su aplicación permitió comparar de manera más clara el comportamiento de los agregados de 3/8", 1/2" y 3/4".

A partir de las evaluaciones realizadas, se determinó que el agregado de 3/4" presentó el mejor desempeño resistente en las condiciones experimentales estudiadas. Este resultado se observó tanto en la cantera Uruzca como en la

cantera Travesía, aunque en el caso de la cantera Travesía debe considerarse la limitación de contar con un solo valor por edad para este tamaño nominal.

La propuesta también permitirá identificar que la resistencia del hormigón no depende únicamente del tamaño nominal del agregado.

Las diferencias observadas entre las canteras Uruzca y Travesía muestran que la procedencia del material y sus condiciones físicas pueden influir notablemente en el resultado final.

Por ello, la selección del agregado grueso debe realizarse con base en criterios técnicos o de un especialista en Hormigón y no solamente por disponibilidad comercial.

#### **4.1.11 Síntesis del capítulo**

En este capítulo se analizaron los resultados de resistencia a la compresión de las probetas elaboradas con agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4". Los datos permitieron comprobar que el tamaño nominal del agregado influyó en la resistencia del hormigón, siendo el agregado de 3/4" el que presentó el mejor comportamiento resistente bajo las condiciones evaluadas.

En el material proveniente de Uruzca, el orden de resistencia a los 28 días fue: 3/4", seguido de 1/2" y finalmente 3/8". En el caso de la cantera Travesía, el agregado de 3/4" también presentó el mayor valor de resistencia, mientras que los agregados de 3/8" y 1/2" mostraron resistencias más bajas.

Cabe mencionar que, durante la elaboración de las mezclas correspondientes a los agregados de 1/2" y 3/8" de la cantera Travesía, se incorporó material identificado como ripio y chispa, respectivamente. Esta condición pudo influir en la variación de los resultados obtenidos, debido a que la mezcla de materiales de distinta procedencia puede modificar la granulometría, la textura superficial, la compactación y la adherencia entre el agregado y la pasta cementante.

De manera general, los resultados evidencian que el tamaño nominal del agregado grueso influye en el comportamiento resistente del hormigón. Sin embargo, esta

influencia debe analizarse junto con la procedencia del material, la granulometría, la dosificación, la trabajabilidad, la compactación y el curado. Estos aspectos serán considerados en las conclusiones y recomendaciones finales de la investigación.

## CONCLUSIONES

- La revisión teórica permitió comprender que el tamaño nominal del agregado grueso influye en la resistencia del hormigón, porque puede cambiar la forma en que se acomodan los materiales dentro de la mezcla, la cantidad de cemento que se necesita para cubrirlos, la trabajabilidad, la compactación y los vacíos que pueden quedar en las probetas. Por esta razón, el agregado no debe escogerse solo porque esté disponible, sino tomando en cuenta sus características y el efecto que puede tener en la resistencia.
- El proceso experimental permitió evaluar mezclas elaboradas con agregados gruesos de 3/8", 1/2" y 3/4", considerando dosificaciones proporcionadas por un especialista y edades de curado de 3, 7 y 28 días. La elaboración, curado y rotura de las probetas cilíndricas permitió obtener datos suficientes para comparar el comportamiento del hormigón en cada caso.
- En las probetas elaboradas con material proveniente de Uruzca, el agregado de 3/4" presentó la mayor resistencia promedio a los 28 días, con 375,05 kgf/cm<sup>2</sup>. Después se ubicó el agregado de 1/2", con 303,11 kgf/cm<sup>2</sup>, y finalmente el agregado de 3/8", con 262,21 kgf/cm<sup>2</sup>. Estos resultados muestran que, para este material, el agregado de mayor tamaño tuvo mejor respuesta resistente.
- En el material proveniente de la cantera Travesía, el agregado de 3/4" también obtuvo el mayor valor de resistencia a los 28 días, con 518,46 kgf/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, este resultado debe tomarse con cuidado, porque para este tamaño solo se contó con un valor por edad de ensayo. En cambio, los agregados de 1/2" y 3/8" presentaron resistencias menores, con 155,79 kgf/cm<sup>2</sup> y 164,78 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, por lo que no alcanzaron la resistencia de referencia de 240 kgf/cm<sup>2</sup>.

- La comparación de los resultados permitió establecer que el agregado de 3/4" presentó el mejor comportamiento resistente bajo las condiciones evaluadas. Sin embargo, también se determinó que la resistencia del hormigón no depende únicamente del tamaño del agregado, sino también de factores como la procedencia del material, la granulometría, la trabajabilidad, la dosificación, la compactación y el curado.
- La propuesta técnica planteada ayudó a organizar el análisis de los resultados y a relacionar la resistencia obtenida con las características de cada agregado. Con base en los datos obtenidos, se puede indicar que los agregados de la cantera Uruzca presentaron un comportamiento más favorable en los tres tamaños evaluados, mientras que en la cantera Travesía el mejor resultado correspondió al agregado de 3/4". Por ello, la selección del agregado grueso debe realizarse mediante una revisión previa del material y no solo por disponibilidad.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda revisar las características del agregado grueso antes de utilizarlo en una mezcla de hormigón. No solo se debe considerar el tamaño nominal ni el estado comercial, sino también su limpieza, textura, procedencia y estado físico, ya que estos aspectos pueden influir en la trabajabilidad y en la resistencia final.
- Para mezclas elaboradas bajo condiciones similares a las de esta investigación, se recomienda considerar el uso del agregado grueso de 3/4", debido a que fue el que presentó mejor comportamiento resistente a los 28 días. Sin embargo, este resultado debe acompañarse siempre de una buena dosificación, mezclado adecuado, compactación uniforme y curado correcto.
- Se recomienda tener mayor control sobre la procedencia del material utilizado, especialmente cuando se combinan agregados de distintos lugares. Esto es importante porque las diferencias en granulometría, forma, limpieza o dureza pueden cambiar el comportamiento del hormigón y afectar los resultados de resistencia.

- En el caso de los agregados provenientes de la cantera Travesía, se recomienda realizar pruebas previas antes de utilizarlos directamente en obra, sobre todo en los tamaños de 1/2" y 3/8", ya que en esta investigación no alcanzaron la resistencia de referencia de 240 kgf/cm<sup>2</sup>. Para el agregado de 3/4" de la cantera Travesía, se recomienda aumentar el número de probetas en futuros ensayos para confirmar mejor su comportamiento.
- Se recomienda realizar ensayos complementarios a los agregados, como la cantidad de humedad, absorción, peso específico, contenido de finos y presencia de materiales deletéreos. Estos ensayos ayudarían a explicar con mayor claridad por qué algunos materiales presentaron mejores resultados que otros.
- En futuras investigaciones se recomienda elaborar un mayor número de probetas por cada tamaño nominal, dosificación y edad de ensayo. Esto permitiría obtener resultados más confiables y reducir la influencia de valores aislados, especialmente cuando solo se cuenta con una probeta por edad.
- Se recomienda controlar cuidadosamente las elaboraciones de las probetas darle un seguimiento adecuado para los días a realizar roturas y en las siguientes investigaciones, se debe incluir la caracterización del agregado fino debido al el comportamiento y su influencia en la resistencia del hormigón.
- Los resultados de esta investigación pueden servir como referencia académica para mezclas similares. Sin embargo, antes de aplicarlos directamente en obra, se recomienda realizar mezclas de prueba con los materiales disponibles en el sitio, porque cada agregado puede presentar características diferentes.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Abrams, D. A. (1918). *Design of concrete mixtures*. Obtenido de Internet Archive: <https://archive.org/details/designofconcrete00abrarich>

- ACI Committee 211. (2009). *ACI 211.1-91: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. American Concrete Institute. Obtenido de <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=211191>
- ASTM C136/C136M. (2019). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. ASTM International. Obtenido de [https://www.astm.org/c0136\\_c0136m-19.html](https://www.astm.org/c0136_c0136m-19.html)
- ASTM C143/C143M. (2026). *Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*. ASTM International. Obtenido de <https://www.thenbs.com/publicationindex/documents/details?DocId=353090&Pub=ASTM>
- ASTM C192/C192M. (2026). *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*. ASTM International. Obtenido de [https://store.astm.org/c0192\\_c0192m-26.html](https://store.astm.org/c0192_c0192m-26.html)
- ASTM C33/C33M. (2024 ). *Standard specification for concrete aggregates*. ASTM International. Obtenido de [https://store.astm.org/c0033\\_c0033m-24a.html](https://store.astm.org/c0033_c0033m-24a.html)
- ASTM C39/C39M-24. (s.f.). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International. Obtenido de [https://store.astm.org/c0039\\_c0039m-24.html](https://store.astm.org/c0039_c0039m-24.html)
- ASTM International. (2019). *ASTM C494/C494M-19: Standard specification for chemical admixtures for concrete*. ASTM International. Obtenido de [https://www.astm.org/c0494\\_c0494m-19.html](https://www.astm.org/c0494_c0494m-19.html)
- ASTM International. (2019a). *ASTM C136/C136M-19: Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. ASTM International. Obtenido de [https://www.astm.org/c0136\\_c0136m-19.html](https://www.astm.org/c0136_c0136m-19.html)

ASTM International. (2024a). *ASTM C33/C33M-24a: Standard specification for concrete aggregates*. ASTM International. Obtenido de [https://store.astm.org/c0033\\_c0033m-24a.html](https://store.astm.org/c0033_c0033m-24a.html)

ASTM International. (2026a). *ASTM C143/C143M-26a: Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*. ASTM International. Obtenido de <https://www.thenbs.com/publicationindex/documents/details?DocId=353090&Pub=ASTM>

ASTM International. (2026b). *ASTM C192/C192M-26: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*. ASTM International. Obtenido de [https://store.astm.org/c0192\\_c0192m-26.html](https://store.astm.org/c0192_c0192m-26.html)

Bažant, Z. P., & Planas, J. (1998). *Fracture and Size Effect in concrete and Other Quasibrittle Materials*. CRC Press. Obtenido de <https://www.routledge.com/Fracture-and-Size-Effect-in-Concrete-and-Other-Quasibrittle-Materials/Bazant-Planas/p/book/9780849382840>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. Obtenido de <https://biblioteca.ucuenca.edu.ec/digital/s/biblioteca-digital/ark%3A/25654/2140>

Hidalgo Silverio, O. R. (2018). *Diseño de hormigones de alta resistencia utilizando agregados de la cantera Vega Rivera y cemento Holcim Fuerte tipo GU*. Universidad Técnica de Machala. Repositorio Digital de la Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/items/9f6bc215-c494-4f2e-a5e6-453e8f3311c1>

Holcim Ecuador S. A. ((s. f.)). *Ficha técnica: Cemento Holcim UTKA*. Holcim Ecuador S. A. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/docs/ficha-tecnica-cemento-holcim-utka.pdf>

Kosmatka y Wilson. (17 de 7 de 2016). *Design & Control of Concrete Mixtures* (16th ed.). Portland Cement Association. Obtenido de

<https://www.cement.org/intelligence-resources/store/design-control-of-concrete-mixtures/>

Martínez. (1975). Observaciones generales sobre los hormigones de cemento Portland y una base para su diseño. *Materiales de Construcción*. 25(179), 131–141. Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1271/1401>

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). Obtenido de <https://www.mheducation.com/highered/mhp/product/concrete-microstructure-properties-materials.html>

Mindess, Young y Darwin. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Prentice Hall. Obtenido de <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/concrete/P200000003375>

Neville, A. M. (2011). (Pearson, Ed.) Obtenido de <https://books.google.com/books?id=mmygngEACAAJ>

Rodríguez, A. (1971). Hormigones de cemento portland con agregados normales. Relación entre el tamaño máximo del esqueleto granular y el agua de amasado para distintas consistencias y relaciones agua/cemento. *Materiales de Construcción*, 21(161), 245–256. Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1503>

## ANEXOS

### Anexo 1. Registro fotográfico de los materiales utilizados



**Nota.** Cemento Holcim UTKA utilizado como material aglomerante en la elaboración de las mezclas de hormigón.



**Nota.** Arena natural empleada como agregado fino en las dosificaciones desarrolladas.



**Nota.** Agregado grueso de 3/8", conocido como chispa, utilizado en la elaboración de probetas cilíndricas.



**Nota.** Agregado grueso de 1/2", identificado como ripio, empleado dentro del programa experimental.



**Nota.** Agregado grueso de 3/4" utilizado para evaluar su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón.

Adiretard 3010 (Retardante)



Adiflow 2010 (Plastificante)



**Nota.** Aditivos utilizados para mejorar la trabajabilidad y controlar el tiempo de manejabilidad de las mezclas.

#### **Anexo 2. Registro del proceso de dosificación de materiales**



**Nota.** Pesaje del cemento según las cantidades establecidas para cada dosificación.



**Nota.** Registro del pesaje de arena natural utilizada como agregado fino.

Tamaño 3/4"



Tamaño 1/2"



Tamaño 3/8"



**Nota.** Control del peso del agregado grueso según el tamaño nominal correspondiente.



**Nota.** Medición del agua de mezclado utilizada en la elaboración del hormigón.



**Nota.** Control de la cantidad de aditivo plastificante y retardante incorporado en las mezclas.

### Anexo 3. Elaboración de las mezclas de hormigón



**Nota.** Materiales preparados antes de iniciar el proceso de mezclado.



**Nota.** Mezclado de los componentes del hormigón de acuerdo con las dosificaciones establecidas.



**Nota.** Hormigón fresco obtenido luego de la incorporación de cemento, agua, arena, agregado grueso y aditivos.

#### **Anexo 6. Ensayo de trabajabilidad mediante cono de Abrams**



**Nota.** Colocación y compactación del hormigón fresco dentro del cono de Abrams para el ensayo de asentamiento.



**Nota.** Retiro vertical del cono de Abrams



**Nota.** Medición del asentamiento del hormigón fresco.

## Anexo 7. Moldeo, compactación e identificación de probetas



**Nota.** Colocación del hormigón fresco dentro de los moldes cilíndricos.



**Nota.** Compactación de la mezcla para reducir vacíos dentro de las probetas.



**Nota.** Probetas cilíndricas elaboradas para los ensayos de resistencia a la compresión.

#### Anexo 8. Desmolde, pesaje e identificación de las probetas

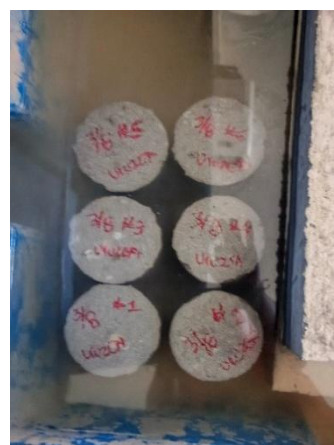


**Nota.** Probetas cilíndricas desmoldadas y pesadas antes de proceso de curado.



**Nota.** Identificación de probetas según tamaño nominal, dosificación y edad de ensayo.

#### **Anexo 7. Curado y pesaje de las probetas**



**Nota.** Espacio utilizado para mantener las probetas bajo condiciones adecuadas antes del ensayo de compresión.



**Nota.** Espacio utilizado para mantener secando las probetas un día antes del ensayo de compresión.



**Nota.** Pesaje de las probetas luego de estar sumergidas por el curado

#### **Anexo 8. Ensayo de resistencia a la compresión**



**Nota.** Probeta cilíndrica colocada en la prensa hidráulica para ensayos de compresión antes del ensayo de compresión.



**Nota.** Aplicación de carga axial sobre la probeta hasta alcanzar la falla.



**Nota.** Estado de la probeta después del ensayo de resistencia a la compresión.



**Nota.** Registro de la carga máxima obtenida durante el ensayo de compresión.

## Anexo 9. Registros de laboratorio de resistencia a la compresión

| F'c (kg/cm2)= |                         | 240            | REFERENCIA: Cilindro 3/4 |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|---------------|-------------------------|----------------|--------------------------|-------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Edad (días)   | # de Espécimen (unidad) | Diámetros (cm) |                          |       | Diámetro prom. (cm) | Área (cm) | Fuerza Máxima (kgf) | Resistencia (kgf/cm2) | Porcentaje (%) | Tipo de fractura (1-2-3-4-5-6) | Variación (%) |
| 3             | 1                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 21119,00            | 268,89                | 112,04         | 3                              | 1,06          |
|               | 2                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 23738,90            | 302,25                | 125,94         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 7             | 3                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 25287,80            | 321,97                | 134,16         | 3                              | 1,02          |
|               | 4                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 24519,70            | 312,19                | 130,08         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 28            | 5                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 29547,30            | 376,21                | 156,75         | 3                              | 1,00          |
|               | 6                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 29365,30            | 373,89                | 155,79         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 3/4", elaboradas con material proveniente de la cantera Uruzca.

| F'c (kg/cm2)= |                         | 240            | REFERENCIA: Cilindro 1/2 |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|---------------|-------------------------|----------------|--------------------------|-------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Edad (días)   | # de Espécimen (unidad) | Diámetros (cm) |                          |       | Diámetro prom. (cm) | Área (cm) | Fuerza Máxima (kgf) | Resistencia (kgf/cm2) | Porcentaje (%) | Tipo de fractura (1-2-3-4-5-6) | Variación (%) |
| 3             | 1                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 12986,80            | 165,35                | 68,90          | 3                              | 1,02          |
|               | 2                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 13560,20            | 172,65                | 71,94          | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 7             | 3                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 18283,00            | 232,79                | 96,99          | 3                              | 1,02          |
|               | 4                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 18960,80            | 241,42                | 100,59         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 28            | 5                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 21872,50            | 278,49                | 116,04         | 3                              | 1,06          |
|               | 6                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 19322,20            | 246,02                | 102,51         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 1/2", elaboradas con material proveniente de la cantera Uruzca.

| F'c (kg/cm2)= |                         | 240            | REFERENCIA: Cilindro 3/8 |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|---------------|-------------------------|----------------|--------------------------|-------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Edad (días)   | # de Espécimen (unidad) | Diámetros (cm) |                          |       | Diámetro prom. (cm) | Área (cm) | Fuerza Máxima (kgf) | Resistencia (kgf/cm2) | Porcentaje (%) | Tipo de fractura (1-2-3-4-5-6) | Variación (%) |
| 3             | 1                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 17015,60            | 216,65                | 90,27          | 3                              | 1,02          |
|               | 2                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 17536,80            | 223,28                | 93,04          | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 7             | 3                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 18775,40            | 239,06                | 99,61          | 3                              | 1,07          |
|               | 4                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 16232,70            | 206,68                | 86,12          | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 28            | 5                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 21872,50            | 278,49                | 116,04         | 3                              | 1,06          |
|               | 6                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 19322,20            | 246,02                | 102,51         | 3                              |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 3/8", elaboradas con material proveniente de Uruzca.

| F'c (kg/cm2)= |                         | 240            | REFERENCIA: Cilindro 3/4 |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|---------------|-------------------------|----------------|--------------------------|-------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Edad (días)   | # de Espécimen (unidad) | Diámetros (cm) |                          |       | Diámetro prom. (cm) | Área (cm) | Fuerza Máxima (kgf) | Resistencia (kgf/cm2) | Porcentaje (%) | Tipo de fractura (1-2-3-4-5-6) | Variación (%) |
| 3             | 1                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 26804,60            | 341,29                | 142,20         | 3                              | 1,00          |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 7             | 2                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 31507,50            | 401,17                | 167,15         | 3                              | 1,00          |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 28            | 3                       | 10,00          | 10,00                    | 10,00 | 10,00               | 78,54     | 40719,60            | 518,46                | 216,02         | 3                              | 1,00          |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|               |                         |                |                          |       |                     |           |                     |                       |                |                                |               |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 3/4", elaboradas con material proveniente de la cantera Travesía mezclada con otra cantera

| F'c (kg/cm2)=  |                            | 240               |       | REFERENCIA: Cilindro 1/2 |                        |              |                        |                          |                   |                                   |                  |
|----------------|----------------------------|-------------------|-------|--------------------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|
| Edad<br>(días) | # de Espécimen<br>(unidad) | Diámetros<br>(cm) |       |                          | Diámetro prom.<br>(cm) | Área<br>(cm) | Fuerza Máxima<br>(kgf) | Resistencia<br>(kgf/cm2) | Porcentaje<br>(%) | Tipo de fractura<br>(1-2-3-4-5-6) | Variación<br>(%) |
| 3              | 1                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 9588,20                | 122,08                   | 50,87             | 3                                 | 1,02             |
|                | 2                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 10043,40               | 127,88                   | 53,28             | 3                                 |                  |
|                |                            |                   |       |                          |                        |              |                        |                          |                   |                                   |                  |
| 7              | 3                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 11268,10               | 143,47                   | 59,78             | 3                                 | 1,01             |
|                | 4                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 11404,80               | 145,21                   | 60,50             | 3                                 |                  |
|                |                            |                   |       |                          |                        |              |                        |                          |                   |                                   |                  |
| 28             | 5                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 11977,90               | 152,51                   | 63,54             | 3                                 | 1,02             |
|                | 6                          | 10,00             | 10,00 | 10,00                    | 10,00                  | 78,54        | 12492,30               | 159,06                   | 66,27             | 3                                 |                  |
|                |                            |                   |       |                          |                        |              |                        |                          |                   |                                   |                  |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 1/2", elaboradas con material proveniente de la cantera Travesía mezclada con otra cantera.

| F'c (kg/cm2)= |                         | 240            |       | REFERENCIA: Cilindro 3/8 |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
|---------------|-------------------------|----------------|-------|--------------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| Edad (días)   | # de Espécimen (unidad) | Diámetros (cm) |       |                          | Diámetro prom. (cm) | Área (cm) | Fuerza Máxima (kgf) | Resistencia (kgf/cm2) | Porcentaje (%) | Tipo de fractura (1-2-3-4-5-6) | Variación (%) |
| 3             | 1                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 17015,60            | 216,65                | 90,27          | 3                              | 1,02          |
|               | 2                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 17536,80            | 223,28                | 93,04          | 3                              |               |
|               |                         |                |       |                          |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 7             | 3                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 18775,40            | 239,06                | 99,61          | 3                              | 1,07          |
|               | 4                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 16232,70            | 206,68                | 86,12          | 3                              |               |
|               |                         |                |       |                          |                     |           |                     |                       |                |                                |               |
| 28            | 5                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 21872,50            | 278,49                | 116,04         | 3                              | 1,06          |
|               | 6                       | 10,00          | 10,00 | 10,00                    | 10,00               | 78,54     | 19322,20            | 246,02                | 102,51         | 3                              |               |
|               |                         |                |       |                          |                     |           |                     |                       |                |                                |               |

**Nota.** Resultados individuales y promedios de resistencia a la compresión de las probetas del tamaño nominal de 3/8", elaboradas con material proveniente de la cantera Travesía mezclada con otra cantera.

#### Anexo 10. Registro granulométrico de los agregados gruesos

| TAMIZ<br>ASTM | APERTURA DE<br>TAMIZ (mm) | PESO<br>RETENIDO (g) | %RETENIDO | %RETENIDO<br>ACUMULADO | %PASA  |
|---------------|---------------------------|----------------------|-----------|------------------------|--------|
| 3"            | 75,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 2"            | 50,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1 1/2"        | 37,5                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1"            | 25,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 3/4"          | 19,00                     | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1/2           | 12,50                     | 9,8                  | 0,11      | 0,11                   | 99,89  |
| 3/8 "         | 9,50                      | 1824,2               | 21,29     | 21,40                  | 78,60  |
| N° 4          | 4,75                      | 6449,0               | 75,26     | 96,66                  | 3,34   |
| N° 16         | 1,18                      | 195,0                | 2,28      | 98,94                  | 1,06   |
| N° 30         | 0,60                      | 5,5                  | 0,06      | 99,00                  | 1,00   |
| N° 50         | 0,30                      | 5,4                  | 0,06      | 99,07                  | 0,93   |
| N° 100        | 0,15                      | 15,8                 | 0,18      | 99,25                  | 0,75   |
| N° 200        | 0,075                     | 37,2                 | 0,43      | 99,69                  | 0,31   |
| Fondo         |                           | 26,9                 | 0,31      | 100,00                 | 0,00   |
| TOTAL         |                           | 8568,8               | 100       |                        |        |

**Nota.** Registro granulométrico del agregado grueso de 3/8" utilizado para elaborar su curva granulométrica.

| TAMIZ<br>ASTM | APERTURA DE<br>TAMIZ (mm) | PESO<br>RETENIDO (g) | %RETENID<br>O | %RETENIDO<br>ACUMULADO | %PASA  |
|---------------|---------------------------|----------------------|---------------|------------------------|--------|
| 3"            | 75,0                      | 0                    | 0,00          | 0,00                   | 100,00 |
| 2"            | 50,0                      | 0                    | 0,00          | 0,00                   | 100,00 |
| 1 1/2"        | 37,5                      | 0                    | 0,00          | 0,00                   | 100,00 |
| 1"            | 25,0                      | 0                    | 0,00          | 0,00                   | 100,00 |
| 3/4"          | 19,00                     | 1598,0               | 18,45         | 18,45                  | 81,55  |
| 1/2           | 12,50                     | 4723,0               | 54,52         | 72,96                  | 27,04  |
| 3/8 "         | 9,50                      | 1920,0               | 22,16         | 95,13                  | 4,87   |
| N° 4          | 4,75                      | 388,40               | 4,48          | 99,61                  | 0,39   |
| N° 16         | 1,18                      | 6,4                  | 0,07          | 99,68                  | 0,32   |
| N° 30         | 0,60                      | 1,2                  | 0,01          | 99,70                  | 0,30   |
| N° 50         | 0,30                      | 1,0                  | 0,01          | 99,71                  | 0,29   |
| N° 100        | 0,15                      | 5,7                  | 0,07          | 99,77                  | 0,23   |
| N° 200        | 0,075                     | 4,9                  | 0,06          | 99,83                  | 0,17   |
| Fondo         |                           | 14,6                 | 0,17          | 100,00                 | 0,00   |
| TOTAL         |                           | 8663,2               | 100           |                        |        |

**Nota.** Registro granulométrico del agregado grueso de 1/2" utilizado para elaborar su curva granulométrica.

| TAMIZ<br>ASTM | APERTURA DE<br>TAMIZ (mm) | PESO<br>RETENIDO (g) | %RETENIDO | %RETENIDO<br>ACUMULADO | %PASA  |
|---------------|---------------------------|----------------------|-----------|------------------------|--------|
| 3"            | 75,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 2"            | 50,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1 1/2"        | 37,5                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1"            | 25,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 3/4"          | 19,00                     | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1/2           | 12,50                     | 3500,4               | 53,13     | 53,13                  | 46,87  |
| 3/8 "         | 9,50                      | 2089,8               | 31,72     | 84,85                  | 15,15  |
| N° 4          | 4,75                      | 983,80               | 14,93     | 99,78                  | 0,22   |
| N° 16         | 1,18                      | 8,4                  | 0,13      | 99,91                  | 0,09   |
| N° 30         | 0,60                      | 0,29                 | 0,00      | 99,92                  | 0,08   |
| N° 50         | 0,30                      | 0,32                 | 0,00      | 99,92                  | 0,08   |
| N° 100        | 0,15                      | 0,58                 | 0,01      | 99,93                  | 0,07   |
| N° 200        | 0,075                     | 1,37                 | 0,02      | 99,95                  | 0,05   |
| Fondo         |                           | 3,24                 | 0,05      | 100,00                 | 0,00   |
| TOTAL         |                           | 6588,2               | 100       |                        |        |

**Nota.** Registro granulométrico del agregado grueso de 3/4" proveniente de la cantera Uruzca.

| TAMIZ<br>ASTM | APERTURA DE<br>TAMIZ (mm) | PESO<br>RETENIDO (g) | %RETENIDO | %RETENIDO<br>ACUMULADO | %PASA  |
|---------------|---------------------------|----------------------|-----------|------------------------|--------|
| 3"            | 75,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 2"            | 50,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1 1/2"        | 37,5                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1"            | 25,0                      | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 3/4"          | 19,00                     | 0                    | 0,00      | 0,00                   | 100,00 |
| 1/2           | 12,50                     | 4502,0               | 53,47     | 53,47                  | 46,53  |
| 3/8 "         | 9,50                      | 2534,80              | 30,10     | 83,57                  | 16,43  |
| N° 4          | 4,75                      | 1342,20              | 15,94     | 99,51                  | 0,49   |
| N° 16         | 1,18                      | 13,60                | 0,16      | 99,67                  | 0,33   |
| N° 30         | 0,60                      | 1,6                  | 0,02      | 99,69                  | 0,31   |
| N° 50         | 0,30                      | 2,0                  | 0,02      | 99,71                  | 0,29   |
| N° 100        | 0,15                      | 11                   | 0,13      | 99,84                  | 0,16   |
| N° 200        | 0,075                     | 3,0                  | 0,04      | 99,88                  | 0,12   |
| Fondo         |                           | 10,2                 | 0,12      | 100,00                 | 0,00   |
| TOTAL         |                           | 8420,4               | 100       |                        |        |

**Nota.** Registro granulométrico del agregado grueso de 3/4" proveniente de la cantera Travesía.

## Anexo 11. Evidencia general del trabajo experimental



**Nota.** Participación de los autores durante el desarrollo del proceso experimental.