



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**“Uso del homogeneizador de alta velocidad durante la fabricación de
hormigón para evaluar su resistencia temprana”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

ESTHELA JACQUELINE CÁRDENAS OCHOA

ANA CRISTINA PÉREZ AVECILLAS

Director:

VLADIMIR CARRASCO CASTRO

**CUENCA-ECUADOR
2025**

Dedicatoria

A Dios, por protegerme y cuidarme en todo este camino, por iluminarme y darme la confianza de sentirme capaz de lograr todo lo que me proponga. “Todo lo puedo en Cristo que me fortalece” Filipenses 4:13.

A mis padres, Rosendo y Luli, por darme todo su apoyo desde el día uno, por creer en mí, por estar presentes en todo momento, por enseñarme sus valores, y el significado del amor incondicional.

A mis hermanos, Jorge y Jéssy, por apoyarme en todos estos años y brindarme su amor.

A Papi Arturo y Mami Deysi, por todo su cariño y apoyo en cada momento.

A mis abuelitos que me acompañan desde el cielo, Víctor, Alejo, Esthelita y Enita, por dejar un legado de amor y bondad infinita.

A Octavio, alguien muy especial, por dejarme muchas enseñanzas, por haber confiado en mí, y por haberme brindado su apoyo, su recuerdo vivirá siempre en nuestros corazones.

A las personas maravillosas que Dios me mandó en esta bella etapa, Danna, Titi, Karen, Aracely, Ismael, Steven, Christopher, Josué, por enseñarme el significado de la amistad, la lealtad y hacer que todo este camino sea lleno de felicidad.

A mis queridos BlueBeats, por haber compartido todos estos años con lo maravilloso que nos une, la música, siempre los llevaré en mi corazón.

A mi compañera de tesis y mejor amiga, mi querida Titi, por estar conmigo desde el primer día en donde empezamos a soñar con lograrlo, por su amistad, su confianza, su apoyo y por hacer que todos estos años sean llenos de recuerdos inolvidables llenos de cariño y alegría.

Y de manera especial a la pequeña Jacky, que siempre decía “quiero ser colega de mi papi”, por nunca rendirse, por luchar y esforzarse cada día, hoy, de la mano de Dios, lo logramos.

Esthela Jacqueline Cárdenas Ochoa

Dedicatoria

Con mucho cariño y gratitud dedico este trabajo a mis abuelas, y a la memoria de mis queridos abuelos. Porque siempre creyeron en mí, porque con su ejemplo me enseñaron que, sin importar las dificultades que nos presente la vida, jamás debemos rendirnos. Este logro también es suyo.

A mis padres, Charles y Doris, por ser mi pilar, por darme todo y más por mí. Gracias por su amor, por su apoyo incondicional y por motivarme cada día a seguir adelante y alcanzar esta meta. Esta tesis es fruto de su esfuerzo y de todo lo que me han enseñado con su ejemplo.

Ana Cristina Pérez Avecillas

Agradecimiento

A Dios, por acompañarme en cada etapa y hacer que este gran sueño sea posible.

“Prosperarás en todo lo que decidas hacer y la luz brillará delante de ti en el camino” Job 22:28.

A mi familia, mi fuente de inspiración para esforzarme cada día.

A mis amigos y a todos los docentes de la escuela de ingeniería civil por sus enseñanzas a lo largo de este camino.

A Titi, por su compañerismo, entrega y dedicación para lograr este proyecto.

A Wiliam Lituma, técnico laboratorista, por su apoyo durante la etapa experimental de este estudio.

A mi querida Universidad del Azuay, que durante todos estos años ha sido un espacio de crecimiento y aprendizaje en donde me formé y encontré personas valiosas.

Y con especial gratitud al Ing. Vladimir Carrasco, nuestro director, y a “RFV Construcciones” por su apoyo incondicional, su confianza y por ser parte fundamental en la ejecución de esta investigación, su valioso respaldo fue clave para llevar a cabo esta tesis.

Esthela Jacqueline Cárdenas Ochoa

Agradecimiento

A Dios, por ser mi guía constante, mi refugio y mi fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis padres, Charles y Doris, por su amor inagotable y por estar siempre ahí, incluso en los momentos más difíciles. A mis hermanos, Carlos y Amelia, por acompañarme con cariño, con paciencia y con esas risas que aliviaban el cansancio y el estrés. A toda mi familia, por su apoyo, por creer en mí y por ser parte esencial de este logro.

A Josué, quien me acompañó en gran parte de este proceso. Estuviste presente en cada logro, celebrando conmigo con alegría, y también en los momentos difíciles, brindándome tu paciencia, tu apoyo y tus palabras de aliento. Tu compañía incondicional fue un pilar fundamental, y significó más de lo que las palabras pueden expresar.

A mis amigos de la universidad, quienes hicieron de esta experiencia algo único. En especial a Jacky, mi compañera de universidad, tesis y mejor amiga. Gracias por caminar conmigo desde el primer trabajo hasta el último, por tu apoyo incondicional, por tu compañía en los días buenos y en los no tan buenos, y por hacer de esta etapa algo verdaderamente inolvidable.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al Ing. Vladimir Carrasco, un profesor y director de tesis excepcional. Gracias por su confianza, por sus enseñanzas en clase, por su orientación en cada etapa de este proyecto, y por su generosidad al compartir siempre su conocimiento y experiencia.

Finalmente, gracias a cada persona que, de una u otra forma, fue parte de este proceso. Culminar esta etapa no solo representa un logro académico, sino también el reflejo del amor, la compañía y el apoyo que me brindaron a lo largo del camino.

Ana Cristina Pérez Avecillas

Resumen

El presente trabajo de titulación evalúa el uso de un homogeneizador de alta velocidad como método alternativo en la fabricación de hormigón, con el fin de analizar su impacto en la resistencia a compresión en edades tempranas. Se elaboraron y ensayaron 24 cilindros de hormigón utilizando dos métodos de mezcla: convencional y con homogeneizador, tanto con aditivo hiperplastificante como sin él. Las muestras fueron evaluadas en los días 1, 2 y 28 mediante ensayos de compresión, y los resultados fueron analizados en función del comportamiento mecánico del material en cada etapa de curado.

Los resultados obtenidos evidencian que el uso del homogeneizador sin aditivos mejora la resistencia temprana frente al método tradicional, mientras que su combinación con aditivos mostró una disminución de la resistencia en los primeros días. A los 28 días, las muestras con homogeneizador superaron consistentemente a las mezclas convencionales, incluso sin aditivos, lo cual sugiere una mejor compactación y uniformidad en la mezcla.

Este estudio concluye que el homogeneizador de alta velocidad representa una alternativa viable para optimizar la calidad del hormigón, especialmente en aplicaciones que requieren alta eficiencia estructural en tiempos reducidos. Asimismo, se recomienda continuar con investigaciones que permitan ampliar el alcance de esta tecnología en distintas condiciones operativas y con distintos tipos de aditivos.

Palabras clave: hormigón, resistencia temprana, homogeneizador, compresión, aditivos.

Abstract

This research evaluates the use of a high-speed homogenizer as an alternative method for concrete mixing, aiming to assess its impact on early-age compressive strength. A total of 24 concrete cylinders were produced using two different mixing methods: conventional and high-speed homogenization, with and without the addition of a hyperplasticizer. The specimens were tested on days 1, 2, and 28, and the results were analyzed based on the mechanical performance of the material at each curing stage.

The findings indicate that homogenized mixtures without additives achieved higher early-age strength than conventional ones, while the combination of homogenizer and additives resulted in lower strength at early stages. However, by day 28, the homogenized samples consistently outperformed the conventional ones, even without additives, suggesting better compaction and uniformity.

This study concludes that the use of a high-speed homogenizer is a promising alternative to enhance concrete quality, particularly in applications requiring rapid structural performance. Further research is recommended to expand the applicability of this technology under different operational conditions and with various types of admixtures.

Keywords: concrete, early strength, homogenizer, compression, admixtures.

Índice de contenidos

Índice de contenidos	viii
Introducción	xii
Antecedentes	xiv
Problemática y Justificación	xv
1. Capítulo 1	1
1.1 Análisis de la literatura existente	2
1.2 Objetivo del capítulo	3
1.3 Definición de las muestras	3
1.3.1 Tipos de mezcla	3
1.3.2 Diseño de las mezclas	3
1.3.2.1 Cálculo del Volúmen de los Cilindros.....	3
1.3.3 Número de muestras	4
1.3.4 Dosificación y ajuste para los experimentos.....	5
1.3.5 Justificación del aditivo utilizado	6
1.3.5.1 Clasificación de los aditivos:.....	6
1.3.5.2 Aditivo Hiperplastificante	7
1.4 Tiempos de evaluación.....	8
1.5 Justificación del diseño experimental	9
2. Capítulo 2.....	10
2.1 Proceso de la fabricación de las muestras	11
2.1.1 Muestras elaboradas en base al método tradicional de fabricación de hormigón	11
2.1.2 Muestras elaboradas usando el homogeneizador de alta velocidad.....	13
2.2 Proceso de la rotura de los cilindros.....	16
2.3 Resultados	18
2.3.1 Resultados día 1	18

2.3.2	Resultados día 2	19
2.3.3	Resultados día 28	21
2.3.4	Resultado Hormigón Convencional + Aditivo vs Homogeneizador + Aditivo.	24
2.3.5	Prueba Hormigón Convencional sin Aditivo vs Homogeneizador sin Aditivo.	24
2.3.6	Prueba Hormigón Convencional + Aditivo vs Homogeneizador sin Aditivo ...	25
2.3.7	Impacto de la reducción del cemento en la resistencia	27
3.	Capítulo 3.....	28
3.1.1	Evaluación del uso del homogeneizador de alta velocidad dentro de la industria de la Construcción.....	28
3.1.2	Ventajas y Limitaciones del Uso del Homogeneizador de alta velocidad.....	30
3.1.3	Uso del homogeneizador de alta velocidad en la fabricación de elementos prefabricados	32
4.	Discusión de Resultados	33
5.	Recomendaciones para una futura investigación	34
6.	Conclusiones	35
7.	Bibliografía	36
8.	Anexos	38

Índice de figuras

Figura 1. Elementos del Hormigón.....	xii
Figura 2. Paso 1: Peso de los materiales hormigón tradicional	12
Figura 3. Paso 2: Mezcla de componentes.....	12
Figura 4. Paso 3: Colocación en cilindros.	13
Figura 5. Paso 1: Peso de los componentes - Homogeneizador	13
Figura 6. Paso 2: Mezcla de componentes - Homogeneizador.....	14
Figura 7. Paso 3: Uso del homogeneizador	14
Figura 8. Incorporación de aditivo Experimento No.1	15
Figura 9. Paso 4: Colocación en cilindros - homogeneizador	16
Figura 10. Resistencia a compresión de cilindros.....	17
Figura 11. Rotura de cilindros	17
Figura 12 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional y Hormigón con Homogeneizador con Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28.....	23
Figura 13 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28.....	23
Figura 14. Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador + Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28	24
Figura 15. Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional sin Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28.....	25
Figura 16 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28.....	26

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de organización de muestras	4
Tabla 2. Dosificaciones para los experimentos.....	5
Tabla 3. Propiedades del Hormigón que pueden ser controladas por los aditivos.....	7
Tabla 4. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 1	18
Tabla 5. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 2	20
Tabla 6. Tabla comparativa de la resistencia en kg/cm ² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28.....	26

Introducción

En este trabajo de titulación examinaremos una herramienta fundamental dentro de la ingeniería civil: el hormigón. Desde las primeras construcciones del ser humano existió la necesidad de desarrollar un compuesto que permitiera unir materiales para levantar estructuras estables. Conforme pasa el tiempo estos materiales han ido evolucionando hasta ser capaces de soportar grandes cargas y que sus propiedades soporten el paso del tiempo (Leon & Rodríguez, 2022). Esta herramienta es el hormigón, uno de los compuestos más utilizados en la industria de la construcción y en esta ocasión se analizará qué es el hormigón, la importancia de su homogeneidad y como el uso de un homogeneizador de alta velocidad puede influir en su resistencia temprana.

Con respecto al hormigón, León y Rodríguez (2022) establecen que “El hormigón es un material heterogéneo resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante incluyéndose la incorporación de aditivos, los cuales permiten que se desarrollen sus propiedades al hidratarse con el cemento” (p.3). Los componentes del hormigón se detallan en la Figura 1. Elementos del Hormigón.

Figura 1. Elementos del Hormigón.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Los elementos del hormigón mostrados en la Figura 1, juegan un papel muy importante en cuanto a su resistencia, empezando por la marca del cemento, el tipo de agregado fino y grueso y la cantidad de humedad en cada uno de estos influyen en las propiedades mecánicas del hormigón, incidiendo tanto en su resistencia inicial como su resistencia final.

Una de las propiedades mecánicas más destacadas de este material es su resistencia a la compresión y su capacidad de soportar grandes cargas a temprana edad. Es importante destacar que existen factores que pueden influir en la resistencia temprana a la compresión, es decir, a los primeros días de su fraguado y endurecimiento (León & Hernández, 2015). Entre los

factores que pueden influir en esta resistencia temprana, se destaca: la relación agua/cemento, dosificación de aditivos, tiempo de mezclado, entre otros.

El hormigón como material de construcción, requiere de un proceso adecuado de mezcla y curado para alcanzar las propiedades mecánicas deseadas, garantizando así la seguridad y durabilidad de las estructuras. El desarrollo de nuevos métodos con el objetivo de mejorar la calidad del hormigón ha sido una prioridad en la ingeniería civil debido a la creciente demanda de estructuras más seguras, fuertes y duraderas. La capacidad del hormigón para alcanzar resistencia en las primeras etapas del curado resulta crucial para planificar el avance constructivo y acortar los tiempos de obra, puesto que, tiene una influencia de manera directa en los tiempos de desencofrado y en la rapidez con la que una estructura puede entrar en funcionamiento (Mehta & Monteiro, 2006).

Hay diversas aplicaciones, como la prefabricación o las obras viales, donde se requiere que el hormigón alcance altos niveles de resistencia en lapsos cortos para asegurar eficiencia en la ejecución. Con respecto a prefabricados estructurales, es más conveniente el uso de un hormigón con resistencia temprana debido a que el costo del encofrado es casi nulo, su producción es en serie y por lo tanto es más económica (Jara, 2009).

En la búsqueda de soluciones innovadoras, el uso de tecnologías como la aplicación de ondas mecánicas ha surgido como una propuesta con el fin de optimizar la resistencia del hormigón durante sus primeras etapas de curado, estas ondas pueden inducir vibraciones que favorecen la compactación y reducen la porosidad lo que mejora sus propiedades mecánicas (Neville, 2012).

El presente estudio se enfoca en la comparación y análisis de la resistencia temprana del hormigón elaborado de manera convencional y el hormigón fabricado con el uso del homogeneizador de alta velocidad, se espera que este proceso genere mejoras significativas en la estructura del material al homogenizar la mezcla y mejorar la calidad de la mezcla nivel molecular, reduciendo el porcentaje de vacíos y por ende mejorar su calidad y resistencia. Así también, se pueden tener resultados no tan favorables, es decir, que no alcance la resistencia temprana esperada, obteniendo un efecto contrario. La investigación parte de la hipótesis de que la aplicación de ondas mecánicas podría tener la capacidad de acelerar la resistencia temprana en el hormigón sin comprometer su calidad, lo que representaría una solución viable y económica para la industria de la construcción.

Este documento está estructurado en varias secciones que abordan todos los aspectos fundamentales de la investigación y el trabajo experimental. En primer lugar, se presentan los antecedentes del estudio, posteriormente se expone la problemática que justifica el motivo que nos llevó a realizar esta investigación, destacando la importancia de mejorar los tiempos de curado y optimizar el desempeño del hormigón en sus primeras etapas garantizando su calidad. También cuenta con tres capítulos en donde en el primero se expone el marco teórico, definición del número de muestras y resistencias a evaluar, en el capítulo dos se explica las dosificaciones, cálculos y cantidades de materiales para llevar a cabo el estudio. Finalmente se cuenta con el capítulo tres en donde se exponen los resultados obtenidos de los ensayos a compresión de las muestras de hormigón elaborado con los distintos métodos, así como también el análisis y evaluación de las ventajas y limitaciones del uso del homogeneizador de alta velocidad en la industria de la construcción.

Este estudio tiene como principal objetivo aportar evidencia experimental sobre la viabilidad del uso del homogeneizador de alta velocidad durante la fabricación del hormigón y establecer una base para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería civil.

Antecedentes

A lo largo del tiempo, el desarrollo de técnicas para aumentar la durabilidad y resistencia del hormigón ha sido una prioridad dentro del ámbito constructivo. En particular, la resistencia temprana es un aspecto de suma importancia, puesto que, determina la rapidez con la que se pueden retirar los encofrados y continuar con las fases constructivas (Kosmatka, 2011). Por lo cual, se ha vuelto un análisis importante dentro de la industria de la construcción porque permite obtener resultados interesantes que se pueden aplicar en vías, prefabricados de hormigón y otros usos dentro de la ingeniería civil que requieren una resistencia temprana óptima para su uso.

Investigaciones previas han demostrado que la compactación con el uso de vibraciones mejora la densidad del hormigón y por ende incrementa su resistencia (Neville, 2012). Sin embargo, la aplicación de ondas mecánicas como método para homogenizar la mezcla es un campo emergente con potencial para optimizar mucho más la rapidez del material para alcanzar su resistencia y propiedades.

Estudios recientes han experimentado con el uso de tecnologías como la implementación del ultrasonido y las vibraciones mecánicas para acelerar el proceso de hidratación del cemento y mejorar así la microestructura del hormigón (Mehta & Monteiro, 2006). Todos estos hallazgos

sustentan el presente estudio, que busca evaluar el impacto del uso del homogeneizador de alta velocidad en la resistencia temprana del hormigón.

Problemática y Justificación

Uno de los principales desafíos de la industria de la construcción es lograr reducir los tiempos de curado del hormigón sin comprometer su durabilidad y resistencia. Los métodos empleados tradicionalmente para el curado pueden ser lentos y requieren de condiciones ambientales controladas para garantizar un correcto desarrollo de las propiedades mecánicas (Kosmatka, 2011).

En Ecuador, con su rápido crecimiento urbano y expansión en el ámbito de la infraestructura, la industria enfrenta grandes desafíos relacionados con la producción de hormigón. La variabilidad en su resistencia, causada por una mezcla inadecuada, afecta la calidad del material, lo que lleva a retrasos en los proyectos y generación de costos adicionales. Además, el tiempo prolongado requerido para su curado representa un obstáculo relevante en un entorno donde la rapidez de construcción es esencial. Esta situación se vuelve crítica para muchas industrias, ya que el tiempo de curado afecta directamente su capacidad operativa, evidenciando así la necesidad urgente de optimizar este proceso para cumplir con las exigencias del mercado. A estos desafíos técnicos se suma una preocupación ambiental importante.

La producción de cemento, un componente esencial del hormigón, es responsable de una cantidad significativa de emisiones de dióxido de carbono, contribuyendo así a la crisis ambiental global. Aunque los aditivos utilizados en la mezcla pueden mejorar algunas propiedades del hormigón, también generan impactos negativos al liberar compuestos químicos al medio ambiente, lo que agrava el problema ecológico. Por tanto, resulta fundamental encontrar alternativas que no solo mejoren la calidad del hormigón, sino que también reduzcan su impacto ambiental.

Obtener una resistencia inicial adecuada es esencial para agilizar los procesos constructivos, en particular cuando se trata de componentes estructurales o pavimentos con requisitos de habilitación rápida. Por esta razón, en muchas ocasiones se prioriza la resistencia inicial por encima de la resistencia final. Si se logra mejorar este comportamiento sin incrementar, o incluso reduciendo el contenido de cemento, se podrían reducir de forma considerable tanto los costos como el impacto ambiental del material, dado que el cemento representa el componente más costoso y con mayor huella de carbono del hormigón.

La sugerencia de utilizar un homogeneizador de alta velocidad responde a la necesidad de métodos innovadores que logren optimizar los procesos de producción y mejoren la calidad del hormigón. Esta tecnología no solo tendría el potencial de resolver los problemas técnicos y ambientales, sino que también ofrecería una solución eficiente para acelerar los proyectos de construcción. En el contexto de nuestro país, donde los recursos y condiciones ambientales son variables, esta tecnología permitiría ajustar el proceso de mezcla para mejorar el rendimiento del hormigón en diferentes condiciones locales. Esto no solo mejoraría la adaptabilidad de las técnicas de construcción, sino que también podría posicionar a las empresas ecuatorianas como líderes en la adopción de tecnologías avanzadas, volviéndolas más sostenibles y competitivas a nivel regional e internacional.

1. Capítulo 1

A lo largo de la historia, los materiales de construcción han desempeñado un papel fundamental en el progreso de las sociedades humanas, muchos de ellos, como la madera y el acero han sido utilizados pero debido a sus desventajas no satisfacían las necesidades de la sociedad, sin embargo, existe un material que, si lo hace, el hormigón. Este se destaca por su resistencia, su valor económico, su fácil uso, pero, sobre todo, su durabilidad (Cedeño et al., 2019).

La resistencia es una de las características principales del hormigón, ya que es excelente soportando cargas a compresión y al usarlo con el acero (hormigón armado) logra soportar esfuerzos de flexión, tracción y esfuerzos cortantes satisfactoriamente (Cedeño et al., 2019).

Gracias a su resistencia mecánica, durabilidad y adaptabilidad, el hormigón se ha consolidado como uno de los principales materiales empleados en la industria de la construcción en todo el mundo. Sin embargo, hay que recalcar que su comportamiento mecánico depende de manera crítica del proceso de mezcla, proporción de materiales y procesos de curado, factores que influyen directamente en la resistencia y calidad del producto final. En particular, en un país como el nuestro, donde el rápido crecimiento urbano exige proyectos de construcción acelerados y de alta calidad, optimizar el proceso de fabricación del hormigón es una necesidad fundamental (Mehta & Monteiro, 2006). Para esto, se sugiere una alternativa que podría ser viable en cuanto a la optimización del tiempo, favoreciendo la rapidez de los proyectos de construcción y su calidad en los mismos. Por otro lado, dentro del ámbito de la construcción, se está optando por utilizar nuevos modelos innovadores, como por ejemplo la impresión 3D, viviendas autosostenibles, técnicas de construcción ecológicas, construcción offsite, entre otras.

Este capítulo presenta un análisis de la literatura respecto a las propiedades del hormigón, la definición del número de muestras y resistencias a usar para el posterior diseño experimental con el método convencional y, por otro lado, la implementación del homogeneizador de alta velocidad. Además, se explora cómo este equipo podría influir en la uniformidad de la mezcla y en el desarrollo de resistencia en diferentes intervalos de tiempo.

1.1 Análisis de la literatura existente

Un estudio previo sobre la resistencia temprana del hormigón con la ayuda de ultrasonido “Producción de hormigón asistida por ultrasonido. Concepto para una producción de hormigón que ahorre recursos” demostró que la estimulación de las partículas durante el proceso de mezclado puede favorecer o perjudicar la mezcla (Remus, 2022). A partir de esta investigación, surge la necesidad de explorar e investigar a cerca de otros métodos de optimización, como el uso de un homogeneizador de alta velocidad, el cual también actúa sobre la dispersión de las partículas y la uniformidad de la mezcla.

Dentro del estudio mencionado, se realizan diferentes muestras, con dosificaciones, tiempos, cantidad de materiales y otros factores variables; por lo que los resultados de cada una de estas muestras son muy distintos entre sí. Entre los resultados más destacables, se sugiere que la reducción de cemento es viable sin comprometer la calidad estructural cuando se emplea el ultrasonido, lo que podría representar varios beneficios para el constructor, tanto económicos como ambientales. Sin embargo, se destaca también que es necesario el estudio continuo de esta tecnología en diferentes aplicaciones de la industria de la construcción para poder maximizar su potencial (Remus, 2022).

Dentro de esta tesis, se destaca también la aceleración del fraguado, es decir, que el uso de ultrasonido reduce significativamente el tiempo de inicio de la solidificación del hormigón en comparación con mezclas convencionales (Remus, 2022). Es importante tomar en cuenta esta información por 2 razones: En primer lugar, si es que se tiene mucho tiempo la mezcla con el homogeneizador y no se coloca en seguida en los cilindros, probablemente se necesite de más agua para que tenga una buena trabajabilidad. En segundo lugar, este dato puede ser beneficioso ya que se empieza a solidificar de manera rápida, lo que se traduce en una mayor resistencia temprana.

Por último, se habla sobre el desarrollo de la resistencia a la compresión, encontrando un aumento significativo de la resistencia temprana, incluso hasta las 14 primeras horas, siendo esta resistencia mucho más alta que con el hormigón convencional (Remus, 2022). El desarrollo de la resistencia a la compresión a las primeras horas de fraguado es un factor crítico para procesos constructivos, especialmente para prefabricados, en donde se requieren

desmoldes rápidos y eficientes, de esta manera, el uso de ultrasonido, ayuda a valores altos de resistencia temprana.

1.2 Objetivo del capítulo

El objetivo principal de este capítulo es definir las resistencias a evaluar y determinar el número de muestras necesarias para cada una, en el hormigón elaborado con homogeneizador de alta velocidad y el método convencional. Además, se justifica la selección de las variables experimentales y los tiempos de evaluación en función de la literatura técnica existente.

1.3 Definición de las muestras

1.3.1 Tipos de mezcla

En este estudio, se llevaron a cabo dos tipos de mezcla para evaluar el efecto del homogeneizador de alta velocidad en la resistencia temprana del concreto. Los experimentos se realizaron utilizando tanto el método convencional de mezcla como el método con el homogeneizador de alta velocidad. Los dos tipos de mezcla fueron:

1. **Mezcla con aditivo:** Este experimento se realizó utilizando un aditivo específico en la mezcla de concreto.
2. **Mezcla sin aditivo:** En este caso, se omitió el aditivo, lo que permitió comparar su impacto en la resistencia temprana del concreto con respecto a la mezcla con aditivo.

1.3.2 Diseño de las mezclas

1.3.2.1 Cálculo del Volúmen de los Cilindros

Se utilizaron cilindros de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, que son los diámetros comerciales estándar. El volumen de cada cilindro se obtuvo empleando la siguiente fórmula:

$$V = \pi r^2 h$$

Donde:

- r es el radio del cilindro (10 cm / 2 = 5 cm)
- h es la altura (20 cm)
- π valor aproximado de 3.1416

Sustituyendo los valores:

$$V = \pi * 0.05^2 * 0.20$$

$$V = 0.00157m^3$$

Para cada cilindro se obtuvo un volumen de 1.57 litros.

1.3.3 Número de muestras

Se realizarán 24 muestras como se muestra en la Tabla 1. Tabla de organización de muestras

Tabla 1. Tabla de organización de muestras

Método de Mezcla	Día 1	Día 2	Día 28	Total Muestras
Método Convencional	2 con aditivo	2 con aditivo	2 con aditivo	12 muestras
	2 sin aditivo	2 sin aditivo	2 sin aditivo	
Homogeneizador de Alta Velocidad	2 con aditivo	2 con aditivo	2 con aditivo	12 muestras
	2 sin aditivo	2 sin aditivo	2 sin aditivo	
Total Muestras	8 muestras	8 muestras	8 muestras	24 muestras

Fuente: Elaboración propia (2025).

El experimento consta de 24 muestras, 12 realizadas con el método convencional y 12 con el homogeneizador de alta velocidad, en cada caso fueron 6 con aditivo y 6 sin aditivo, y su evaluación en el día 1, 2 y 28, de igual manera este mismo proceso con la mezcla convencional.

Al ser 24 cilindros y sabiendo que cada cilindro contiene 1.57 litros, el cálculo del volumen total para esta etapa se presenta a continuación. Cabe recalcar que se lo multiplicó directamente por 6 porque corresponde a las 6 muestras para cada tipo de hormigón según lo indicado anteriormente, 6 con aditivo y 6 sin aditivo.

$$V = 0.00157 * 6 = 0.00942 m^3$$

Para ambos experimentos, se utilizaron las dosificaciones que nos proporcionó nuestro tutor, quien tiene experiencia en la fabricación de hormigones. Estas dosificaciones fueron diseñadas para un volumen de 1 m³ de concreto y se ajustaron según las especificaciones necesarias para los ensayos. Las dosificaciones recomendadas son las siguientes:

- Agua: 160 litros. Si la mezcla requiere mayor fluidez, se incrementará la cantidad de agua.
- Grava: 980 kg
- Arena: 770 kg
- Cemento: 400 kg
- Aditivo: 1% del peso del cemento máximo (para el experimento con aditivo).
- Relación agua/cemento: 0.4

1.3.4 Dosificación y ajuste para los experimentos

Como se mencionó anteriormente, el cálculo del volumen para 6 cilindros nos dio un valor de 0.00942, este valor se incrementó en un 10%, lo que dio como resultado un valor final de 0.010362. Esta mayoración se realizó con el propósito de prevenir posibles pérdidas durante el proceso, asegurando así la precisión y consistencia de los resultados. En el experimento, se dividió en dos partes: Experimento No. 1 y Experimento No. 2.

- Experimento No. 1 se llevó a cabo utilizando aditivo.
- Experimento No. 2 se realizó sin aditivo.

Ambas pruebas se realizaron con las dosis previamente calculadas para 1 m³, las cuales fueron multiplicadas por el valor de 0.010362 (volumen de cilindro mayorado) para obtener las cantidades adecuadas de cada material en las mezclas. A continuación, en la Tabla 2. Dosificaciones para los experimentos se presentarán las dosificaciones empleadas en ambos experimentos en una tabla para mayor claridad.

Tabla 2. Dosificaciones para los experimentos

Material	Unidades	Mezcla No.1 con aditivo	Mezcla No. 2 sin aditivo
Agua	lt	1.657	1.657
Grava	kg	10.15	10.15
Arena	kg	7.97	7.97
Cemento	kg	4.14	4.14
Aditivo	ml	10	0

Fuente: Elaboración propia (2025).

Se realizará la Mezcla No. 1 y Mezcla No. 2 con las dosificaciones sugeridas, se realizarán 6 de cada una de estas, tal y como se especificó en la Tabla 1. Tabla de organización de muestras.

1.3.5 Justificación del aditivo utilizado

Los aditivos son productos que se agregan al hormigón en una proporción entre el 0.10% y el 5,00% de la masa del cemento. Se aplican aditivos para modificar alguna propiedad o comportamiento del hormigón para lograr un mejor resultado. Se puede usar aditivos en los distintos procesos del hormigón como en estado fresco, fraguado y durante el endurecimiento. En todos los países del mundo, el uso de los aditivos ha beneficiado a las industrias debido a que permite desarrollar eficientemente y económicamente distintos tipos de hormigón, tales como: hormigón premezclado, hormigón bombeado, hormigón proyectado, hormigón prefabricado y hormigón bajo agua (Carrasco, 2013).

1.3.5.1 Clasificación de los aditivos:

Carrasco (2013) afirma:

Los aditivos se clasifican según sus funciones y de la siguiente manera:

1. TIPO A: Aditivos Plastificantes
2. TIPO B: Aditivos Retardadores
3. TIPO C: Aditivos Aceleradores
4. TIPO D: Aditivos Plastificantes y Retardadores
5. TIPO E: Aditivos Plastificantes y Aceleradores
6. TIPO F: Aditivos Superplastificantes
7. TIPO G: Aditivos Superplastificantes y retardadores
8. TIPO H: Aditivos Incorporadores de Aire

En la Tabla 3. Propiedades del Hormigón que pueden ser controladas por los aditivos., procedemos a detallar las propiedades del hormigón que pueden ser controladas con el uso de aditivos.

Tabla 3. Propiedades del Hormigón que pueden ser controladas por los aditivos.

Estado Fresco	Fraguado	Endurecimiento
Trabajabilidad	Duración período de fraguado	Resistencia
Exudación	Resistencia inicial pasta cemento	Impermeabilidad
Consistencia		Durabilidad

Fuente: Carrasco, 2013

1.3.5.2 Aditivo Hiperplastificante

Se utilizó un aditivo hiperplastificante en base a polycarboxilatos (PCE), estos han revolucionado la industria del concreto por su capacidad de ofrecer mejoras significativas en las propiedades físico-mecánicas y en la trabajabilidad de las mezclas. Estos aditivos permiten una reducción considerable en la relación agua/cemento, lo que lleva a lograr concretos con mayor densidad y durabilidad. Además, su estructura química tridimensional facilita una dispersión eficiente de las partículas de cemento, mejorando la fluidez y cohesión de la mezcla (Palacios, M., Puertas, F., & Alonso, M, 2005). De esta manera, estos aditivos no solo influyen en las propiedades mecánicas sino en la durabilidad a largo plazo. El reducir la demanda de agua sin comprometer la fluidez da como resultado una mejor compactación y menor porosidad, sin embargo, es importante dosificarlo de manera correcta ya que un exceso de este puede generar una mezcla excesivamente fluida, comprometiendo tanto la resistencia como la trabajabilidad del hormigón, afectando su desempeño estructural y su durabilidad.

Este aditivo le proporciona al hormigón una trabajabilidad insuperable y con menos cantidad de agua. Esto permite colocar el hormigón en estructuras complicadas sin necesidad de incrementar agua o cemento (Carrasco, 2013). Tomando en cuenta lo mencionado, este aditivo nos brinda una gran ayuda al momento de realizarlos experimentos porque facilita la homogeneización de la mezcla y garantiza una mejor distribución de los materiales.

Esta disminución de agua-cemento aumenta la compacidad del hormigón y mejora la resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Adicional a estos beneficios, las tendencias a la retracción y fisuración disminuyen (Carrasco, 2013).

La compatibilidad de los PCE con diferentes tipos de cemento es otro aspecto que cabe destacar. Estudios han demostrado que la eficacia de estos aditivos varía según la composición mineralógica y química del cemento utilizado. Por ejemplo, en cementos con adiciones como escoria, el efecto fluidificante de los PCE es más pronunciado, lo que permite una mayor reducción de agua y una mejora en las propiedades reológicas del concreto. (Palacios, M., Puertas, F., & Alonso, M, 2005).

Uno de los beneficios clave de estos aditivos es su capacidad para aumentar la resistencia inicial del concreto sin comprometer su durabilidad a largo plazo. Su mecanismo de acción se basa en la dispersión de partículas de cemento, evitando su aglomeración y logrando una hidratación más eficiente. Investigaciones indican que los policarboxilatos mejoran la reología del concreto, evitando la segregación y la exudación, lo que es crucial en las aplicaciones de alta resistencia (Mehta & Monteiro, 2006). De esta manera, puede ayudar no solo en la trabajabilidad sino a largo plazo, al reducir la porosidad del hormigón, disminuyen su vulnerabilidad frente a agentes agresivos como son los sulfatos o los cloruros, aumentando de esta manera la vida útil del concreto.

Desde una perspectiva económica, el uso de estos aditivos a base de policarboxilatos puede representar una reducción de costos en proyectos de construcción. Al disminuir la necesidad de vibración y acelerar los tiempos de fraguado, se optimizan los procesos de producción, especialmente en prefabricados y reparaciones rápidas de pavimentos. Estudios han demostrado que este tipo de aditivos permiten la apertura más rápida de vías, reduciendo costos asociados a tiempos de inactividad (Neville, 2012).

Por estas razones, se ha optado por usar un aditivo hiperplastificante a base de policarboxilatos, ya que presenta factores clave para una mejora en sus propiedades mecánicas y en su trabajabilidad. Ayuda a distribuir uniformemente las partículas del cemento dentro de las mezclas, lo cual es una característica muy importante para este trabajo, en donde se busca tener una mezcla homogénea para cada uno de los componentes.

1.4 Tiempos de evaluación

Se realizarán ensayos de compresión los siguientes días:

- Día 1: Para evaluar la resistencia inicial y determinar si el homogeneizador acelera el proceso de desarrollo de resistencia.
- Día 2: Para verificar la tendencia observada en la resistencia inicial y su progresión.
- Día 28: Para analizar si las propiedades mecánicas alcanzan los valores esperados según las especificaciones técnicas y estándares de la industria.

La selección de estos tiempos se basa en la literatura técnica. Según Neville (2012), la resistencia a compresión del hormigón se desarrolla rápidamente en los primeros días debido a que el cemento en esta etapa tiene una hidratación primordial, mientras que a los 28 días se considera que ha alcanzado su resistencia óptima. En base a estos tiempos se espera llegar a una conclusión que nos permita considerar el uso homogeneizador de alta velocidad en la fabricación de hormigón. Además, Menéndez, Bonavetti et al. (2008) enfatiza la importancia de evaluar la resistencia temprana sobre todo para aquellas aplicaciones que requieran una construcción acelerada. Adicionalmente se destaca que el uso del homogeneizador probablemente influya en la resistencia temprana, por lo que el ensayo a compresión se realizará los 2 primeros días. En este sentido, la selección de los días 1,2 y 28 escogidos para el ensayo a compresión responde a una estrategia bien fundamentada, ya que permite analizar el desarrollo de la resistencia temprana del hormigón y su evolución a largo plazo, asegurando una evaluación integral del comportamiento mecánico del hormigón.

1.5 Justificación del diseño experimental

Como se mencionó anteriormente, el uso de un homogeneizador de alta velocidad garantiza una mezcla más uniforme al acelerar y dispersar las partículas del fluido en el que se trabaja. Además, el intervenir en las partículas de los componentes del hormigón y lograr una mezcla más homogénea podría mejorar la calidad del material ya que reduciría la variabilidad en su resistencia y permitiría facilitar la reducción de contenido de cemento (Zambrano et al., 2021).

Es así que, al definir diferentes tipos de mezclas y tiempos de evaluación, este estudio ofrecerá un análisis integral sobre las ventajas técnicas y ambientales del uso de esta tecnología, contribuyendo de esta manera al desarrollo de soluciones innovadoras en la industria de la construcción.

2. Capítulo 2

En este capítulo, se detallará el proceso utilizado para la elaboración de las muestras de hormigón en el marco de esta investigación. La correcta preparación y dosificación de los materiales es crucial para garantizar la calidad de las muestras y la validez de los resultados obtenidos. A lo largo de este capítulo, se describirán los materiales empleados y las dosis exactas utilizadas en cada mezcla. Además, se explicarán los métodos de preparación, mezcla y curado que se siguieron para garantizar que las condiciones de laboratorio fueran controladas y reproducibles.

La metodología empleada en la fabricación de las muestras se basa en estándares técnicos reconocidos y adaptados a las necesidades de este estudio. A través de la implementación de procedimientos rigurosos, se busca asegurar la representatividad y precisión de las muestras en términos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Este capítulo incluirá una descripción detallada del equipo utilizado, el proceso de mezcla, las pruebas realizadas a las muestras y el tiempo de curado, permitiendo así una comprensión completa del enfoque experimental que se siguió para evaluar el rendimiento de las muestras de hormigón bajo las condiciones estudiadas.

La fabricación de hormigón es un proceso que requiere un diseño preciso y exacto de mezcla para poder garantizar que todas las propiedades mecánicas del material cumplan con los requerimientos estructurales. En este capítulo se describe la metodología utilizada para la preparación de las muestras, detallando la dosificación de los materiales, el uso del homogeneizador de alta velocidad, y en análisis comparativo respecto a la elaboración de hormigón con el método convencional.

El hormigón está compuesto por cemento, agua, agregados como grava y arena y en algunos casos también se implementa el uso de aditivos. La resistencia final del material no solo depende del tipo de cemento utilizado para la mezcla, sino de la relación agua/cemento (A/C) y la distribución correcta de todos los componentes (Mehta & Monteiro, 2006). Según el (American Concrete Institute, 1991), la proporción de los materiales se debe ajustar de manera precisa para lograr la resistencia deseada, tomando en cuenta los diferentes factores como la granulometría de los agregados y el contenido de agua.

2.1 Proceso de la fabricación de las muestras

En esta sección, se detallará de manera visual y descriptiva el proceso de elaboración de las muestras de hormigón utilizadas en el experimento, usando las dosificaciones previamente explicadas en el Capítulo 1 para cada tipo de experimento. A través de una serie de imágenes, se ilustrarán cada una de las etapas, desde la preparación de los materiales hasta la mezcla y el moldeado de los cilindros. Las imágenes proporcionarán una representación clara de las prácticas realizadas en el laboratorio, permitiendo una mejor comprensión de los procedimientos seguidos y las condiciones en las que se llevó a cabo la elaboración de las muestras.

Además, se explicarán los procedimientos técnicos asociados a cada paso, destacando las herramientas utilizadas, las dosificaciones empleadas y las precauciones tomadas para asegurar la calidad y consistencia de las muestras. Este enfoque visual y detallado permitirá al lector apreciar la metodología empleada y la rigurosidad con la que se realizó el proceso experimental.

Es importante destacar que, a medida que se avanzó con los experimentos, se vio la necesidad de ajustar la cantidad de agua en función al uso del aditivo. En la mezcla sin aditivo, fue necesario incrementar la cantidad de agua en comparación con la mezcla con aditivo. Esto debido a que la presencia del aditivo mejora la trabajabilidad del concreto y permite utilizar una menor cantidad de agua sin comprometer la consistencia de la mezcla, contribuyendo a un equilibrio adecuado entre fluidez y resistencia.

En todas las mezclas elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad se trabajó a una velocidad constante de 20.000 revoluciones por minuto (rpm), que correspondía al valor máximo permitido por el equipo utilizado. Esta velocidad se mantuvo de forma uniforme durante cada uno de los intervalos del proceso de mezclado, con el fin de asegurar condiciones homogéneas y comparables entre todas las muestras analizadas.

A continuación, se detallan los pasos que se siguieron para elaborar las muestras:

2.1.1 Muestras elaboradas en base al método tradicional de fabricación de hormigón

Figura 2. Paso 1: Peso de los materiales hormigón tradicional



Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 2. Paso 1: Peso de los materiales hormigón tradicional muestra el proceso que se siguió para pesar los materiales utilizados en la mezcla, incluyendo el cemento, la arena, la grava y la medición del agua y aditivo, asegurando una proporción correcta de los componentes.

Figura 3. Paso 2: Mezcla de componentes



Fuente: Elaboración propia (2025).

Como se muestra en la Figura 3. Paso 2: Mezcla de componentes, se realizó la mezcla directa y de todos los componentes en la concretora aproximadamente 5 minutos. Esto se realizó tanto con el aditivo y sin el aditivo, tal y como se especificó en la Tabla 2.

Figura 4. Paso 3: Colocación en cilindros.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Se colocó la mezcla en los 12 cilindros usados para este método como se muestra en la Figura 4. Paso 3: Colocación en cilindros.. Para garantizar una compactación adecuada, se dieron 25 golpes a cada cilindro con el uso de una varilla lisa de 5/8 de pulgada y se los colocó en un lugar seguro, alejadas del contacto con el agua.

2.1.2 Muestras elaboradas usando el homogeneizador de alta velocidad

Figura 5. Paso 1: Peso de los componentes - Homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Figura 5. Paso 1: Peso de los componentes - Homogeneizador se muestra cómo se pesaron los materiales necesarios para el experimento, tal como se realizó en el homogeneizador convencional.

Figura 6. Paso 2: Mezcla de componentes - Homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Figura 6. Paso 2: Mezcla de componentes - Homogeneizador se muestra la colocación de la arena, la grava y la mitad de la cantidad de agua que se dosificó, puesto que la otra mitad se la utilizará para la mezcla del cemento con el hormigón.

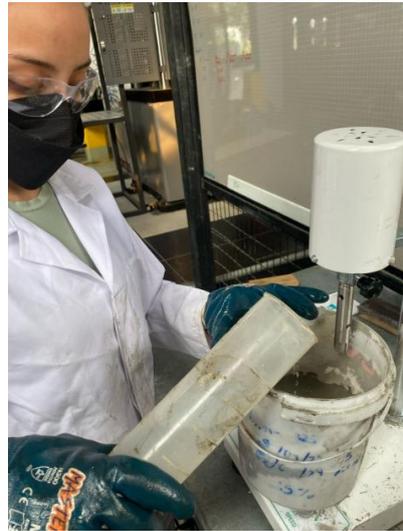
Figura 7. Paso 3: Uso del homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 7. Paso 3: Uso del homogeneizador muestra la mezcla del cemento con el agua. La dosis total de cemento se dividió en cuatro partes iguales. Un cuarto ($\frac{1}{4}$) de la dosis se colocó directamente en la hormigonera, mientras que las tres cuartas partes ($\frac{3}{4}$) restantes se mezclaron con el agua restante en un recipiente aparte. Inicialmente, se realizó una mezcla manual del cemento y el agua con una espátula, para asegurar una distribución uniforme. Posterior a esto, se utilizó el homogeneizador de alta velocidad para mezclar la pasta durante 3 minutos, agregando cada fragmento de la mezcla de cemento y agua de manera progresiva.

Figura 8. Incorporación de aditivo Experimento No.1



Fuente: Elaboración propia (2025).

Para el Experimento No. 1, que se realizó con aditivo, el proceso de mezcla siguió el mismo procedimiento que en el experimento anterior. El aditivo se incorporó de manera progresiva, dividiéndolo en partes iguales y añadiéndolo a los fragmentos de la mezcla de cemento y agua en los recipientes. Posteriormente, se utilizó el homogeneizador de alta velocidad para asegurar una distribución uniforme del aditivo en la mezcla, como se muestra en la Figura 8. Incorporación de aditivo Experimento No.1.

Figura 9. Paso 4: Colocación en cilindros - homogeneizador



Fuente: Elaboración propia (2025).

La mezcla obtenida se colocó en los 12 cilindros, como se observa en la Figura 9. Paso 4: Colocación en cilindros - homogeneizador. Para asegurar una correcta compactación, se aplicaron 25 golpes sobre cada cilindro utilizando una varilla lisa de 5/8 de pulgada, lo que permitió eliminar posibles burbujas de aire y garantizar la uniformidad de la mezcla en el molde. Este proceso fue realizado con cuidado para asegurar que el concreto estuviera bien distribuido y compactado dentro de cada cilindro antes de proceder al curado.

2.2 Proceso de la rotura de los cilindros

Como se mencionó anteriormente, la evaluación de cada cilindro se llevó a cabo en los días 1, 2 y 28 de curado. Dado que las muestras fueron elaboradas el 10 de marzo de 2025, las pruebas de rotura se realizaron el 11 de marzo, el 12 de marzo y el 7 de abril de 2025. Estas evaluaciones se realizaron utilizando una máquina de compresión certificada en las instalaciones de la Universidad del Azuay, lo que garantizó la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas de resistencia.

Figura 10. Resistencia a compresión de cilindros



Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 11. Rotura de cilindros



Fuente: Elaboración propia (2025).

La Figura 10. Resistencia a compresión de cilindros y la Figura 11. Rotura de cilindros, muestra el proceso de rotura de los cilindros, en donde se coloca uno por uno con mucho cuidado en la máquina, asegurándose que esté alineado y que la carga se aplique de manera uniforme sobre la superficie superior del cilindro. Una vez que se encuentre posicionado, la máquina aplica una carga progresiva sobre el cilindro que se incrementa de manera controlada hasta que se fracture el mismo. Durante todo este proceso, la máquina automáticamente mide el esfuerzo máximo antes de la fractura. Este valor se utiliza para conocer la resistencia a la compresión del hormigón, expresado en kg/cm^2 y en Megapascuales (Mpa/mm).

2.3 Resultados

Una vez finalizadas las 24 muestras, podemos sacar varias conclusiones con respecto al hormigón realizado por el método convencional y el hormigón realizado con el uso del homogeneizador de alta velocidad. Los resultados obtenidos se encuentran adjuntos en el apartado de anexos. Sin embargo, la Tabla 4. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 1, la Tabla 5. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 2 y la Tabla 6 muestran un resumen de los resultados del día 28 respectivamente.

2.3.1 Resultados día 1

El 11 de marzo de 2025, primer día de evaluación, se llevaron a cabo las pruebas de rotura de los cilindros. En total, se rompieron 8 cilindros: 4 elaborados con el homogeneizador de alta velocidad y 4 con el método convencional. De estos, para cada método 2 cilindros correspondieron al Experimento No. 1, que utilizó aditivo, mientras que los otros 2 cilindros fueron parte del Experimento No. 2, sin aditivo. Se decidieron realizar dos pruebas para cada grupo, con el fin de prever cualquier inconveniente que pudiera surgir durante el proceso de rotura, asegurando así la fiabilidad de los resultados y la validez de las mediciones obtenidas. Este enfoque garantizó que, en caso de algún error o fallo, se pudiera contar con una muestra adicional para obtener datos consistentes.

Tabla 4. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 1

Tipo	Aditivo	Edad días	Resistencia kg/cm²	Resistencia Mpa./mm
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	1	141	13,82
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	1	137	13,45
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	1	84	8,27
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	1	86	8,45
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	1	74	7,30
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	1	76	7,49
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	1	90	8,81
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	1	111	10,91

Fuente: Elaboración propia (2025).

A continuación, se realizará un análisis de las muestras obtenidas en los experimentos. En primer lugar, se muestra la Tabla 4. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 1, con los resultados del primer día de rotura. En relación con el Experimento No. 1, las muestras elaboradas con el método convencional presentaron resistencias de 141 kg/cm² y 137 kg/cm², mientras que las elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad mostraron resistencias de 74 kg/cm² y 76 kg/cm². En cuanto al Experimento No. 2, las muestras elaboradas con el método convencional tuvieron resistencias de 84 kg/cm² y 86 kg/cm², mientras que las obtenidas con el homogeneizador de alta velocidad alcanzaron resistencias de 90 kg/cm² y 111 kg/cm², resultados que se encuentran visibles en la Tabla 4. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 1.

En el Experimento No. 1, donde si se utilizó aditivo, las muestras elaboradas con el método convencional presentaron resistencias significativamente más altas en comparación con las realizadas con el homogeneizador de alta velocidad. Las muestras del método convencional alcanzaron resistencias de 141 kg/cm² y 137 kg/cm², mientras que las del homogeneizador mostraron resistencias de 74 kg/cm² y 76 kg/cm². Esto indica que, en presencia de aditivo, el método convencional resultó ser más eficiente en términos de resistencia a la compresión en el primer día de curado, superando ampliamente las muestras obtenidas con el homogeneizador. Por otro lado, en el Experimento No. 2, donde no se utilizó aditivo, los resultados fueron diferentes. En este caso, las muestras elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad presentaron resistencias superiores a las obtenidas con el método convencional. Las muestras con homogeneizador alcanzaron resistencias de 90 kg/cm² y 111 kg/cm², mientras que las del método convencional llegaron a 84 kg/cm² y 86 kg/cm². Esto sugiere que el uso del homogeneizador, sin el uso del aditivo, mejoró la resistencia del concreto en comparación con el método convencional.

2.3.2 Resultados día 2

Los resultados se muestran en la Tabla 5. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 2, en la cual se especifica cada una de las mezclas, tanto la convencional como la que se realizó con el homogeneizador, posterior a esto, las que se realizó con aditivo y sin aditivo, tomando en cuenta que se realizaron 2 cilindros para cada mezcla para poder tener resultados exactos para el análisis.

Tabla 5. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 2

Tipo	Aditivo	Edad días	Resistencia kg/cm²	Resistencia Mpa./mm
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	2	221	21,71
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	2	117	11,43
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	2	146	14,31
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	2	99	9,69
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	2	163	15,98
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	2	163	16,00
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	2	186	18,25
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	2	184	18,02

Fuente: Elaboración propia (2025).

De manera similar, se llevará a cabo un análisis de la resistencia en kg/cm² de las muestras obtenidas en los experimentos el 12 de marzo de 2025, como se muestra en la Tabla 5. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 2. En el Experimento No. 1, las muestras elaboradas con el método convencional presentaron resistencias de 221 kg/cm² y 117 kg/cm², mientras que las elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad mostraron resistencias de 163 kg/cm² en ambas muestras. En el Experimento No. 2, debido a una falla impredecible durante la rotura de una de las muestras con la máquina, solo se pudo obtener una muestra del método convencional, la cual presentó una resistencia de 146 kg/cm². Por otro lado, las muestras obtenidas con el homogeneizador de alta velocidad alcanzaron resistencias de 186 kg/cm² y 184 kg/cm².

Los resultados obtenidos en el Experimento No. 1, que se realizó con aditivo, muestran que las muestras elaboradas con el método convencional presentaron una resistencia significativamente mayor en comparación con las elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad. Las muestras del método convencional alcanzaron resistencias de 221 kg/cm² y 117 kg/cm², lo que indica un mejor rendimiento en cuanto a resistencia a la compresión en el segundo día de evaluación. En contraste, las muestras elaboradas con el homogeneizador mostraron resistencias de 163 kg/cm² en ambas, lo que sugiere que, en este caso, el método

convencional es más efectivo para obtener una mayor resistencia en las muestras con el uso de aditivo.

Por otro lado, en el Experimento No. 2, en el que no se utilizó el aditivo, los resultados fueron diferentes. Aquí, las muestras elaboradas con el homogeneizador de alta velocidad presentaron resistencias ligeramente superiores en comparación con las obtenidas con el método convencional. Las muestras con homogeneizador alcanzaron resistencias de 186 kg/cm² y 184 kg/cm², mientras que las elaboradas con el método convencional solo llegaron a 146 kg/cm². Esto sugiere que el uso del homogeneizador sin aditivo puede mejorar ligeramente la resistencia del concreto en comparación con el método convencional, lo que resalta la efectividad de esta tecnología en la mezcla de concreto sin aditivos.

En los siguientes párrafos se brindarán más detalles acerca de los hallazgos encontrados, realizando una comparación con los resultados más destacables.

2.3.3 Resultados día 28

Los resultados se muestran en la Tabla 6, en la cual se especifica cada una de las mezclas, tanto la convencional como la que se realizó con el homogeneizador. Posteriormente, se detallan las mezclas con aditivo y sin aditivo, tomando en cuenta que se realizaron 2 cilindros para cada mezcla con el fin de obtener resultados precisos para el análisis del día 28. Cabe mencionar que, en el caso del día 1, una de las muestras correspondientes al método convencional con aditivo no se está considerando debido a una irregularidad en la forma del cilindro, lo cual refuerza la importancia de haber preparado dos especímenes por mezcla.

Tabla 6. Tabla descriptiva sobre los resultados obtenidos el Día 28

Tipo	Aditivo	Edad días	Resistencia kg/cm²	Resistencia Mpa./mm
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	28	363	35,60
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	28	366	35,90
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	28	377	36,96
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	28	381	37,34
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	28	346	33,96

HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	28	405	39,68
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	28	399	39,17

Fuente: Elaboración propia (2025).

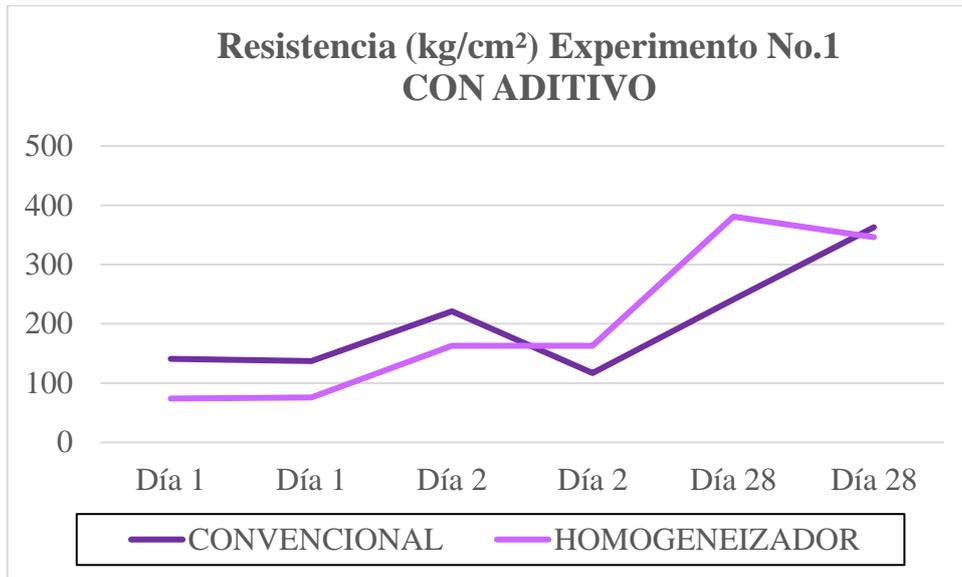
Como se muestra en la Tabla 6, respecto al experimento No. 1 realizado con aditivo, el método convencional arrojó una resistencia a la compresión de 363 kg/cm². Tal como se explicó previamente, este valor corresponde únicamente a uno de los dos cilindros elaborados, ya que el cilindro No. 1 presentó una falla estructural relacionada con una irregularidad en su forma, lo cual impidió obtener una medición confiable. Esta situación confirma la importancia de preparar al menos dos muestras por mezcla, con el fin de contar con resultados válidos incluso en caso de imprevistos. Por otro lado, las mezclas procesadas con el método del homogeneizador alcanzaron resistencias de 381 kg/cm² y 346 kg/cm² respectivamente, lo cual permite realizar una comparación directa con el método convencional.

En cuanto al experimento No. 2, que fue realizado sin aditivo, los resultados para el método convencional fueron de 366 kg/cm² y 377 kg/cm². Estos valores muestran una leve mejora respecto al resultado del experimento con aditivo en el mismo método, aunque dentro de un rango similar. En contraste, el método que utilizó el homogeneizador alcanzó resistencias de 405 kg/cm² y 399 kg/cm², superando de manera notable a los resultados obtenidos con el método convencional en ambas condiciones, tanto con y sin aditivo.

Al comparar ambos métodos, se observa que el uso del homogeneizador presenta una tendencia clara a mejorar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, independientemente del uso de aditivos. Incluso en el experimento No. 1, donde uno de los cilindros tuvo una resistencia menor (346 kg/cm²), el promedio de los dos cilindros (363.5 kg/cm²) sigue siendo superior al valor obtenido por el único cilindro válido del método convencional (363 kg/cm²). Esto sugiere que el proceso de homogeneización contribuye a una mejor integración de los materiales y posiblemente a una distribución más uniforme de los componentes, lo que se traduce en una estructura interna más resistente.

Finalmente, los resultados del experimento No. 2 refuerzan esta conclusión, ya que ambas muestras tratadas con homogeneizador se ubicaron alrededor de los 400 kg/cm², mientras que las convencionales se mantuvieron por debajo de esa marca. Este comportamiento constante sugiere que el uso del homogeneizador puede representar una mejora significativa en términos de resistencia mecánica, haciendo de esta técnica una alternativa viable y eficiente para optimizar mezclas de concreto en etapas tempranas de diseño y evaluación.

Figura 12 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional y Hormigón con Homogeneizador con Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28



Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 13 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28



Fuente: Elaboración propia (2025)

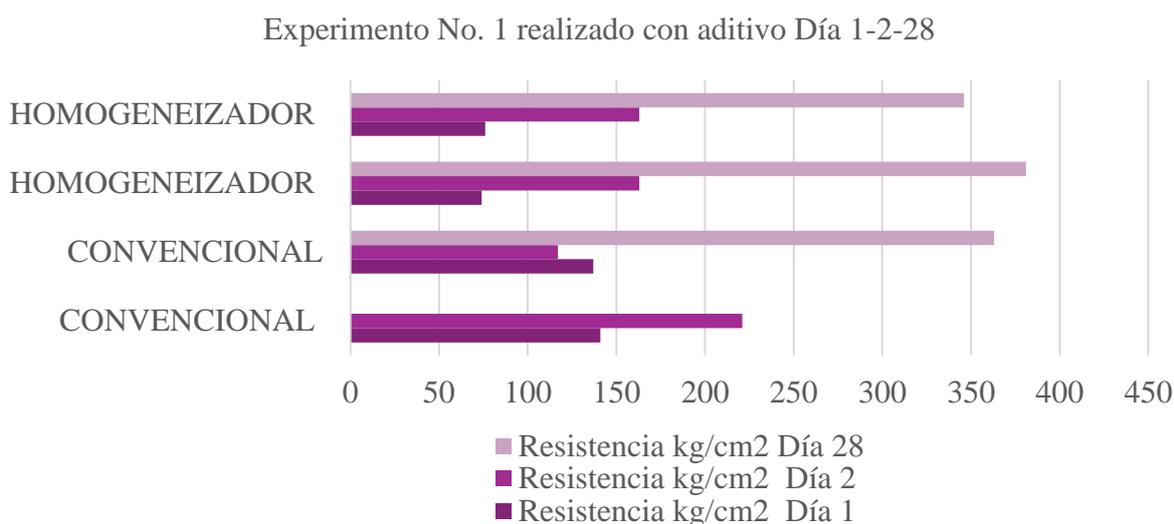
2.3.4 Resultado Hormigón Convencional + Aditivo vs Homogeneizador + Aditivo

Tabla 7. Tabla comparativa de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador + Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28

Tipo	Aditivo	Resistencia kg/cm ²		
		Día 1	Día 2	Día 28
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	141	221	241
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	137	117	363
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	74	163	381
HOMOGENEIZADOR	SI ADITIVO	76	163	346

Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 14. Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador + Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Tabla 7. Tabla comparativa de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador + Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 27 se demuestra que el homogeneizador + aditivo es contraproducente y no tiene una resistencia ideal.

2.3.5 Prueba Hormigón Convencional sin Aditivo vs Homogeneizador sin Aditivo

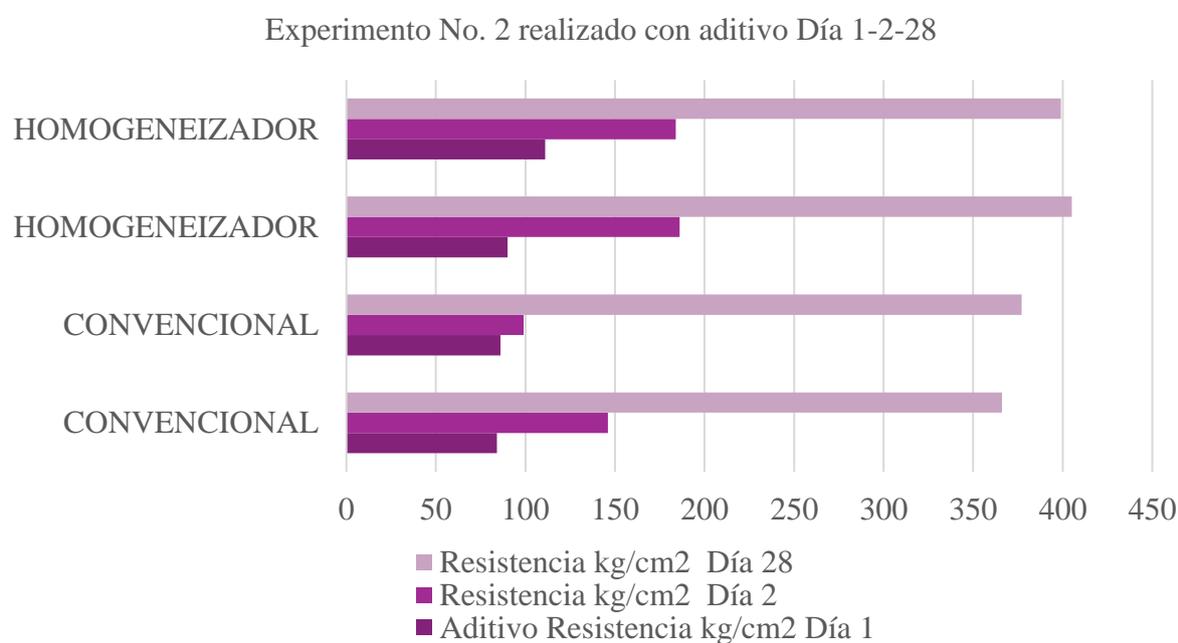
La Figura 15. Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional sin Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 demuestra que el uso del homogeneizador sin aditivo es mucho más resistente que el hormigón convencional sin aditivo.

Tabla 8. Tabla comparativa de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional sin Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28

Tipo	Aditivo	Resistencia kg/cm ²		
		Día 1	Día 2	Día 28
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	84	146	366
CONVENCIONAL	NO ADITIVO	86	99	377
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	90	186	405
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	111	184	399

Fuente: Elaboración propia (2025).

Figura 15. Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional sin Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28



Fuente: Elaboración propia (2025).

2.3.6 Prueba Hormigón Convencional + Aditivo vs Homogeneizador sin Aditivo

La resistencia del convencional con aditivo es mayor al homogeneizador sin aditivo. Sin embargo, existe una prueba de hormigón convencional con aditivo que no superó la resistencia de 11 Mpa. /mm a diferencia del hormigón con homogeneizador sin aditivo que mantuvo un promedio de 18 Mpa. /mm. Debido a esta variación alta en las pruebas de hormigón convencional con aditivo, es posible que exista un error en el laboratorio. Es por esto que posterior a esto, se analizó la prueba del día 28 para confirmar cuál es la resistencia más alta.

Tabla 6. Tabla comparativa de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28

Tipo	Aditivo	Resistencia kg/cm ²		
		Día 1	Día 2	Día 28
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	141	221	241
CONVENCIONAL	SI ADITIVO	137	117	363
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	90	186	405
HOMOGENEIZADOR	NO ADITIVO	111	184	399

Fuente: Elaboración propia, (2025).

Figura 16 Gráfico comparativo de la resistencia en kg/cm² entre Hormigón Convencional + Aditivo y Hormigón con Homogeneizador sin Aditivo en las pruebas del Día 1, Día 2 y Día 28



Fuente: Elaboración propia, (2025).

Como se puede observar en la Figura 14, al día 28 el método convencional aplicado en el experimento No. 1, el cual incluía aditivo, arrojó resistencias de 241 kg/cm² y 363 kg/cm². Sin embargo, el cilindro que presentó la resistencia de 241 kg/cm² fue descartado, debido a que mostró fallas visibles al momento de la rotura, lo que compromete la validez de dicho resultado. Por esta razón, únicamente se consideró el valor de 363 kg/cm² para el análisis.

En contraste, los cilindros correspondientes al experimento No. 2, realizados con el método del homogeneizador y sin aditivo, alcanzaron resistencias de 405 kg/cm² y 399 kg/cm² al mismo

día 28. Estos valores superan ampliamente al resultado obtenido por el método convencional incluso cuando este fue complementado con aditivo.

Este comportamiento resalta la eficacia del proceso de homogeneización como una técnica capaz de mejorar significativamente la resistencia del concreto, sin necesidad de recurrir a aditivos adicionales. La mejora sostenida en los valores de resistencia sugiere que el homogeneizador permite una mezcla más uniforme y una mejor integración de los materiales, lo cual podría generar una estructura interna más densa y resistente.

En consecuencia, los resultados obtenidos refuerzan la hipótesis de que el uso del homogeneizador no solo mejora el desempeño mecánico del concreto, sino que también podría reducir la dependencia de aditivos químicos, optimizando tanto la calidad como el costo del proceso constructivo.

2.3.7 Impacto de la reducción del cemento en la resistencia

La incorporación del homogeneizador de alta velocidad durante la etapa de mezcla ha mostrado mejoras significativas en la resistencia inicial del hormigón, especialmente en las primeras 24 y 48 horas, promoviendo una hidratación más eficiente del cemento. Este fenómeno se debe a una dispersión más eficiente del cemento en la mezcla, lo que permite una hidratación más uniforme y completa desde las primeras etapas. Como resultado, se obtiene un hormigón con una matriz más densa y una ganancia de resistencia más acelerada, en comparación con métodos de mezclado convencionales.

Este incremento en la resistencia temprana representa una ventaja significativa en aplicaciones donde el tiempo es un factor crítico. En la prefabricación, por ejemplo, una mayor resistencia a las pocas horas de colado permite un desencofrado más rápido, lo cual optimiza el ciclo de producción y permite reutilizar moldes con mayor frecuencia. En obras de infraestructura vial, una mayor resistencia inicial permite habilitar el tránsito en menos tiempo, reduciendo los tiempos de interrupción y los costos indirectos asociados.

La mejora en la eficiencia del proceso de hidratación tiene un impacto directo en la dosificación de materiales, particularmente del cemento. Lograr buenos niveles de resistencia con menos cemento permite plantear una dosificación más eficiente del mismo, sin afectar negativamente las propiedades mecánicas del hormigón. Esta disminución en la dosificación de cemento no solo representa un ahorro económico en los costos de producción, sino que también tiene

implicancias ambientales relevantes, considerando que la fabricación de cemento es uno de los procesos industriales con mayores emisiones de CO₂.

En este contexto, el homogeneizador de alta velocidad no solo contribuye al rendimiento mecánico del hormigón en sus primeras edades, sino que también se perfila como una herramienta eficaz para avanzar hacia una construcción más sostenible. Al permitir reducir el consumo de cemento sin afectar negativamente la calidad del material, se abren nuevas posibilidades para desarrollar hormigones más eficientes, económicos y con menor huella de carbono.

3. Capítulo 3

En el último capítulo de esta tesis, se llevará a cabo un análisis detallado de las ventajas y limitaciones del uso del homogeneizador de alta velocidad, basándose en los resultados obtenidos del análisis de las roturas de las 24 muestras de hormigón. Este análisis busca identificar los efectos de la utilización de este equipo en la mezcla de concreto, comparando las muestras elaboradas con y sin aditivo, así como las diferencias entre el método convencional y el método con homogeneizador. A través de este estudio, se pretende evaluar si la implementación de la tecnología de alta velocidad ofrece mejoras significativas en las propiedades del concreto, tales como su resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Además, se discutirá cómo el uso del homogeneizador de alta velocidad podría tener ciertas limitaciones en cuanto a costos, tiempos de mezcla y posible variabilidad en los resultados, en comparación con las técnicas tradicionales. Este capítulo proporcionará una visión crítica sobre la efectividad del homogeneizador en la producción de concreto de alta calidad, a partir de la interpretación de los datos obtenidos en los ensayos de compresión y las observaciones realizadas durante el proceso experimental. A través de este análisis, se espera ofrecer una evaluación equilibrada que permita comprender mejor el potencial de esta tecnología en la industria de la construcción.

3.1.1 Evaluación del uso del homogeneizador de alta velocidad dentro de la industria de la Construcción

Como se pudo observar en los resultados previamente expuestos en el Capítulo 2, el uso del homogeneizador de alta velocidad en la etapa de mezclado del cemento con el agua permitió alcanzar valores de resistencia significativamente mayores en comparación con el método convencional. Esta mejora fue evidente tanto en las mezclas realizadas con aditivo como en

aquellas sin aditivo. Resulta especialmente llamativo que, incluso en ausencia de aditivos, las resistencias obtenidas mediante el método con homogeneizador superaron las del método convencional con aditivo, lo cual abre una línea de análisis muy interesante sobre la eficiencia y el potencial de esta tecnología dentro de la industria de la construcción.

Estos hallazgos permiten plantear la posibilidad de reducir, o incluso prescindir, del uso de aditivos químicos en ciertas aplicaciones, al incorporar una tecnología de homogeneización que mejore la integración entre el cemento y el agua desde el inicio del proceso. Si bien los aditivos han sido tradicionalmente utilizados para mejorar la trabajabilidad, la resistencia, o la durabilidad del concreto, el uso de un homogeneizador de alta velocidad podría ofrecer beneficios similares o superiores, con la ventaja de reducir la dependencia de productos externos que, en algunos contextos, pueden elevar los costos o afectar la sostenibilidad del proceso constructivo.

Es importante mencionar que el experimento desarrollado en esta investigación se llevó a cabo con un homogeneizador de pequeño tamaño, adecuado para la escala de laboratorio. Los especímenes utilizados fueron cilindros de concreto de 20 cm de altura y 10 cm de diámetro, lo cual permitió trabajar con volúmenes reducidos y dividir la mezcla de agua y cemento en partes manejables, como se explicó en el Capítulo 2. Cada lote fue sometido al proceso de homogeneización durante un tiempo de tres minutos, lo cual resultó suficiente para lograr una mezcla uniforme, sin grumos, y con una textura notablemente más fluida y homogénea en comparación con la mezcla convencional.

Es importante señalar que, para poder trasladar esta tecnología al ámbito industrial, sería necesario escalar el equipo utilizado y adaptarlo a las necesidades propias de una obra de gran envergadura. La industria de la construcción trabaja con volúmenes de mezcla que superan ampliamente los de un laboratorio, por lo que se requeriría un homogeneizador de alta velocidad de gran capacidad, capaz de procesar en poco tiempo la cantidad de mezcla requerida para colar elementos estructurales como columnas, losas, muros o cimentaciones.

La implementación de esta tecnología a gran escala requeriría también una evaluación cuidadosa de las condiciones logísticas y operativas de la obra. Por ejemplo, sería necesario analizar el tiempo disponible para el mezclado, el transporte de los materiales, y la compatibilidad del equipo con los procesos tradicionales de obra. Además, se debería

considerar el consumo energético de un homogeneizador industrial y su relación con los beneficios en términos de resistencia, durabilidad y ahorro en aditivos. No obstante, los resultados obtenidos en esta investigación ofrecen un primer indicio muy prometedor sobre su viabilidad.

Desde un enfoque técnico, la homogeneización de la mezcla cemento-agua garantiza una distribución más uniforme de las partículas finas del cemento, favoreciendo una mayor hidratación y reduciendo la formación de porosidades microscópicas o zonas mal integradas dentro de la masa de concreto. Una microestructura interna más densa podría potenciar tanto la resistencia del concreto a la compresión como su desempeño frente a agentes externos como la humedad o los compuestos sulfáticos.

Además, este tipo de tecnología podría tener un impacto positivo en la sostenibilidad de la construcción. Al mejorar la eficiencia del uso del cemento, un material de alto impacto ambiental debido a su proceso de producción, se podría reducir la cantidad requerida para alcanzar una determinada resistencia, o al menos asegurar que el cemento utilizado tenga un aprovechamiento óptimo. Asimismo, la disminución o eliminación del uso de aditivos químicos representaría un avance en la reducción de la huella ecológica del concreto.

Los resultados experimentales obtenidos en esta tesis muestran un alto potencial para la incorporación del homogeneizador de alta velocidad como parte del proceso constructivo, especialmente en etapas de dosificación y mezcla. Si bien es necesario continuar con estudios a mayor escala y evaluar su implementación desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, este trabajo constituye una base sólida para futuras investigaciones que busquen innovar en la forma en que se produce y mejora el concreto en la industria de la construcción.

3.1.2 Ventajas y Limitaciones del Uso del Homogeneizador de alta velocidad

El uso del homogeneizador de alta velocidad en el proceso de preparación del concreto representa una innovación técnica que ofrece beneficios relevantes en términos de resistencia mecánica, eficiencia de mezcla y posible reducción del uso de aditivos químicos. Sin embargo, como toda tecnología, también presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas al momento de evaluar su aplicación a nivel industrial.

Entre las principales ventajas, se destaca la capacidad del homogeneizador para generar mezclas con resistencias a la compresión significativamente mayores en comparación con los métodos convencionales. Esta mejora se ha evidenciado incluso en mezclas que no han

requerido el uso de aditivos, lo que sugiere que el proceso de homogeneización es capaz de optimizar el comportamiento mecánico del concreto por sí mismo. Esta característica no solo implica un mejor desempeño estructural, sino también una potencial reducción de costos asociados al empleo de productos químicos adicionales.

Otro beneficio importante es la mejor integración entre los componentes de la mezcla, especialmente entre el cemento y el agua. La alta velocidad de rotación del homogeneizador promueve una dispersión más uniforme de las partículas finas, favoreciendo una hidratación más completa y homogénea. Esto se traduce en una microestructura interna más compacta, con menor presencia de zonas mal integradas o porosidades, lo que impacta positivamente tanto en la resistencia como en la durabilidad del concreto.

No obstante, el uso de esta tecnología también presenta algunas limitaciones prácticas. En primer lugar, el tamaño del homogeneizador representa un desafío para su aplicación en obras de gran escala. Los equipos disponibles actualmente suelen estar diseñados para trabajos de laboratorio o producción en pequeña escala, por lo que adaptar esta tecnología a contextos industriales requeriría el desarrollo de máquinas de mayor capacidad, resistentes y compatibles con los ritmos de producción de la construcción tradicional.

Adicionalmente, el hecho de que la mezcla de cemento y agua no se realice en una sola etapa completa, sino que se divida en partes, como se hizo en este experimento, puede generar riesgos de fragmentación o de que ciertos volúmenes de mezcla no pasen por el proceso de homogeneización. Esto podría provocar resultados inconsistentes si no se garantiza un control riguroso del procedimiento en campo.

Es importante señalar que el uso del homogeneizador implica un mayor tiempo de mezcla, en comparación con los métodos tradicionales. Aunque este tiempo adicional puede estar plenamente justificado por la mejora en las propiedades del concreto, representa una variable logística que debe considerarse dentro del cronograma de obra y la planificación de recursos. En conjunto, el homogeneizador de alta velocidad ofrece ventajas técnicas prometedoras que pueden elevar la calidad del concreto, reducir costos en aditivos y mejorar la durabilidad de las estructuras. No obstante, su implementación a gran escala requiere superar ciertas barreras

operativas y logísticas que deberán ser abordadas en investigaciones futuras o desarrollos tecnológicos especializados.

Se recomienda que, para futuros estudios, se evalúe la influencia de la secuencia de incorporación del aditivo en la mezcla, ya que esta variable podría afectar significativamente el desarrollo de la resistencia del hormigón. Asimismo, sería conveniente emplear un homogeneizador con mayor capacidad, que permita procesar volúmenes más grandes, ya que en este estudio el tiempo total requerido para homogenizar el agua y el cemento fue elevado (aproximadamente 15 minutos en la concreteira), lo cual podría haber influido en los resultados de resistencia.

Finalmente, se sugiere considerar el uso de tecnologías como la sonicación mediante ultrasonido, debido a que estudios previos han indicado que este método, al trabajar con frecuencias más altas, puede favorecer la aceleración de los procesos de hidratación y, por tanto, contribuir al desarrollo de una mayor resistencia temprana

3.1.3 Uso del homogeneizador de alta velocidad en la fabricación de elementos prefabricados

La industria de los elementos prefabricados requiere procesos altamente eficientes, donde uno de los factores clave es el tiempo que transcurre entre el colado del hormigón y el desencofrado de las piezas. Para mantener una producción continua y rentable, es fundamental alcanzar resistencias tempranas elevadas que permitan retirar los moldes con rapidez y reutilizarlos en ciclos sucesivos sin comprometer la integridad de las piezas.

En este contexto, el uso del homogeneizador de alta velocidad durante la etapa de mezclado del hormigón representa una ventaja significativa. Al mejorar la dispersión del cemento y favorecer una hidratación más homogénea desde los primeros minutos, se logra un desarrollo acelerado de la resistencia en las primeras 24 a 48 horas. Esto permite reducir significativamente el tiempo necesario para el desencofrado, optimizando los tiempos de producción y aumentando la rotación de moldes.

Además, esta tecnología permite alcanzar estos niveles de resistencia sin necesidad de incrementar la dosificación de cemento, lo que no solo reduce los costos de material, sino que también contribuye a una producción más sustentable. Por lo tanto, el homogeneizador se presenta como una herramienta valiosa para mejorar tanto la eficiencia productiva como el desempeño técnico del hormigón prefabricado.

4. Discusión de Resultados

La presente investigación evaluó el efecto del uso de un homogeneizador de alta velocidad sobre la resistencia temprana del hormigón. Los resultados obtenidos fueron contrastados con estudios previos, como el de (Remus, 2022), quien demostró que la aplicación de tecnologías que actúan sobre la mezcla, como el ultrasonido, puede mejorar significativamente la resistencia a edades tempranas. Sin embargo, en el presente estudio, se observó que la respuesta del hormigón al uso del homogeneizador depende directamente del uso o no de aditivos, lo que genera un comportamiento no lineal en términos de mejora mecánica.

Durante el día 1 y día 2 de evaluación, las muestras elaboradas con homogeneizador sin aditivo presentaron resistencias superiores respecto a las del método convencional sin aditivo, lo que sugiere que el homogeneizador promueve una mejor integración de los materiales, lo cual coincide con lo planteado por (Zambrano, Alva, Ruiz, & Méndez, 2021) respecto a la mejora en la homogeneidad de la mezcla y la reducción de vacíos.

No obstante, al incluir aditivo en la mezcla, el comportamiento cambió: las muestras con homogeneizador y aditivo presentaron resistencias significativamente más bajas que las elaboradas con el método convencional con aditivo, tanto en el día 1 como en el día 2. Este hallazgo resulta contradictorio con lo planteado por (Palacios, M., Puertas, F., & Alonso, M, 2005), quienes destacan la sinergia entre los polycarboxilatos y una mezcla bien integrada. Se hipotetiza que el exceso de acción mecánica sobre un aditivo hiperplastificante puede alterar su comportamiento y disminuir su efectividad.

En el día 28, sin embargo, las muestras tratadas con homogeneizador alcanzaron las resistencias más altas, tanto con aditivo como sin aditivo. De hecho, las muestras sin aditivo y con homogeneizador fueron las que mayor resistencia presentaron, superando incluso a las que usaron aditivo. Esto sugiere que, a largo plazo, el uso del homogeneizador puede sustituir parcialmente el efecto de los aditivos en cuanto a resistencia, lo cual tiene implicaciones económicas y ambientales positivas al reducir la necesidad de productos químicos en el hormigón.

El análisis conjunto de los datos revela que, si bien el homogeneizador no mejora de forma consistente la resistencia temprana cuando se combina con aditivos, su uso sin aditivo representa una alternativa viable para obtener resultados competitivos en términos de resistencia, especialmente en obras donde la eliminación de aditivos puede ser deseable. Esta

conclusión es consistente con la hipótesis inicial del estudio y se alinea con las tendencias actuales de búsqueda de mezclas más sostenibles.

5. Recomendaciones para una futura investigación

- Incrementar el tamaño de la muestra: Se sugiere realizar ensayos con una mayor cantidad de cilindros por grupo, para obtener datos estadísticamente más robustos y minimizar el margen de error.
- Evaluar diferentes tipos de aditivos: Especialmente aquellos con menor sensibilidad a la acción mecánica intensa, para comparar su comportamiento frente a los policarboxilatos.
- Variar el tiempo de homogeneización: Realizar pruebas con diferentes duraciones de mezclado (por ejemplo, 1 min, 3 min, 5 min) para determinar el tiempo óptimo que maximiza la resistencia sin afectar negativamente la mezcla.
- Aplicar la tecnología en diferentes tipos de cemento: Investigar si el efecto del homogeneizador se mantiene en cementos con adiciones como puzolanas, escorias o cenizas volantes.
- Simular condiciones reales de obra: Replicar la aplicación del homogeneizador en campo con mayor volumen y con cronogramas reales de vaciado y desencofrado, para validar la viabilidad técnica y logística de su implementación.
- Análisis económico-ambiental comparativo: Se recomienda realizar una evaluación completa de costos y huella de carbono al comparar el uso de homogeneizador frente al uso de aditivos químicos, considerando el ciclo completo de producción del hormigón.
- Probar con prefabricados estructurales reales: Como vigas o placas, con la finalidad de evaluar el comportamiento del material ya curado y sometido a cargas típicas de servicio.
- Estudiar mezclas con agregados reciclados o alternativos: Explorar si el homogeneizador podría compensar algunas deficiencias típicas de estos agregados en cuanto a adherencia o porosidad.

6. Conclusiones

El presente estudio permitió evaluar el impacto del uso de un homogeneizador de alta velocidad durante la fabricación del hormigón, con énfasis en su influencia sobre la resistencia temprana del material. Los resultados obtenidos evidencian que esta tecnología tiene un efecto positivo en la resistencia a compresión, particularmente a los 28 días, donde las muestras tratadas con homogeneizador tanto con aditivo como sin él superaron en resistencia a las elaboradas mediante el método convencional. Esto sugiere una mejora significativa en la estructura interna del material, atribuida a una mejor integración de los componentes y a una reducción de vacíos en la mezcla.

Sin embargo, en las primeras edades de curado (días 1 y 2), el comportamiento del hormigón varió en función del uso de aditivos. Las muestras elaboradas con homogeneizador y sin aditivo mostraron mejores resistencias iniciales que sus equivalentes convencionales, mientras que aquellas que combinaron el uso del homogeneizador con aditivos presentaron resistencias considerablemente más bajas. Esta situación podría deberse a una interacción desfavorable entre la acción mecánica intensa del equipo y la formulación química del aditivo hiperplastificante, lo cual resalta la necesidad de estudiar con mayor profundidad estas combinaciones.

En términos generales, el uso del homogeneizador contribuyó a obtener mezclas más uniformes y compactas, lo que se tradujo en un mejor desempeño mecánico. Tanto desde lo técnico como lo ambiental, el homogeneizador se perfila como una solución innovadora que permite disminuir el uso de aditivos, aprovechar mejor los recursos y mantener o mejorar la calidad del hormigón sin necesidad de usar más cemento. Su implementación podría beneficiar significativamente a proyectos que requieren alta eficiencia estructural en menor tiempo.

A pesar de los resultados positivos, se identificaron algunas limitaciones en el proceso experimental, como variaciones puntuales en la forma de los cilindros y diferencias leves en la trabajabilidad, lo cual pudo haber influido en algunos valores obtenidos. Por ello, se recomienda ampliar esta investigación con un mayor número de muestras y diferentes tipos de aditivos, para evaluar sus interacciones con el proceso de homogeneización y explorar otras propiedades del hormigón, como durabilidad, impermeabilidad y resistencia frente a agentes agresivos. Los hallazgos obtenidos respaldan la hipótesis inicial del estudio y posicionan al homogeneizador de alta velocidad como una herramienta innovadora y prometedora para optimizar la producción de hormigón en el campo de la ingeniería civil.

7. Bibliografía

- American Concrete Institute. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91)*. Farmington Hills, MI.: American Concrete Institute.
- ASTM International. (2019). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory (ASTM C192/C192M-19)*. West Conshohocken, PA.: ASTM International.
- Borralleras, P., Jurado, J., Parra, S., & Caballero, J. (2018). Aditivos superplastificantes de última generación basados en polímeros PAE para el control de la viscosidad plástica del hormigón. En *HAC 2018. V Congreso Iberoamericano de hormigón autocompactable y hormigones especiales*. (págs. 157-166). Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- Carrasco, S. (Abril de 2013). *Aditivo Hiperplastificante en absorción de humedad por capilaridad del hormigón*. Obtenido de Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor. UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO: <https://core.ac.uk/download/pdf/288898351.pdf>
- Cedeño, F., Cedeño, O., Chavarria, F., Ganchozo, C., Garcia, F., & Giler, M. (Diciembre de 2019). *IMPORTANCIA DEL HORMIGON EN LA INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de Trabajo previo a titulación. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ: https://www.researchgate.net/publication/337772988_IMPORTANCIA_DEL_HORMIGON_EN_LA_INGENIERIA_CIVIL_UNIVERSIDAD_TECNICA_DE_MANABI_FACULTAD_DE_CIENCIAS_MATEMATICAS_FISICAS_Y_QUIMICAS_CARRERA_DE_INGENIERIA_CIVIL_PROFESOR
- Jara, S. (Junio de 2009). *HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA INICIAL (FAST TRACK)*. Obtenido de Tesis de grado. UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO: <https://repositorio.unab.cl/items/42c4b9c0-6446-43ef-8a4e-a75b876aefba>
- Kosmatka, S. H. (2011). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Leon, L., & Rodríguez, C. (2022). Factores que influyen en la resistencia a la compresión del hormigón. Estado del arte. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*. Vol. 16. núm 3, 13.
- León, L., & Hernández, M. (07 de Diciembre de 2015). *Comparación de los valores de resistencia a compresión del hormigón a la edad de 7 y 28 días*. Obtenido de Tesis de grado. UNIVERSIDAD DE MATANZAS. CUBA: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6362086>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2006). *Concrete: Microstructure, properties and materials*. McGraw-Hill.
- Menéndez, G., Bonavveti, V. L., & Irassar, E. F. (10 de Abril de 2008). *Los diseños de experimentos y la tecnología del hormigón*. Obtenido de Revista de la Construcción, 7(1): <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612580009.pdf>
- Mindess, S., Young, J., & Darwin, D. (2003). *Concrete*. Prentice Hall.
- Neville, A. M. (2012). *Properties of concrete (5th edition)*. Pearson.
- Palacios, M., Puertas, F., & Alonso, M. (2005). Aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos y poliéteres. Compatibilidad con cementos. *CEMENTO HORMIGÓN*.
- Remus, R. (2022). *Producción de hormigón asistida por ultrasonidos*. Alemania .

Zambrano, L., Alva, R., Ruiz, W., & Méndez, E. (17 de Diciembre de 2021). *Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón*. Obtenido de Revista Gaceta Técnica: <https://ve.scielo.org/pdf/gt/v23n1/2477-9539-gt-23-01-35.pdf>

8. Anexos

ROTURA DE CILINDROS													
PROYECTO:													
CONSTRUCTOR:													
FISCALIZADOR:													
SOLICITADO POR:													
HORMIGÓN DE:													
FECHA INFORMA													
# de cilindro	Fecha de Construcción	Observaciones	Fecha de rotura	Edad días	Diámetro cm	Altura cm	Peso kg	Área cm ²	Volumen cm ³	P. Volumétrico kg/m ³	Carga Rotura KN/mm	Resistencia kg/cm ²	Resistencia Mpa./mm
1	10/3/2025	1C1	11/3/2025	1	10,02	19,87	3,863	78,85	1567	2465	108,96	141	13,82
2	10/3/2025	1C SEGUNDO	11/3/2025	1	10,10	20,30	3,814	80,12	1626	2345	107,76	137	13,45
3	10/3/2025	2C1	11/3/2025	1	9,93	20,16	3,793	77,44	1561	2429	64,02	84	8,27
4	10/3/2025	2C SEGUNDO	11/3/2025	1	9,90	19,63	3,671	76,98	1511	2429	65,04	86	8,45
5	10/3/2025	1H1	11/3/2025	1	9,50	20,03	3,366	70,88	1420	2371	51,74	74	7,30
6	10/3/2025	1H1 SEGUNDO	11/3/2025	1	9,50	20,10	3,367	70,88	1425	2363	53,10	76	7,49
7	10/3/2025	2H1	11/3/2025	1	9,53	19,96	3,338	71,33	1424	2344	62,86	90	8,81
8	10/3/2025	2H SEGUNDO	11/3/2025	1	9,40	19,86	3,342	69,40	1378	2425	75,74	111	10,91

ROTURA DE CILINDROS													
PROYECTO:													
CONSTRUCTOR:													
FISCALIZADOR:													
SOLICITADO POR:													
HORMIGÓN DE:													
FECHA INFORMIA													
# de cilindro	Fecha de Construcción	Observaciones	Fecha de rotura	Edad días	Diámetro cm	Altura cm	Peso kg	Área cm ²	Volumen cm ³	Volumétrico kg/m ³	Rotura KN/mm	Resistencia kg/cm ²	Resistencia Mpa./mm
1	10/3/2025	1C1	12/3/2025	2	10,03	20,20	3,759	79,01	1596	2355	171,54	221	21,71
2	10/3/2025	1C SEGUNDO	12/3/2025	2	10,10	20,16	3,844	80,12	1615	2380	91,54	117	11,43
3	10/3/2025	2C1	12/3/2025	2	10,00	20,16	3,741	78,54	1583	2363	112,42	146	14,31
4	10/3/2025	2C SEGUNDO	12/3/2025	2	10,16	19,80	3,656	81,07	1605	2278	78,60	99	9,69
5	10/3/2025	1H1	12/3/2025	2	9,56	20,06	3,346	71,78	1440	2324	114,70	163	15,98
6	10/3/2025	1H1 SEGUNDO	12/3/2025	2	9,56	20,26	3,368	71,78	1454	2316	114,84	163	16,00
7	10/3/2025	2H1	12/3/2025	2	9,56	20,16	3,370	71,78	1447	2329	130,98	186	18,25
8	10/3/2025	2H SEGUNDO	12/3/2025	2	9,56	20,20	3,380	71,78	1450	2331	129,32	184	18,02



ROTURA DE CILINDROS														
 UNIVERSIDAD DEL AZUAY		PROYECTO: CONSTRUCTOR: FISCALIZADOR: SOLICITADO POR: HORMIGÓN DE: FECHA INFORME:												
# de cilindro	Fecha de Construcción	fc ^m de resistencia	Observaciones	Fecha de Rotura	Edad días	Díámetro cm	Altura cm	Peso kg	Area cm ²	Volumen cm ³	P. Volumétrico kg/m ³	Carga Rotura Kg	Resistencia kg/cm ²	Resistencia Mpa./mm
1	10/03/2025		1C1	07/04/25	28	10,06	20,06	3,494	79,49	1594	2191	19145	241	23,62
2	10/03/2025		1C SEGUNDO	07/04/25	28	10,10	19,66	3,659	80,12	1575	2323	29085	363	35,60
3	10/03/2025		2C1	07/04/25	28	10,03	20,23	3,779	79,01	1598	2364	28925	366	35,90
4	10/03/2025		2C SEGUNDO	07/04/25	28	10,06	20,03	3,697	79,49	1592	2322	29960	377	36,96
5	10/03/2025		1H1	07/04/25	28	9,46	19,93	3,316	70,29	1401	2367	26765	381	37,34
6	10/03/2025		1H SEGUNDO	07/04/25	28	10,20	20,03	3,801	81,71	1637	2322	28295	346	33,96
7	10/03/2025		2H 1	07/04/25	28	9,46	19,90	3,328	70,29	1399	2379	28440	405	39,68
8	10/03/2025		2H SEGUNDO	07/04/25	28	9,50	19,90	3,338	70,88	1411	2366	28310	399	39,17

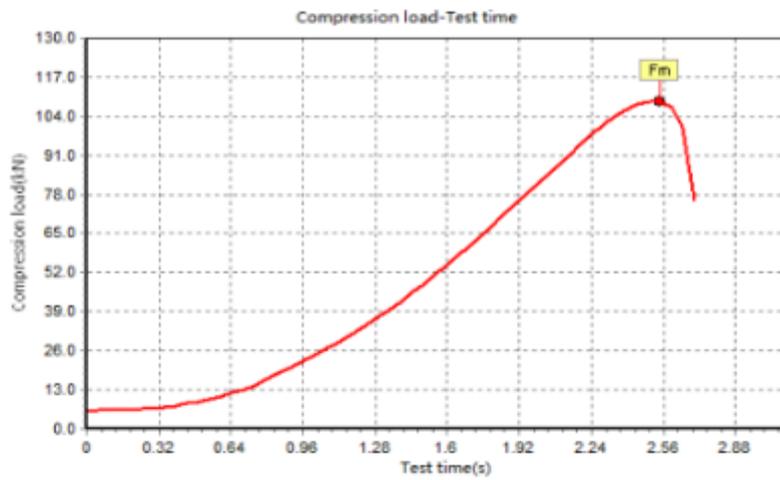
Concrete compression test report

Test number	disety	Test date	3/11/2025 13:30
Test unit		Age	28
Strength grade	25MPa	Conversion coefficient	1
Size (mm)	102*199	Area(mm^2)	8171.3

Result data

Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)
1	108.96	13.3	Invalid results	Invalid results
2				
3				

Detection basis	GB/T 50081-2002
-----------------	-----------------



Remarks	
Person in charge	To examine

Test one	Tester	Date of printing	2025/3/11 13:31
----------	--------	------------------	-----------------

Concrete compression test report

Test number	diseud		Test date	3/11/2025 16:05																									
Test unit			Age	28																									
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1																									
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854																									
Result data																													
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)																									
1	53.1	6.8	Invalid results	Invalid results																									
2																													
3																													
Detection basis	GB/T 50081-2002																												
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points from the graph</caption> <thead> <tr> <th>Test time (s)</th> <th>Compression load (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>0.55</td><td>6.0</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>18.0</td></tr> <tr><td>1.65</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>2.2</td><td>53.1 (Pm)</td></tr> <tr><td>2.75</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>3.3</td><td>36.0</td></tr> <tr><td>3.85</td><td>24.0</td></tr> <tr><td>4.4</td><td>34.0</td></tr> <tr><td>4.95</td><td>24.0</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>24.0</td></tr> </tbody> </table>						Test time (s)	Compression load (kN)	0.0	0.0	0.55	6.0	1.1	18.0	1.65	30.0	2.2	53.1 (Pm)	2.75	30.0	3.3	36.0	3.85	24.0	4.4	34.0	4.95	24.0	5.5	24.0
Test time (s)	Compression load (kN)																												
0.0	0.0																												
0.55	6.0																												
1.1	18.0																												
1.65	30.0																												
2.2	53.1 (Pm)																												
2.75	30.0																												
3.3	36.0																												
3.85	24.0																												
4.4	34.0																												
4.95	24.0																												
5.5	24.0																												
Remarks																													
Person in charge			To examine																										
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/11 16:06																									

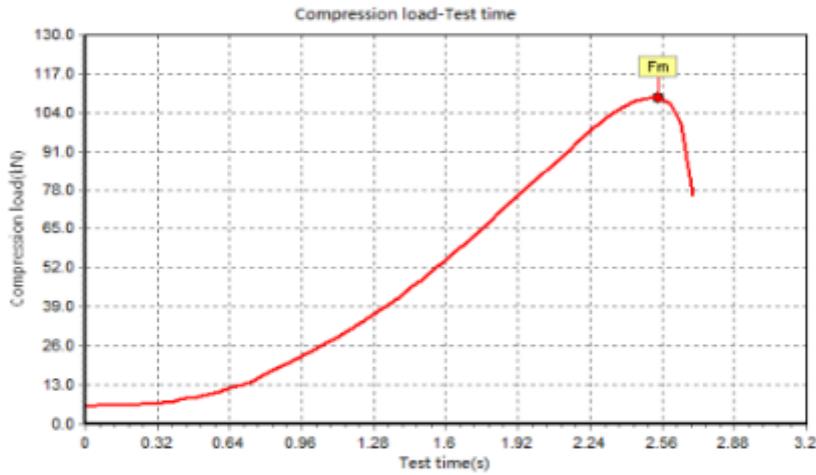
Concrete compression test report

Test number	disetz		Test date	3/11/2025 13:35	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	104.46	13.3	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 120.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 2.8). A red curve shows the load increasing from 0 at 0s to a peak of 104.46 kN at 2.24s, labeled 'Fm'. After the peak, the load drops sharply to approximately 48 kN at 2.52s.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		

Test one	Tester	Date of printing	2025/3/11 13:36
----------	--------	------------------	-----------------

Concrete compression test report

Test number	disety		Test date	3/11/2025 13:30	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	102*199		Area(mm ²)	8171.3	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	108.96	13.3	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				



Remarks			
Person in charge		To examine	

Test one	Tester	Date of printing	2025/3/11 13:31
----------	--------	------------------	-----------------

Concrete compression test report

Test number	diseuh		Test date	3/12/2025 13:08	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	91.54	11.7	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 110.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 2.0). A red curve shows the load increasing over time, reaching a peak of 91.54 kN at 2.24 seconds, labeled 'Fm', before decreasing.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 13:09	

Concrete compression test report

Test number	diseug		Test date	3/12/2025 13:06	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	171.54	21.8	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 200.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 3.8). A red curve shows the load increasing over time, reaching a peak of 171.54 kN at 3.04 seconds, labeled as F_m. After the peak, the load drops sharply.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 13:06	

Concrete compression test report

Test number	diseum	Test date	3/12/2025 15:17	
Test unit		Age	28	
Strength grade	25MPa	Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200	Area(mm ²)	7854	
Result data				
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)
1	114.84	14.6	Invalid results	Invalid results
2				
3				
Detection basis	GB/T 50081-2002			
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p>				
Remarks				
Person in charge		To examine		
Test one	Tester	Date of printing	2025/3/12 15:17	

Concrete compression test report

Test number	diseul		Test date	3/12/2025 15:14	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	114.7	14.6	invalid results	invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 130.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 4.8). A red curve shows the load increasing from 0 at 0s to a peak of 117.0 kN at 3.84s, labeled 'Fm'. After the peak, the load drops sharply to approximately 30 kN by 4.32s.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 15:15	

Concrete compression test report

Test number	diseub		Test date	3/11/2025 13:40	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	65.04	8.3	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/11 13:41	

Concrete compression test report

Test number	diseue		Test date	3/11/2025 16:07	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	62.86	8	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 75.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 6.5). A red curve shows the load increasing from 0 at 0s to a peak of 62.86 kN at 2.6s, labeled 'Fm'. After the peak, the load drops to approximately 37.5 kN at 2.6s, then to 22.5 kN at 3.9s, and continues to decrease to about 15.0 kN by 5.2s.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/11 16:08	

Concrete compression test report

Test number	diseuf		Test date	3/11/2025 16:09	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	75.74	9.6	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p>The graph displays the relationship between compression load and test time. The y-axis represents 'Compression load(kN)' ranging from 0.0 to 90.0 in increments of 9.0. The x-axis represents 'Test time(s)' ranging from 0 to 7 in increments of 0.7. A red curve starts at (0,0), rises to a peak of 75.74 kN at 2.8 seconds, and then exhibits a series of smaller peaks and troughs before ending at approximately 10 kN at 6.3 seconds. A yellow box labeled 'Fm' is placed above the main peak.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/11 16:10	

Concrete compression test report

Test number	diseua		Test date	3/11/2025 13:38	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	64.02	8.2	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/11 13:39	

Concrete compression test report

Test number	diseuj		Test date	3/12/2025 13:14	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	78.56	10	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 13:15	

Concrete compression test report

Test number	diseul		Test date	3/12/2025 13:11	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	112.42	14.3	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 130.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 3.4). A red curve shows the load increasing over time, reaching a peak of 117.0 kN at 2.72 seconds, labeled as Fm. The load then drops sharply after the peak.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 13:11	

Concrete compression test report

Test number	diseuo		Test date	3/12/2025 15:21	
Test unit			Age	28	
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1	
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854	
Result data					
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)	
1	129.32	16.5	Invalid results	Invalid results	
2					
3					
Detection basis	GB/T 50081-2002				
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <p>The graph plots Compression load (kN) on the y-axis (0.0 to 150.0) against Test time (s) on the x-axis (0 to 4.6). A red curve shows the load increasing from 0 at 0s to a peak of 129.32 kN at 3.68s, labeled 'Fm'. After the peak, the load drops sharply to approximately 45 kN by 4.14s.</p>					
Remarks					
Person in charge			To examine		
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 15:21	

Concrete compression test report

Test number	diseun		Test date	3/12/2025 15:19																									
Test unit			Age	28																									
Strength grade	25MPa		Conversion coefficient	1																									
Size (mm)	100*200		Area(mm ²)	7854																									
Result data																													
Serial number	Failure load (kN)	Compressive strength (MPa)	Effective load(kN)	Effective strength (MPa)																									
1	130.98	16.7	Invalid results	Invalid results																									
2																													
3																													
Detection basis	GB/T 50081-2002																												
<p style="text-align: center;">Compression load-Test time</p> <table border="1"> <caption>Approximate data points from the graph</caption> <thead> <tr> <th>Test time (s)</th> <th>Compression load (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.00</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>0.46</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>0.92</td><td>15.0</td></tr> <tr><td>1.38</td><td>30.0</td></tr> <tr><td>1.84</td><td>45.0</td></tr> <tr><td>2.30</td><td>60.0</td></tr> <tr><td>2.76</td><td>75.0</td></tr> <tr><td>3.22</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>3.68</td><td>131.0 (Fm)</td></tr> <tr><td>4.14</td><td>90.0</td></tr> <tr><td>4.60</td><td>0.0</td></tr> </tbody> </table>						Test time (s)	Compression load (kN)	0.00	0.0	0.46	5.0	0.92	15.0	1.38	30.0	1.84	45.0	2.30	60.0	2.76	75.0	3.22	90.0	3.68	131.0 (Fm)	4.14	90.0	4.60	0.0
Test time (s)	Compression load (kN)																												
0.00	0.0																												
0.46	5.0																												
0.92	15.0																												
1.38	30.0																												
1.84	45.0																												
2.30	60.0																												
2.76	75.0																												
3.22	90.0																												
3.68	131.0 (Fm)																												
4.14	90.0																												
4.60	0.0																												
Remarks																													
Person in charge			To examine																										
Test one	Tester		Date of printing	2025/3/12 15:19																									









