



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA,
CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA
CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”**

AUTORA: Jazmina Beatriz Freire Ocaña

TUTORA: Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

AMBATO - ECUADOR

Marzo - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”**, elaborado por la **Srta. Jazmina Beatriz Freire Ocaña**, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805133061, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2022


.....
Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jazmina Beatriz Freire Ocaña**, con C.I. 1805133061, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones, son de mi exclusiva responsabilidad como autora de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2022



.....
Jazmina Beatriz Freire Ocaña

C.I.: 1805133061


AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2022



.....

Jazmina Beatriz Freire Ocaña

C.I.: 1805133061

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante **Jazmina Beatriz Freire Ocaña** de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”**.

Ambato, Marzo 2022

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún
Miembro Calificador

.....
Ing. Mg. Jorge Javier Guevara Robalino
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente trabajo experimental está dedicado a mi abuelito Joaquín, quien a pesar de ya no estar a mi lado físicamente, ha sido mi principal motivación para cumplir cada uno de los sueños y metas que me he planteado. Tu ausencia aún la siento cada día, pero sé que sigues guiándome en cada paso que doy. Te amo y te amaré por siempre, sé que seguiré adelante por ti.

A mi madre Consuelo, quien ha sido capaz de enseñarme a ser valiente, quien me ha dado su apoyo incondicional a pesar de todas las adversidades que se nos han presentado y que con su trabajo y sacrificio me ha encaminado a cumplir esta meta. Creo que ni en la vida más larga podría pagarte y agradecerte por todo lo que has hecho y harás por mí, no habría podido pedir una mejor compañera de vida que tú. Te quiero.

A mis amigos, con quienes viví muchas experiencias y siempre estuvieron para mí dándome su apoyo de forma desinteresada e incondicional, con quienes además de sumar experiencias de vida también me ayudaron a sumar conocimientos.

Para ustedes este trabajo experimental, pues es a ustedes a quienes se los debo por creer en mí.

Jazmina Freire

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por llenar mi vida de bendiciones, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

A mi madre, por todo el amor, la dedicación y la paciencia con las que cada día estuvo pendiente de mí y del desarrollo de este trabajo experimental; gracias por confiar en mí y sobre todo por cuidar de mí.

De igual forma a mis tíos Gloria y Hugo por alentarme, por su preocupación día con día, por el cariño y sobre todo por considerar una más de sus hijos.

A mis amigos y amigas, quienes me brindaron su amistad dentro y fuera de las aulas, quienes fueron un apoyo emocional en aquellos momentos donde creí rendirme; los recordaré con alegría y amor.

A mi tutora la Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado, quien con su conocimiento y ayuda me guio a lo largo del desarrollo de este trabajo experimental.

Al Ing. Favio Portilla por su buena voluntad, por compartir conocimientos, por todo el apoyo desinteresado que supo brindarme.

Finalmente, a todas esas personas que de una u otra manera estuvieron pendientes de mí, de mi bienestar y que me ayudaron a sacar adelante la carrera.

Jazmina Freire

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.1.2 Justificación.....	4
1.1.3 Fundamentación teórica	6
1.1.3.1 El cemento hidráulico	6
1.1.3.2 Los agregados o áridos	11
1.1.3.3 Agua para mezcla	21
1.1.3.4 El hormigón.....	22
1.1.3.5 Curado del hormigón	31
1.1.3.6 Resistencia a la compresión	31

1.1.3.7	Relación entre la velocidad de carga y la resistencia a la compresión.....	35
1.1.3.8	Relación entre el curado y la resistencia a la compresión	35
1.1.3.9	Relación entre el tamaño del espécimen y la resistencia a la compresión.....	36
1.1.4	Hipótesis.....	38
1.2	Objetivos	38
1.2.1	Objetivo general	38
1.2.2	Objetivos específicos	38
CAPÍTULO II.....		39
METODOLOGÍA.....		39
2.1	Materiales y equipos	39
2.2	Métodos.....	42
2.2.1	Niveles de investigación	42
2.3	Población y muestra.....	43
2.4	Plan de recolección de datos	44
2.4.1	Adquisición de los materiales	44
2.4.2	Determinación de las propiedades de los materiales	44
2.4.3	Elaboración y curado de especímenes	45
2.4.4	Determinación de las propiedades del hormigón en estado endurecido	46
2.5	Plan de procesamiento y análisis de información.....	46
CAPÍTULO III		47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		47
3.1	Análisis y discusión de resultados	47
3.1.1	Densidad real del cemento	47
3.1.2	Análisis granulométrico del agregado fino	49

3.1.3	Análisis granulométrico del agregado grueso	51
3.1.4	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	53
3.1.5	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	55
3.1.6	Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	57
3.1.7	Densidad aparente compactada de la mezcla	59
3.1.8	Contenido de humedad de los agregados	61
3.1.9	Dosificación por el Método de la Densidad Óptima	62
3.1.10	Dosificación corregida de la Mezcla 1	64
3.1.11	Dosificación corregida de la Mezcla 2	66
3.1.12	Dosificación corregida de la Mezcla 3	68
3.1.13	Propiedades del hormigón en estado fresco	70
3.1.14	Propiedades del hormigón para ensayos a diferentes velocidades de carga	80
3.1.15	Propiedades del hormigón para ensayos a diferentes tipos de curado ..	92
3.1.16	Propiedades del hormigón para ensayos en diferentes tamaños de espécimen	102
3.2	Verificación de la hipótesis	112
CAPÍTULO IV		113
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		113
4.1	Conclusiones	113
4.2	Recomendaciones	115
Bibliografía		117
Anexos		125
Anexos fotográficos		125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales del Cemento.	7
Tabla 2. Requisitos físicos normalizados.	8
Tabla 3. Tamices según la norma ASTM y NTE INEN.	12
Tabla 4. Clasificación del agregado fino de acuerdo a su módulo de finura.	13
Tabla 5. Límites de graduación del árido fino.	18
Tabla 6. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón. ..	18
Tabla 7. Requisitos de gradación para áridos gruesos.	20
Tabla 8. Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el árido grueso del hormigón.	20
Tabla 9. Límites químicos opcionales del agua combinada para la mezcla.	21
Tabla 10. Datos para la dosificación por el Método de la Densidad Óptima.	24
Tabla 11. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento.	25
Tabla 12. Cantidad de pasta en función del asentamiento.	25
Tabla 13. Clasificación de las consistencias según el asentamiento medido en el cono de Abrams.	28
Tabla 14. Resistencias a la compresión más comunes del hormigón	34
Tabla 15. Materiales y equipos.	39
Tabla 16. Población y muestra de estudio.	43
Tabla 17. Densidad real del cemento.	47
Tabla 18. Análisis granulométrico del agregado fino.	49
Tabla 19. Análisis granulométrico del agregado grueso.	51
Tabla 20. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.	53
Tabla 21. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.	55
Tabla 22. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados.	57

Tabla 23. Densidad aparente compactada de la mezcla.	59
Tabla 24. Contenido de humedad de los agregados.....	61
Tabla 25. Dosificación por el método de la densidad óptima.	62
Tabla 26. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes velocidades de carga.	64
Tabla 27. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes tipos de curado. ..	66
Tabla 28. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes.....	68
Tabla 29. Propiedades del hormigón a ser ensayado a diferentes velocidades de carga.	70
Tabla 30. Propiedades del hormigón fresco a ser ensayado a diferentes tipos de curado.	72
Tabla 31. Propiedades del hormigón fresco a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes.....	74
Tabla 32. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 7 días.	80
Tabla 33. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 14 días.	82
Tabla 34. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 28 días.	84
Tabla 35. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 7 días.....	92
Tabla 36. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 14 días.....	94
Tabla 37. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 28 días.....	96
Tabla 38. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 7 días.	102

Tabla 39. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 14 días.104

Tabla 40. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 28 días.106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cemento Tipo GU.....	6
Figura 2. Árido fino – Cantera Salvador.....	17
Figura 3. Árido grueso triturado – Cantera Salvador.....	19
Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.	19
Figura 4. Componentes del hormigón.....	22
Figura 5. Esquema de los modelos típicos de fractura	33
Figura 6. Relación entre el esfuerzo a compresión y la velocidad de carga para especímenes de hormigón de diferentes edades.	35
Figura 7. Efecto del tiempo de curado húmedo en la ganancia de resistencia del hormigón.	36
Figura 8. Resistencia a la compresión de los cilindros en relación con el cilindro estándar (150x300mm)	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Densidad del hormigón en estado fresco.	76
Gráfico 2. Asentamiento del hormigón.	78
Gráfico 3. Relación entre la resistencia a la compresión y la velocidad de carga a diferentes edades.	86
Gráfico 4. Relación entre el tiempo de ensayo y la velocidad de carga a diferentes edades.	88
Gráfico 5. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm ² a diferentes velocidades de carga.	90
Gráfico 6. Relación entre la resistencia a la compresión y el curado de los especímenes.	98
Gráfico 7. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm ² para especímenes curados y sin curar.	100
Gráfico 8. Relación entre la resistencia a la compresión y el tamaño del espécimen.	108
Gráfico 9. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm ² para especímenes distinto tamaño.	110

RESUMEN

Este trabajo experimental analiza cómo influye la aplicación de diferentes velocidades de carga, tipos de curado y tamaño de los especímenes en los valores de resistencia cilíndrica a compresión en las edades de 7, 14 y 28 días. Para ello se adquirieron los agregados de la Cantera Salvador ubicada en la ciudad de Ambato - sector Aguaján y Cemento Tipo GU para sus posteriores ensayos de caracterización de acuerdo a las normas INEN y ASTM, luego se procedió a realizar la dosificación aplicando el Método de la Densidad Óptima para un hormigón con resistencia de diseño de 210 kilogramos sobre centímetros cuadrados.

Con la dosificación definitiva se elaboraron 63 especímenes para determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido dependiendo de las variables a aplicarse en cada uno de ellos. En lo referente a los resultados obtenidos de resistencia a compresión a los 28 días, a una velocidad de 0.475 MPa/s se obtuvo un incremento del 7.07 por ciento, mientras que para una velocidad de 0.025 MPa/s se da una disminución del 5.22 por ciento de la resistencia obtenida a la velocidad normada. Por otro lado, los especímenes no sometidos a un proceso de curado alcanzan un 86.15 por ciento de la resistencia a la compresión adquirida por los especímenes que fueron curados. Finalmente, en lo que respecta al tamaño de espécimen se determinó que los de 100x200 mm adquiere un 8.88 por ciento más de resistencia que especímenes de 150x300 mm.

Palabras Clave: Hormigón, Resistencia a compresión, Velocidad de carga, Curado, Tamaño del espécimen.

ABSTRACT

This experimental work analyzes the influence of the application of different loading rates, types of curing and specimen size on the values of cylindrical compressive strength at ages 7, 14 and 28 days. For this purpose, aggregates were acquired from the Salvador Quarry located in the city of Ambato - Aguaján sector and Type GU Cement for subsequent characterization tests according to INEN and ASTM standards, then the dosage was carried out applying the Optimum Density Method for a concrete with a design strength of 210 kilograms over square centimeters.

With the final dosage, 63 specimens were prepared to determine their properties in fresh and hardened state depending on the variables to be applied in each one of them. Regarding the results obtained for compressive strength at 28 days, at a speed of 0.475 MPa/s an increase of 7.07 percent was obtained, while for a speed of 0.025 MPa/s there was a decrease of 5.22 percent of the strength obtained at the standard speed. On the other hand, specimens not subjected to a curing process reach 86.15 percent of the compressive strength acquired by the specimens that were cured. Finally, with respect to specimen size, it was determined that 100x200 mm specimens acquired 8.88 percent more strength than 150x300 mm specimens.

Keywords: Concrete, Compressive strength, Loading rate, Curing, Specimen size.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Antecedentes

La resistencia a la compresión del hormigón es un tema un tanto complejo, sin embargo, comprender el comportamiento de este ante la acción de fuerzas de compresión es indispensable para el diseño más seguro de estructuras y para el desarrollo de pruebas más eficientes en el mismo. Es por ello que a lo largo de los años se han llevado a cabo estudios en los que el comportamiento del hormigón ha sido evaluado ante diferentes velocidades de carga, períodos y tipos de curado y tamaños de los especímenes.

En el año 2015 en la India los investigadores Saurah Mali, Tushar Pachpande y Ashwini Jogi desarrollaron un proyecto bajo el tema “Effect of rate of loading on compressive strength of concrete” con el objetivo de predecir con exactitud el comportamiento de una estructura de hormigón armado sometida a cargas dinámicas para lo cual fue necesario determinar con precisión el efecto del cambio de la velocidad de carga en los ensayos a compresión. Tras una serie de ensayos en los cuales se utilizaron probetas cúbicas de hormigón lograron calcular la relación entre la Resistencia a la Compresión y la Velocidad de Carga, se reveló relaciones logarítmicas y a su vez esto permitió proponer un factor de corrección adecuado para determinar la verdadera resistencia de los especímenes de hormigón. Los resultados obtenidos de este trabajo de investigación demostraron que: con la variación de la velocidad de carga en las muestras de hormigón, la resistencia varía proporcionalmente ya que a mayor velocidad de carga la resistencia a la compresión aumenta. Sin embargo, es importante considerar que estos valores indican una resistencia falsa, la misma que

puede ser peligrosa por lo que para ser corregida requiere de la aplicación de un factor de corrección obteniendo de esta manera la resistencia verdadera a compresión. [1]

Por otro lado, en el año 2021 en la ciudad de Batu Pahat - Malasia se llevó a cabo una conferencia donde Aiman Irfan Abdullah presentó un artículo bajo el tema “Effects of loading rates on concrete compressive strength” en el cual expuso que las estructuras de hormigón están expuestas a cargas estáticas o dinámicas y en la mayoría de los casos a la acción combinada de ambas por lo que se debe evaluar el comportamiento del hormigón ante diferentes condiciones o velocidades de carga y para valorar los efectos de esta es necesario examinar su resistencia a la compresión ya que las diferentes velocidades de carga pueden alterar la formación de grietas en el hormigón en términos de velocidad e intensidad de la grieta. Los resultados mostraron que a medida que aumenta la velocidad de carga, también aumenta la resistencia a la compresión y que, a bajas velocidades de carga, las grietas tienden a propagarse a través de las áreas más débiles a ritmo más rápido provocando una resistencia a la compresión menor, es decir la relación Velocidad de Carga versus Resistencia a la Compresión es directamente proporcional. [2]

En lo que refiere a la relación entre el curado del concreto en el año 2021 Zareth Amín y Jesús Ordoñez en su trabajo de grado titulado “Análisis de la influencia de las técnicas empleadas para el curado de cilindros de concreto hidráulico sobre la resistencia a la compresión” mencionan que el curado es un proceso mediante el cual el concreto hidráulico es mantenido bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, las mismas que son necesarias para que pueda alcanzar su madurez y las propiedades para las cuales fue diseñado. El curado del hormigón se puede llevar a cabo por diferentes métodos, pero cada uno de éstos tiene el mismo objetivo y es ayudar al concreto a desarrollar adecuadamente sus propiedades mecánicas especialmente la Resistencia a la Compresión, es importante saber que estos métodos ayudan a que durante los primeros 7 días se desarrolle aproximadamente el 70% de la resistencia de diseño y a los 14 días un 85%. [3]

En el estudio realizado por el Ing. Aragón David y el Ing. Navas Alejandro en Costa Rica en el año 2012 bajo el tema “Cilindros de concreto - medición de la resistencia a la compresión de concreto mediante cilindros de 100 por 200 mm y de 150 por 300 mm para el control de calidad de obras” se reveló que el promedio de la resistencia medida en cilindros de 100x200 mm es de alrededor de un 10% mayor que la resistencia medida en cilindros de 150x300 mm, no se encontró diferencias en los valores de la resistencia a la compresión por el efecto del tamaño máximo del agregado, los cilindros de 100x200 mm pesan aproximadamente el 70% del peso de los cilindros de 150x300 mm por lo que la utilización de especímenes de tamaño 100x200 mm representaría una ventaja al momento de moldear y manipular las probetas, la carga aplicada por la máquina de compresión a los cilindros de 100x200 mm es de aproximadamente el 50% de la carga necesaria para que los cilindros de 150x300 mm alcancen la falla. [4]

1.1.2 Justificación

El hormigón o también denominado concreto es un material constructivo que ha estado presente a lo largo de la historia en un sinnúmero de estructuras y construcciones desde épocas del Imperio Romano en las cuales el hombre utilizaba para su elaboración arenas volcánicas mezcladas con piedras naturales y agua. Y que, a pesar de existir otras alternativas constructivas en la actualidad, este se sigue utilizando debido a que es un material duradero, de fácil preparación y de excelentes características mecánicas. [5]

La resistencia a la compresión es uno de los parámetros fundamentales para determinar la calidad del hormigón; la misma que se verá afectada por una serie de factores como lo son: el tiempo de curado, contenido de cemento, relación agua/cemento (W/C), contenido de aire, las características de los agregados, tamaño máximo del agregado, el tiempo de mezclado, etc. [6]

De acuerdo a los estudios realizados por el Ing. Aragón David y el Ing. Navas Alejandro en Costa Rica en el año 2012, se determinó que la resistencia a la compresión medida en cilindros de 100 x 200 mm es en promedio un 10% mayor que la resistencia medida en cilindros de 150 x 300 mm, la carga aplicada por la máquina de compresión a los cilindros de 100 x 200 mm es aproximadamente un 50% menor que la fuerza necesaria para alcanzar la falla en los cilindros de 150 x 300 mm. [4]

Por otro lado, en estudios anteriores elaborados por Barbosa Erika y Gallardo Rafael en el año 1997 se estipula que cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura son los que al ser ensayados arrojan resultados semejantes a los valores para los cuales habían sido diseñadas las mezclas de hormigón y por lo que cilindros de estas dimensiones se encuentran estandarizados en varios países desde el año 1920. [7]

En lo que refiere a la velocidad de carga aplicada en los ensayos a compresión según el Ing. Gonzales Guillermo y la Ing. Sandí Ana en el año 2014 mencionan que la resistencia aumenta conforme aumenta la velocidad de carga, y que esta resistencia a la vez dependerá del tamaño del espécimen, módulo elástico del hormigón y la rigidez de la máquina de ensayos y deberá estar controlada con el propósito de que el espécimen no esté sometido a una carga de impacto. [8] [9]

Refiriéndose al curado de los especímenes es de vital importancia conocer que si este proceso no se lleva a cabo de manera apropiada de nada servirá todos los cuidados que se hayan tenido en el proceso de dosificación, amasado y vertido por lo que evaluar probetas sometidas a diferentes períodos y tipos de curado permitirá entender y evidenciar de una manera más directa las consecuencias que provocan el curado de los cilindros. [10]

El desarrollo de esta investigación experimental contribuirá a determinar la influencia de la velocidad de carga, el tiempo y tipo de curado y tamaño del espécimen en la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón.

1.1.3 Fundamentación teórica

1.1.3.1 El cemento hidráulico

Es un tipo de conglomerante hidráulico, de naturaleza inorgánica y mineral caracterizado por ser un polvo muy fino, de color gris, que se obtiene como producto de pulverizar Clinker y que al entrar en contacto con el agua forman una pasta que fragua y se endurece debido a la reacción química que se produce tras el proceso de hidratación. [11] [12] [13] [14]

El cemento es uno de los materiales de construcción más empleado hasta la actualidad debido a que está formado por la combinación de caliza, arcilla y yeso, los cuales son minerales que se encuentran con abundancia en la corteza terrestre, además, tiene un precio relativamente bajo si se lo compara con otras alternativas utilizadas en la construcción. [15]

Figura 1. Cemento Tipo GU.



Fuente: La Unión. [16]

1.1.3.1.1 Composición química del cemento

Dentro de los componentes principales del cemento se tiene:

- **Silicato tricálcico o Alita:** se caracteriza por endurecerse rápidamente y generar un elevado calor de hidratación, además, es el responsable del fraguado inicial y el rápido endurecimiento del cemento.
- **Silicato bicálcico o Belita:** este compuesto por el contrario al mencionado anteriormente se caracteriza por endurecer lentamente, bajo calor de hidratación y contribuir a alcanzar mayores resistencias en edades superiores a los 7 días.
- **Aluminato tricálcico:** durante los primeros días de endurecimiento se caracteriza por generar un elevado calor de hidratación y contribuir ligeramente a las resistencias a edades tempranas, como función principal de este compuesto se tiene el facilitar la reacción de la sílice con la cal y otorgar una particular resistencia a los sulfatos.
- **Ferroaluminato tetracálcico o Celita:** este compuesto ayuda a la reducción de temperaturas al momento de la clinkerización pero contribuye muy poco en la resistencia. [12] [17]

Tabla 1. Componentes principales del Cemento.

Nombre	Composición	Fórmula reducida	Nombre mineral	Composición potencial (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	Alita	40-50
Silicato bicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	Belita	20-30
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	-	10-15
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	Celita	5-10

Fuente: Polanco J., Cavia S., García C. [15]

1.1.3.1.2 Tipos de cemento

Existen varios tipos de cemento elaborados con el fin de satisfacer determinadas propiedades físicas y químicas, los cuales se detallan a continuación:

- **Tipo GU:** se aplica en todo tipo de construcciones como es el caso de pavimentos, pisos, puentes, tuberías, productos prefabricados, obras de albañilería y estructuras de hormigón armado que no requieran de propiedades especiales que los otros tipos de cementos poseen.
 - **Tipo HE:** proporciona alta resistencia a temprana edad.
 - **Tipo MS:** se emplea en obras donde sea importante tener precauciones ante el ataque moderado de sulfatos.
 - **Tipo HS:** se aplica en hormigones expuestos a la acción severa de sulfatos.
 - **Tipo MH:** se utiliza en obras donde el hormigón necesite un calor de hidratación moderado.
 - **Tipo LH:** se emplea cuando el calor de hidratación generado debe ser bajo.
- [18] [19]

Tabla 2. Requisitos físicos normalizados.

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^B	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^D	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^E	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

^A El porcentaje retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m²/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

^B El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

^C Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

^D Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimativos basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

^E En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

Fuente: NTE INEN 2380. [18]

1.1.3.1.3 Propiedades físicas y mecánicas del cemento

Entre las propiedades físicas y mecánicas más relevantes del cemento se encuentran las siguientes:

1. Finura de molido

Se considera una de las propiedades más significativas debido a que esta determina la velocidad de hidratación de los granos de cemento, la adquisición de resistencia, la producción de calor de hidratación y la retracción. [20]

El cemento se hidrata únicamente hasta una profundidad de 0.01 mm, por lo que se puede dar el caso de núcleo inerte en el caso de que los granos sean demasiado gruesos o retracción y elevado calor de hidratación en caso de tener granos muy finos. [6]

2. Fluides o consistencia normal

Indica el nivel de fluides con el que se puede manejar la pasta de cemento. [20]

3. Densidad

Es la relación entre la masa de una cantidad de cemento dada y el volumen absoluto de esta masa, su valor oscila entre 2.9 gr/cm³ y 3.15 gr/cm³. [6] [20]

4. Fraguado

El término fraguado se usa para describir el paso de la mezcla de estado plástico a estado sólido progresivamente adquiriendo resistencia. [12]

- **Fraguado inicial:** tiempo que transcurre desde el momento que la pasta recibe el agua hasta que va perdiendo plasticidad, su temperatura se eleva.
- **Fraguado final:** tiempo que transcurre desde el momento que la pasta recibe el agua hasta que la pasta deja de ser deformable y alcanza su temperatura máxima para posteriormente dar paso al proceso de endurecimiento y ganancia de resistencia. [6] [20]

5. Fraguado rápido o falso fraguado

Es el endurecimiento prematuro de la pasta que tiene lugar en los primeros minutos después de comenzar el amasado con agua, se puede observar gran pérdida de plasticidad sin la necesidad de generar un alto calor de hidratación. [6] [12]

6. Estabilidad volumétrica

La expansión que el cemento presenta luego del fraguado es el peor defecto que puede presentar este material, esta expansión tiene lugar debido a la hidratación retardada, la presencia de Óxido de magnesio (MgO) o la presencia de cal libre. [6] [12]

7. Resistencia a la compresión

Debido a dificultades experimentales para determinar la resistencia a la compresión del cemento las pruebas para determinar esta propiedad se hacen mediante el uso de

morteros amasados con arena de granulometría determinada y una relación agua/cemento (W/C) específica. [6] [12]

1.1.3.2 Los agregados o áridos

Los agregados también denominados como áridos son partículas duras, limpias, inertes y que en la medida de lo posible no tengan un tipo de reacción al entrar en contacto con el cemento. Su forma debe ser granular y pueden ser de origen natural o artificial (producto de la trituración o molienda de las rocas) que al mezclarse con el cemento y agua forman una piedra artificial conocida con el nombre de hormigón o concreto. [12] [14]

En el hormigón estructural, los áridos ocupan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen total de hormigón por lo que la selección de los mismo debe ser realizada con especial cuidado; lo que resta de volumen está conformado por la pasta de cemento endurecida, agua sin combinar y burbujas de aire. [21]

Entre algunas de las funciones de los agregados se tiene:

- Disminución del contenido unitario de cemento dentro de la mezcla y por ende bajar el costo al hormigón ya que se reduce la cantidad de pasta.
- Disminuir la contracción por secado debido a que el cemento al fraguar disminuye su volumen.
- Mayor resistencia a desgaste y abrasión. [6] [13]

1.1.3.2.1 Propiedades físicas de los agregados

1. Granulometría

Se conoce con el término de granulometría o análisis granulométrico de un agregado a la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen la masa de un agregado o árido, esta propiedad se la determina mediante la separación de las partículas de acuerdo a su tamaño mediante la utilización de tamices; de esta forma se puede conocer los pesos para cada tamaño con que aportan a la masa total del agregado. [12] [22]

Para separar las partículas del agregado de acuerdo a su tamaño se utiliza mallas de diferentes aberturas las cuales se detallan en la Tabla 3 que se muestra a continuación:

Tabla 3. Tamices según la norma ASTM y NTE INEN.

Designación ASTM	Designación NTE INEN	Abertura (mm)	Designación ASTM	Designación NTE INEN	Abertura (mm)
5 pulg.	125 mm	127.00 mm	No. 8	2.36 mm	2.36 mm
4.24 pulg.	106 mm	107.70 mm	No. 10	2 mm	2.00 mm
4 pulg.	100 mm	101.60 mm	No. 12	1.7 mm	1.70 mm
3½ pulg.	90 mm	88.90 mm	No. 14	1.4 mm	1.40 mm
3 pulg.	75 mm	76.20 mm	No. 16	1.18 mm	1.18 mm
2½ pulg.	63 mm	63.50 mm	No. 18	1 mm	1.00 mm
2.12 pulg.	53 mm	53.85 mm	No. 20	850 µm	0.850 mm
2 pulg.	50 mm	50.80 mm	No. 25	710 µm	0.710 mm
1¾ pulg.	45 mm	44.45 mm	No. 30	600 µm	0.600 mm
1½ pulg.	37.5 mm	38.10 mm	No. 35	500 µm	0.500 mm
1¼ pulg.	31.5 mm	31.75 mm	No. 40	425 µm	0.425 mm
1.06 pulg.	26.5 mm	26.92 mm	No. 45	355 µm	0.355 mm
1 pulg.	25.0 mm	25.40 mm	No. 50	300 µm	0.300 mm
7/8 pulg.	22.4 mm	22.23 mm	No. 60	250 µm	0.250 mm
3/4 pulg.	19.0 mm	19.05 mm	No. 70	212 µm	0.212 mm
5/8 pulg.	16.0 mm	15.88 mm	No. 80	180 µm	0.180 mm
0.53 pulg.	13.2 mm	13.46 mm	No. 100	150 µm	0.150 mm
½ pulg.	12.5 mm	12.70 mm	No. 120	125 µm	0.125 mm
7/16 pulg.	11.2 mm	11.11 mm	No. 140	106 µm	0.106 mm
3/8 pulg.	9.5 mm	9.53 mm	No. 170	90 µm	0.090 mm
5/16 pulg.	8.0 mm	7.94 mm	No. 200	75 µm	0.075 mm
0.265 pulg.	6.7 mm	6.73 mm	No. 230	63 µm	0.063 mm
1/4 pulg.	6.3 mm	6.35 mm	No. 270	53 µm	0.053 mm
No. 3½	5.6 mm	5.60 mm	No. 325	45 µm	0.045 mm
No. 4	4.75 mm	4.75 mm	No. 400	38 µm	0.038 mm
No. 5	4.00 mm	4.00 mm	No. 450	32 µm	0.032 mm
No. 6	3.35 mm	3.35 mm	No. 500	25 µm	0.025 mm
No. 7	2.8 mm	2.80 mm	No. 635	20 µm	0.020 mm

Fuente: NTE INEN 154, ASTM, Geotecnia Online. [23] [24] [25]

Módulo de finura, módulo de fineza o módulo granulométrico

Es un factor que permite estimar que tan fino o grueso es un material y corresponde a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3", 6". [12] [26]

El agregado fino se clasificará de acuerdo a la Tabla 4 detallada a continuación:

Tabla 4. Clasificación del agregado fino de acuerdo a su módulo de finura.

MÓDULO DE FINURA	AGREGADO FINO
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00 - 2,30	Fino
2,30 - 2,60	Ligeramente fino
2,60 - 2,90	Mediano
2,90 - 3,20	Ligeramente grueso
3,20 - 3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Rivera G. [12]

Tamaño nominal máximo

El tamaño nominal máximo de las partículas es el tamaño del tamiz anterior al primer tamiz en el que hubo el 15% o más del peso retenido acumulado de las partículas. [6]

2. Humedad

Debido a que los agregados presentan porosidad el agua tiende a utilizar estos poros a modo de canales de infiltración para de esta manera llegar al interior del agregado. [27]

Las partículas de los agregados pueden pasar por cuatro condiciones de humedad, las mismas que se describen a continuación:

- **Secado al horno o seco:** para esta condición toda la humedad tanto interna como externa ha sido eliminada, esto solo se logra mediante secado en hornos durante aproximadamente 24 horas hasta ver que el agregado tenga un peso constante. Bajo esta condición el contenido de humedad es igual a 0 y las partículas se encuentran en su máxima capacidad de absorción.
- **Humedad natural o secado al aire:** en esta condición las partículas no tienen humedad superficial significativa y algunos poros internos están llenos, esto se logra mediante la exposición al aire libre de los agregados.
- **Saturado Superficie Seca:** para esta condición no hay la presencia de humedad superficial sin embargo los poros de las partículas están llenos de agua, esta condición al igual que la de secado en horno se la obtiene en laboratorios y representa el equilibrio entre absorción y humedad.
- **Saturado Superficie Húmeda:** en esta condición se aprecia humedad superficial es decir las partículas están visiblemente mojadas y todos los poros están llenos de agua, en este estado la humedad ha superado a la absorción. [6] [28] [29]

3. Absorción

Se conoce con el término de absorción al incremento de la masa de un agregado a causa del ingreso de agua en los poros de las partículas hasta alcanzar la condición Saturado Superficie Seca. Por lo general la capacidad de absorción para el agregado grueso varía entre 0.2% y 4%, mientras que para el agregado fino su rango estará entre 0.2% y 2%. [6] [30]

$$CA(\%) = \frac{M_{sss} - M_{seca}}{M_{seca}} * 100$$

Donde:

CA(%): Capacidad de absorción.

M_{sss}: Masa del agregado en condición Saturado Superficie Seca.

M_{seca}: Masa del agregado en condición Seca.

4. Densidad

La densidad es una propiedad que está definida como la relación entre la masa del agregado que ocupa un recipiente y el volumen de dicho recipiente. Sin embargo, en el caso de los agregados hay que tener cuidado al momento de definir el término densidad debido a que entre las partículas existe la presencia de vacíos. [6] [31]

Densidad real: Se define como la relación entre la masa del agregado que ocupa un recipiente y el volumen de dicho recipiente excluyendo sus poros saturables y no saturables. [6] [31]

- **Densidad real del agregado fino**

$$DRAF = \frac{M_{sss}}{V_{sss}}$$

Donde:

DRAF: Densidad real del agregado fino.

M_{sss}: Masa del agregado en condición Saturado Superficie Seca.

V_{sss}: Volumen del agua desalojada por el material en condición Saturado Superficie Seca. [6]

- **Densidad real del agregado grueso**

$$\text{DRAG} = \frac{M_{\text{sss}}}{\frac{M_{\text{sss}} - M_{\text{sumergida}}}{\gamma_{\text{agua}}}}$$

Donde:

DRAG: Densidad real del agregado grueso.

M_{sss}: Masa del agregado en condición Saturado Superficie Seca.

M_{sumergida}: Masa del agregado en condición Saturado Superficie Seca sumergida en el agua.

γ_{agua}: Densidad real del agua. [6]

Densidad aparente: Se define como la relación entre la masa del agregado que ocupa un recipiente y el volumen de dicho recipiente incluyendo sus poros saturables y no saturables. [6] [31]

Esta densidad es de dos tipos: Suelta y Compactada.

$$\text{DA} = \frac{M_{\text{mat.}}}{V_{\text{recip.}}}$$

Donde:

DA: Densidad aparente del agregado.

M_{mat.}: Masa del agregado.

V_{sss}: Volumen del recipiente.

1.1.3.2.2 Agregado Fino

Se le denomina así al producto resultante de la desintegración natural o artificial de las rocas que se caracteriza porque pasa por el tamiz de 3/8" y que además la mayor cantidad de partículas pasa por el tamiz No. 4 y son retenidas en el tamiz No. 200 [32]. Conjuntamente a las características mencionadas anteriormente un buen árido fino debe tener una densidad real superior a 2.6 gr/cm^3 y no menor a 2.3 gr/cm^3 . [6]

Figura 2. Árido fino – Cantera Salvador.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Para poder utilizarlo en la elaboración del hormigón el agregado fino debe cumplir ciertas exigencias de calidad y granulometría que se estipulan dentro de la norma NTE INEN 872, de entre la cuales se tiene:

- Puede ser arena natural, elaborada o la mezcla de ambas.
- Debe ser graduada dentro de los siguientes límites especificados en la Tabla 5.

Tabla 5. Límites de graduación del árido fino.

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9.5 mm	100
4.75 mm	95 a 100
2.36 mm	80 a 100
1.18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Fuente: NTE INEN 872. [33]

- Su módulo granulométrico o de finura debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1.
- Debe estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas.
- La cantidad de sustancia perjudiciales no debe sobrepasar los límites especificados en la Tabla 6. [33]

Tabla 6. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.

Detalle	Porcentaje de la muestra total, en masa. Máximo
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3,0
Material más fino que 75 μm :	
Hormigón sujeto a abrasión	3,0 ^A
Todos los demás hormigones	5,0 ^A
Carbón y lignito:	
Donde es importante la apariencia superficial del hormigón	0,5
Todos los demás hormigones	1,0

^A En el caso de arena fabricada, si el material más fino que 75 μm consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquisto, se permite incrementar estos límites a 5% y 7%, respectivamente.

Fuente: NTE INEN 872. [33]

1.1.3.2.3 Agregado Grueso

También conocido como grava es el árido cuya mayor cantidad de partículas quedan retenidas en el tamiz No. 4 (abertura 4,75 mm) [32]. Además, un buen árido grueso debe tener una densidad real mayor a 2.6 gr/cm³ y no menor a 2.3 gr/cm³. [6]

Es importante considerar que el agregado grueso presenta mejores propiedades de adherencia a la pasta cementicia cuando son de origen artificial, es decir producto de la trituración ya que esto dota a la partícula de aristas. [21]

Figura 3. Árido grueso triturado – Cantera Salvador.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Para poder utilizarlo en la elaboración del hormigón el agregado grueso debe cumplir ciertas exigencias de calidad y granulometría que se estipulan dentro de la norma NTE INEN 872, de entre la cuales se tiene:

- Consiste principalmente de grava o piedra triturada, hormigón de cemento hidráulico triturado o escoria de altos hornos enfriada al aire o a su vez la combinación de todos estos.
- Debe ser graduada dentro de los siguientes límites especificados a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Requisitos de gradación para áridos gruesos.

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	—	25 a 60	—	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
2	de 63 a 37,5	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—	—
3	de 50 a 25,0	—	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
357	de 50 a 4,75	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—	—
4	de 37,5 a 19,0	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—
467	de 37,5 a 4,75	—	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—	—
5	de 25,0 a 12,5	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—	—	—
56	de 25,0 a 9,5	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—	—
57	de 25,0 a 4,75	—	—	—	—	—	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—	—
6	de 19,0 a 9,5	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—	—
67	de 19,0 a 4,75	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—	—
7	de 12,5 a 4,75	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—	—
8	de 9,5 a 2,36	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	—
89	de 9,5 a 1,18	—	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

Fuente: NTE INEN 872. [33]

- Las sustancias perjudiciales deben limitarse a los mencionados en la Tabla 8.

Tabla 8. Límites para sustancias perjudiciales y requerimientos de propiedades físicas para el árido grueso del hormigón.

Las condiciones de intemperismo son definidas de la siguiente manera (ver numeral 3):
 (S) Condición de intemperismo severo. Un clima frío donde el hormigón está expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, donde el hormigón puede saturarse por contacto continuo con humedad o agua libre antes de cada ciclo de congelamiento y descongelamiento.
 (M) Condición de intemperismo moderado. Un clima donde se espera congelamiento ocasional, pero donde el hormigón en servicio a la intemperie no esté continuamente expuesto a congelamiento y descongelamiento en presencia de humedad o de productos químicos descongelantes.
 (N) Condición de intemperismo nulo. Un clima donde el hormigón está raramente expuesto al congelamiento en presencia de humedad.

Designación de clase	Tipo o ubicación de la construcción de hormigón	Máximo permisible, %						
		Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	Chert ^b (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Total de terrones de arcilla, partículas desmenuzables y chert (gr. esp. SSS menor de 2,40)	Material más fino que 75 µm	Carbón y lignito	Valor de la degradación (%) ^a	Solidez de los áridos mediante el sulfato de magnesio (5 ciclos) ^c
Condición de intemperismo severo								
1S	Zapatillas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	—	—	1,0 ^c	1,0	50	—
2S	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	—	—	1,0 ^c	0,5	50	—
3S	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	5,0	7,0	1,0 ^c	0,5	50	18
4S	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo	3,0	5,0	5,0	1,0 ^c	0,5	50	18
5S	Hormigón arquitectónico expuesto	2,0	3,0	3,0	1,0 ^c	0,5	50	18
Condición de intemperismo moderado								
1M	Zapatillas, fundaciones, columnas, y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidas	10,0	—	—	1,0 ^c	1,0	50	—
2M	Pisos interiores sin revestimiento	5,0	—	—	1,0 ^c	0,5	50	—
3M	Muros de fundación sobre el nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	5,0	8,0	10,0	1,0 ^c	0,5	50	18
4M	Pavimentos, tableros de puentes, caminos y bordillos, senderos, patios, pisos de garaje, pisos expuestos y terrazas o estructuras frente al agua, sujetas a humedecimiento continuo	5,0	5,0	7,0	1,0 ^c	0,5	50	18
5M	Hormigón arquitectónico expuesto	3,0	3,0	5,0	1,0 ^c	0,5	50	18
Condición de intemperismo nulo								
1N	Losas sujetas a la abrasión del tráfico, tableros de puentes, pisos, senderos, pavimentos	5,0	—	—	1,0 ^c	0,5	50	—
2N	Todas las demás clases de hormigón	10,0	—	—	1,0 ^c	1,0	50	—

^a Se excluyen de los requisitos del valor de la degradación de la escoria de altos hornos enfriada al aire y titulada. La masa unitaria de escoria de altos hornos enfriada al aire y titulada, obtenida mediante el procedimiento por vaciado o mediante el procedimiento por sacudidas, no debe ser menor que 1 120 kg/m³. La granulometría de la escoria utilizada en el ensayo de masa unitaria debe ajustarse a la granulometría que se utilizará en el hormigón. Se debe determinar el valor de la degradación de la grava, grava titulada o piedra titulada en el tamaño o tamaños de ensayo más aproximados con la granulometría o granulometrías que se utilizarán en el hormigón. Cuando se vaya a utilizar más de una granulometría, se debe aplicar el límite de valor de la degradación a cada una.
^b El límite admisible para la solidez, cuando se utiliza sulfato de sodio, debe ser de 12%.
^c Este porcentaje bajo cualquiera de las siguientes condiciones: (1) puede ser aumentado en 1,5 si el material está esencialmente libre de arcilla o lutita o (2) si se conoce que la fuente del árido fino que va a ser utilizado en el hormigón contiene menos que la cantidad máxima especificada que pasa el tamiz de 75 µm (ver tabla 1). Se puede aumentar el límite del porcentaje (L) de la cantidad en el árido grueso a $L = 1 + (PY)(100 - P) / (T - A)$, donde P = porcentaje arena en el hormigón como un porcentaje del árido total, T = límite indicado en la tabla 1 para la cantidad permitida en el árido fino y A = cantidad real en el árido fino. (Esto proporciona un cálculo ponderado diseñado para limitar la cantidad máxima de material que pasa el tamiz de 75 µm en el hormigón, a aquel que se obtendría si los áridos, fino y grueso, fueran suministrados con el porcentaje máximo tabulado para cada uno de estos ingredientes).
^d También conocido como Horsteno.

Fuente: NTE INEN 872. [33]

1.1.3.3 Agua para mezcla

Esta constituye uno de los factores de mayor importancia en la elaboración de hormigones, ya que facilita la reacción de hidratación del cemento y es la encargada de conferir la trabajabilidad o manejabilidad al hormigón. [12]

La cantidad de esta debe limitarse a la menor cantidad posible debido a que si existe agua en exceso al evaporarse creará una red de poros capilares o vacíos en el hormigón lo que produce la disminución en su resistencia y su durabilidad. [6] [12] [34]

Como pauta general se considera que toda agua que sea apta para el consumo humano será adecuada para elaborar hormigón, en caso de tener acceso a agua de fuentes no potable o a agua que sea producto de las operaciones de producción de hormigón se deberá realizar los ensayos respectivos para indicar que cumple con los requisitos de norma NTE INEN 2617. [12] [35]

Tabla 9. Límites químicos opcionales del agua combinada para la mezcla.

Máxima concentración en el agua de mezcla combinada, ppm ^B	Límites	Normas aplicables
A. Cloruro como Cl ⁻ , ppm 1. Para hormigón pretensado, losas de puentes u otras designaciones 2. Otros hormigones reforzados en ambientes húmedos o conteniendo aluminio embebido u otros metales o con encofrados de metal galvanizado que permanecerán en el sitio.	500 ^C	NTE INEN 160
B. Sulfato como SO ₄ , ppm	1 000 ^C	NTE INEN 160
C. Álcalis como (Na ₂ O + 0,658 K ₂ O), ppm	3 000	NTE INEN 160
D. Total de sólidos en masa, ppm	600	NTE INEN 160
	50 000	ASTM C 1 603
<p>A. Los límites definidos en esta tabla pueden ser especificados como elementos individuales o en conjunto con la sección Información para pedidos de la NTE INEN 1855-1.</p> <p>B. ppm = partes por millón.</p> <p>C. Estos límites para el agua de mezcla se pueden exceder cuando el fabricante demuestre que la suma de todas las fuentes de cloruros en su hormigón no excede los requisitos del ACI 318. Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, se puede ignorar el límite para el cloruro.</p>		

Fuente: NTE INEN 2617. [35]

1.1.3.4 El hormigón

El vocablo hormigón proviene del latín “concretus” que al traducirlo al español significa condensado, endurecido y formado por agregados de otras partes; es una piedra artificial producto de mezclar áridos finos, áridos gruesos, cemento y agua que en debidas cantidades puede fraguar y endurecerse. A esta mezcla durante el proceso de amasado se le puede añadir otros productos como es el caso de los aditivos químicos que tienen la intención de mejorar determinadas propiedades como puede ser la trabajabilidad, alcanzar una mayores resistencias o a su vez una menor densidad, etc. [13] [34]

Este material ha alcanzado una enorme importancia como material estructural debido a que puede adecuarse con facilidad a una gran variedad de moldes gracias a que posee una consistencia plástica al momento de encontrarse en estado fresco. Al igual que los materiales pétreos el hormigón es un material con alta resistencia a la compresión, pero frágil ante las solicitaciones de fuerzas de tracción por lo que se utiliza barras de acero que en combinación con este lo vuelve un material resistente a esfuerzos de tracción; a la unión de estos dos materiales se la denomina hormigón armado. [13] [36]

Figura 4. Componentes del hormigón.

HORMIGÓN	Aire	1% al 3% del volumen	
	Sólidos	Pasta o Matriz (Aprox. 25% del volumen)	Cemento (C) + Agua (W)
		Relleno (Aprox. 75% del volumen)	Arena (A) + Ripio (R)

Fuente: Medina S. [6]

1.1.3.4.1 Dosificación del hormigón

Es un proceso mediante el cual se obtiene la combinación correcta y más económica de cemento, agua, agregados y en ciertos casos aditivos, para la elaboración de hormigón según especificaciones y/o características exigidas en el proyecto. Este es un procedimiento complejo ya que depende de distintos factores como las propiedades del hormigón requerido, las características de los materiales empleados, los medios de fabricación, transporte y colocación. [37]

1.1.3.4.1.1 Método de la Densidad Óptima

El Método de la Densidad Óptima tiene como base la creación de una roca artificial en la cual los vacíos que dejan los agregados fino y grueso serán rellenados con la pasta cementicia considerando que:

- El volumen aparente de vacíos que dejan las partículas de agregado grueso serán llenadas por agregado fino.
- La mezcla de agregados fino y grueso en su Densidad Óptima tendrá un porcentaje de vacíos, el mismo que deberá ser rellenado por la pasta de cemento y agua; a su vez esta pasta deberá recubrir todas las partículas de modo que constituya un nexo entre ellas. [6] [38]

1.1.3.4.1.1.1 Requerimientos

A continuación, se detallan los datos necesarios para dosificar un hormigón aplicando el Método de la Densidad Óptima

Tabla 10. Datos para la dosificación por el Método de la Densidad Óptima.

REQUERIMIENTOS	NOMENCLATURA
Resistencia del hormigon a los 28 días	f _c
Asentamiento en el Cono de Abrams	Asent
Densidad Real del Cemento	DRC
Densidad Real del Arena	DRA
Densidad Real del Ripio	DRR
Densidad Aparente Suelta del Arena	DASA
Densidad Aparente Suelta del Ripio	DASR
Porcentaje Óptimo de Arena	POA
Porcentaje Óptimo de Ripio	POR
Densidad Óptima de la Mezcla	DOM

Fuente: Garzón M. [38]

1.1.3.4.1.1.2 Fórmulas y procedimiento para el cálculo de 1 m³ de hormigón

1. Calcular la Densidad Real de la Mezcla (DRM).

$$DRM = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

2. Calcular el Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV).

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} * 100$$

3. Seleccionar la relación agua cemento W/C de acuerdo a la resistencia a la compresión para la cual se va a diseñar la mezcla de acuerdo a la Tabla 11.

Tabla 11. Resistencia a la compresión del hormigón basada en la relación agua/cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días en Mpa (f'c)	Relación Agua/Cemento (W/C)
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Fuente: Garzón M. [38]

- Determinar la cantidad de pasta necesaria en función del asentamiento requerido de acuerdo a la Tabla 12.

Tabla 12. Cantidad de pasta en función del asentamiento.

Asentamiento en cm	Cantidad de Pasta en %
0-3	POV + 2% + 3%(POV)
3-6	POV + 2% + 6%(POV)
6-9	POV + 2% + 8%(POV)
9-12	POV + 2% + 11%(POV)
12-15	POV + 2% + 13%(POV)

Fuente: Garzón M. [38]

- Calcular la cantidad de cemento (C).

$$C = \frac{CP}{W/C + \frac{1}{DRC}}$$

6. Calcular la cantidad de agua (W).

$$W = W/C * C$$

7. Calcular la cantidad de arena (A).

$$A = (1000 - CP) * DRA * \frac{POA}{100}$$

8. Calcular la cantidad de ripio (R).

$$R = (1000 - CP) * DRR * \frac{POR}{100}$$

9. Dosificar al peso.

$$\text{Dosificación de un material} = \frac{\text{Cantidad de Material}}{\text{Cantidad de Cemento}}$$

1.1.3.4.2 Propiedades del hormigón en estado fresco

El hormigón en estado fresco o plástico es el producto inmediato del amasado de sus componentes (cemento, agregado fino, agregado fresco, agua y en ciertos casos algún

aditivo) hasta el inicio del fraguado y tiene como propiedades fundamentales las siguientes: [39]

1. Trabajabilidad o docilidad

Es la facilidad que tiene el hormigón para ser mezclado, manipulado y colocado en su lugar de destino con los medios de compactación que se dispongan. [39] [40]

La trabajabilidad depende de los siguientes factores:

- Cantidad de agua para la mezcla.
- Contenido de agregado fino.
- Forma y tamaño de los áridos.
- Cantidad y finura del cemento.
- Presencia de cenizas.
- Presencia de aditivos plastificantes. [6] [41]

2. Consistencia

Es la capacidad del hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma determinada. [39]

La consistencia del hormigón varía con multitud de factores como: cantidad de agua para la mezcla, tamaño máximo, forma y granulometría de los agregados. Siendo el factor más influyente la cantidad de agua que se utiliza para el amasado o mezcla. [6]

Tabla 13. Clasificación de las consistencias según el asentamiento medido en el cono de Abrams.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (mm)	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigón de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20 a 35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi-seca	35 a 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	50 a 100	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Húmeda	100 a 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos «in situ»	Bombeo, tubo-embudo, tremie	Normalmente no adecuados para vibrarse

Fuente: INECYC y APRHOEC. [14]

3. Homogeneidad

Es la distribución regular alrededor de toda la masa de cada uno de los componentes del hormigón en las mismas proporciones de forma que si se toman dos o más muestras de distintos lugares resulten prácticamente similares. [6] [39]

Esta propiedad tiene distintos requerimientos con el propósito de evitar la decantación o segregación del árido como son:

- Buen amasado.
- Transporte cuidadoso.
- Vertido adecuado. [42]

1.1.3.4.3 Propiedades del hormigón en estado endurecido

El hormigón en estado endurecido es el producto del fraguado final de la mezcla, este está compuesto por áridos, pasta de cemento y una red de vacíos o poros producto de la evaporación del agua y del aire ocluido en el amasado. Este gradualmente va perdiendo humedad y adquiriendo resistencia y tiene como propiedades fundamentales las siguientes: [39]

1. Densidad

La densidad está definida como la relación entre la masa del hormigón y el volumen ocupado, depende de factores como la naturaleza y granulometría de los agregados, del método utilizado para la compactación y de la cantidad de aire ocluido, su valor oscilará entre 2000 kg/m^3 y 2600 kg/m^3 para el caso de hormigones ordinarios. [6] [42] [41]

2. Compacidad

Es un valor ligado a la densidad que dependerá de los mismos factores que esta, especialmente del método utilizado para la compactación. Se define como la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados en la elaboración del hormigón lo permitan. [6] [39]

Una buena compactación a más de proporcionar una mayor resistencia mecánica también permite obtener una mejor resistencia física y química debido a que si el hormigón contiene la mínima cantidad de vacíos o porosidades las vías de penetración de los agentes perjudiciales serán limitadas mejorando así la durabilidad del hormigón. [6] [42]

3. Permeabilidad

Es el grado de facilidad con que el hormigón permite la penetración o paso de un fluido (líquido o gaseoso), esta propiedad es consecuencia de la porosidad o vacíos que posee el hormigón, de un método de compactación inadecuado en la elaboración y de la exudación. [6] [41]

El factor más influyente en la permeabilidad es la relación agua/cemento (W/C) ya que cuanto mayor sea esta relación mayor será la permeabilidad que el hormigón presente. [39]

4. Durabilidad o resistencia al desgaste

Es la capacidad que un hormigón tiene a resistir el paso del tiempo sin perder su forma, calidad y serviciabilidad debido a la acción de factores ambientales. [43]

5. Resistencia mecánica

Es la capacidad que tiene el hormigón para soportar la acción de cargas de sin agrietarse ni romperse. [39] [41]

Esta resistencia depende de múltiples factores como:

- **Clase de sollicitación:** compresión, tracción, flexión.
- **Tipo de carga:** estática, dinámica, cíclica.
- **Forma de los especímenes:** cilíndricas, cúbicas, prismáticas.
- **Edad en días:** 7, 14, 21, 28, etc.
- **Velocidad de aplicación de la carga:** instantánea, diferida, cuasiestática. [42]

1.1.3.5 Curado del hormigón

Se puede definir como el conjunto de acciones cuyo objetivo es proveer las condiciones adecuadas para la hidratación del cemento en hormigones y morteros con el propósito de garantizar la calidad de los mismos. Este proceso podrá realizarse mediante riego directo que no produzca deslavado o a través de un material adecuado que no contenga sustancias nocivas para el hormigón y sea capaz de retener la humedad, además, el curado debe prologarse hasta que el hormigón haya alcanzado como mínimo el 70% de la resistencia del proyecto. [10]

De acuerdo con la norma NTE INEN 2528, todos los especímenes deberán ser curados en húmedo a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ ($73.5\text{ °F} \pm 3.5\text{ °F}$) y una humedad relativa mayor al 95% con el propósito de prevenir las pérdidas de humedad desde el momento del moldeo de los especímenes hasta el día del ensayo de compresión. [44]
[45]

1.1.3.6 Resistencia a la compresión

La resistencia del hormigón es un indicador de la capacidad que presenta este material ante las sollicitaciones a las cuales se encuentra sometido, se determina por lo general a la edad de 28 días mediante un cuerpo de ensayo cilíndrico de tamaño normalizado

(100 x 200 mm y 150 x 300 mm), los cuales se hallan bajo la acción de una carga de compresión ejercida mediante una prensa hasta llegar a la fractura, siendo la resistencia a la compresión igual a la presión ejercida que provoca la falla o rotura de la probeta. [21] [46]

Para calcular la resistencia a la compresión de un espécimen de hormigón se divide la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal de este.

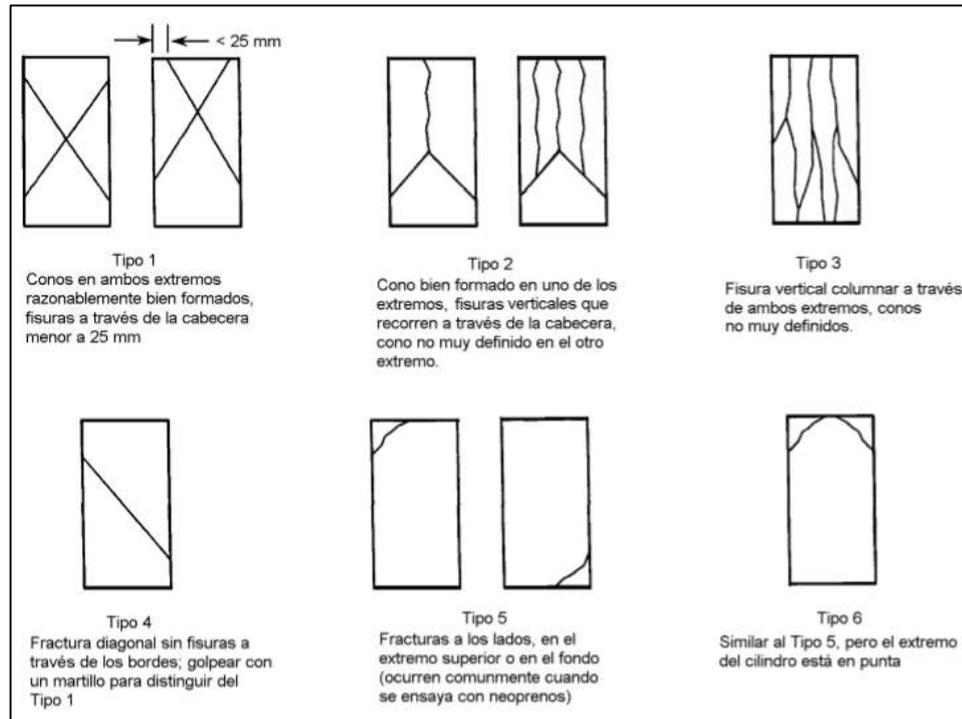
Los valores de resistencia a la compresión obtenidos en los ensayos dependerán de:

- Tamaño del espécimen.
- Forma del espécimen.
- Dosificación.
- Proceso de mezclado.
- Método de muestreo, moldeado y fabricación.
- Edad del espécimen.
- Temperatura de curado.
- Condiciones de humedad durante el periodo de curado. [9]

El ensayo para determinar la resistencia a la compresión de probetas de hormigón elaboradas a partir de cemento hidráulico debe hacerse en probetas en estado húmedo y consiste en aplicar una carga axial de compresión a los especímenes a una velocidad de movimiento normalizada de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s hasta que ocurra la falla de la misma. [9]

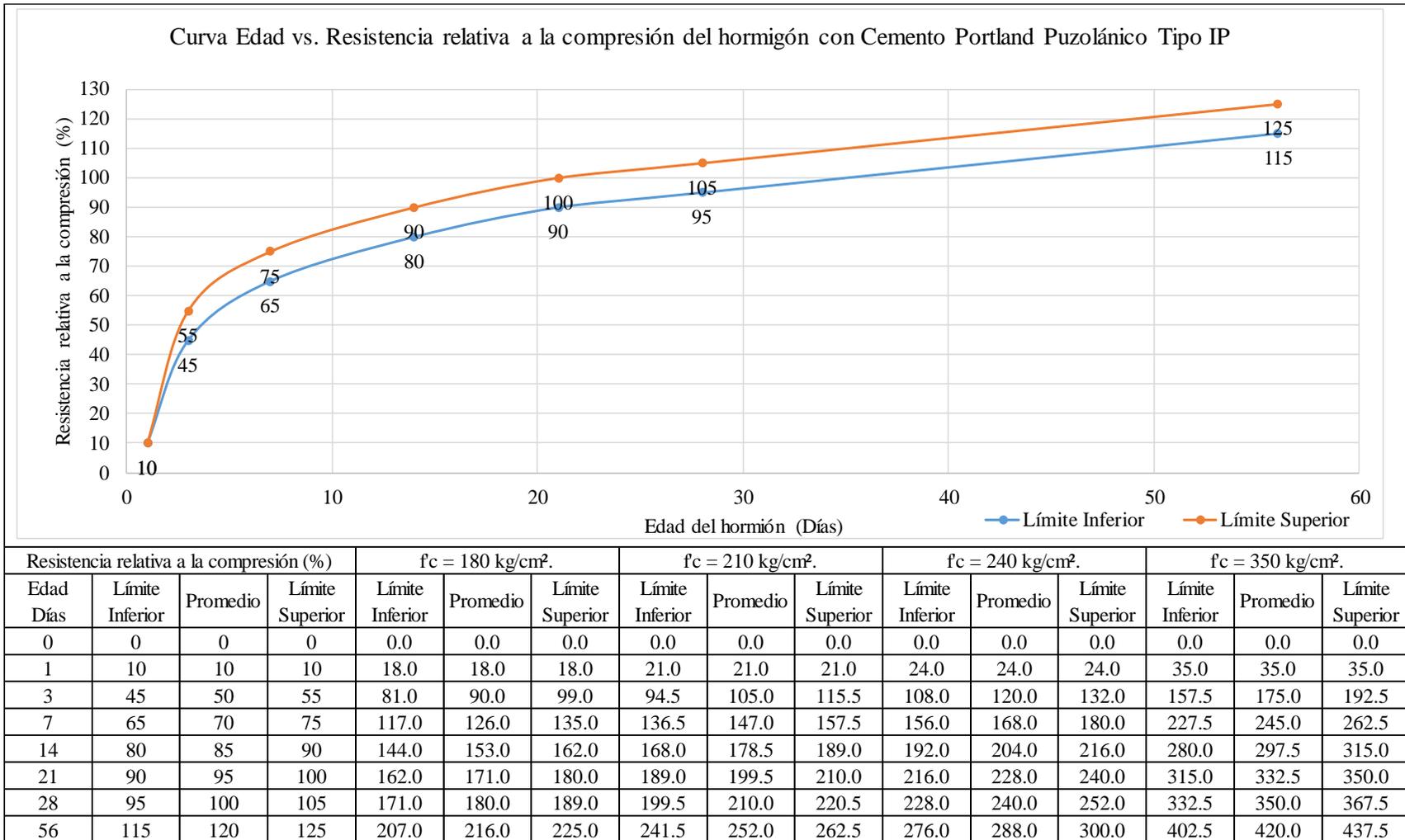
La falla que presenten los especímenes ensayados pueden ser de 6 tipos y se detallan en la Figura 5, de estas fallas los esquemas 5 y 6 corresponden a cilindros ensayados con neoprenos.

Figura 5. Esquema de los modelos típicos de fractura



Fuente: NTE INEN 1573. [9]

Tabla 14. Resistencias a la compresión más comunes del hormigón

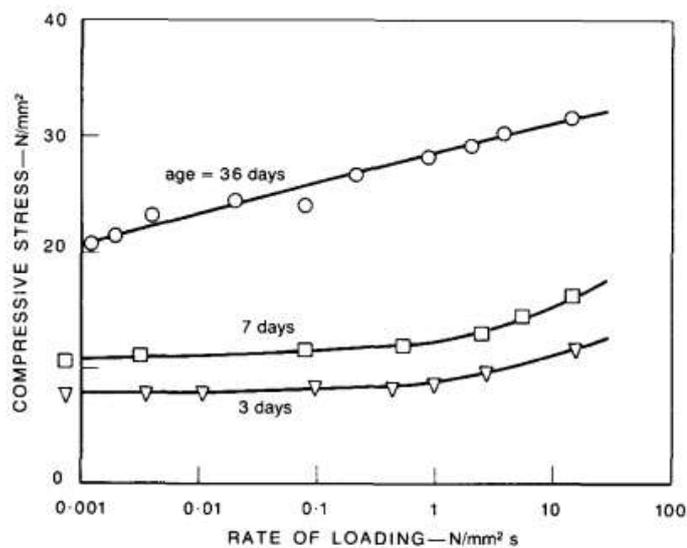


Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales – FICM – UTA. [47]

1.1.3.7 Relación entre la velocidad de carga y la resistencia a la compresión

Diferentes velocidades de carga tienen efectos significativos sobre los valores de la resistencia a la compresión, con el aumento de la velocidad de carga se produce un aumento en la resistencia a la compresión debido a que la superficie de fractura tiende a disminuir mientras que a velocidades de carga bajas la resistencia a la compresión será menor debido a que las grietas tienen más tiempo para propagarse hacia las partes más débiles de la probeta. [2]

Figura 6. Relación entre el esfuerzo a compresión y la velocidad de carga para especímenes de hormigón de diferentes edades.



Fuente: Kaplan S. [48]

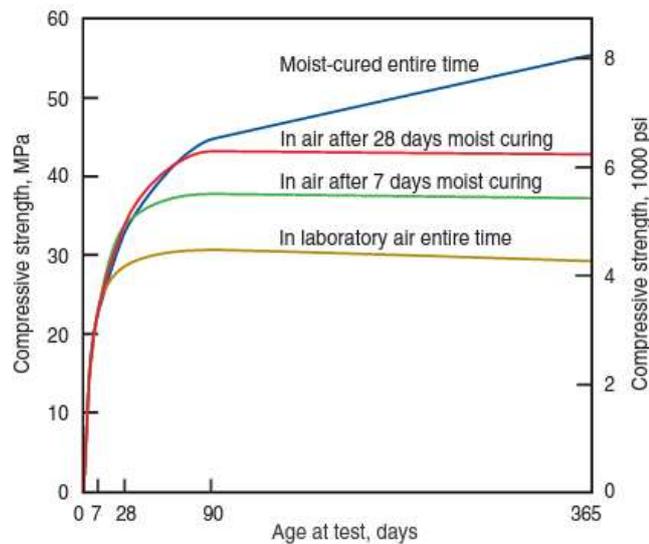
1.1.3.8 Relación entre el curado y la resistencia a la compresión

Como se mencionó anteriormente la resistencia del hormigón está en función de la edad de los especímenes y de las condiciones de humedad durante el periodo de curado por mencionar algunos factores, obteniéndose de este modo mayores resistencias a períodos de curado más grandes, es decir, el período curado es directamente

proporcional a la resistencia a la compresión siempre y cuando este bajo condiciones de humedad y temperatura adecuados. [46]

La principal consecuencia de no curar el hormigón es la pérdida de resistencia puesto que se interrumpe la reacción química entre el agua y el cemento la misma que es la encargada del endurecimiento y el desarrollo de la resistencia. Otra consecuencia es que la durabilidad del hormigón también se verá afectada debido a que el número de poros en la capa superficial incrementa debido a la evaporación del agua lo que permite la entrada de agentes perjudiciales. [49]

Figura 7. Efecto del tiempo de curado húmedo en la ganancia de resistencia del hormigón.



Fuente: Kosmatka S., Kerkhoff B., Panarese W. [50]

1.1.3.9 Relación entre el tamaño del espécimen y la resistencia a la compresión

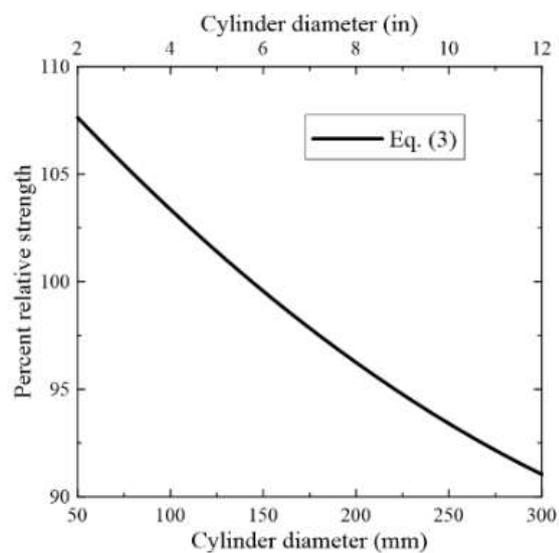
Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión deben ser cilindros de hormigón que deben fraguar en posición vertical. Adicionalmente, la longitud debe ser el doble del diámetro y a su vez el diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces

el tamaño máximo nominal del árido grueso. Para ensayos de aceptación de la resistencia a la compresión especificada, los cilindros deben ser de 150 mm x 300 mm o de 100 mm x 200 mm. [8] [51]

Pese a que la diferencia de resistencia entre los dos tamaños de especímenes no es significativa es importante considerar como influye el tamaño de la probeta en los resultados del ensayo de resistencia.

El efecto del tamaño del espécimen en la resistencia a la compresión se debe al tamaño nominal máximo del agregado y a que el concreto es un material compuesto formado a partir de la mezcla de materiales de resistencias variables, estas variaciones de resistencias provocan que cuanto mayor sea el volumen de hormigón sometido al esfuerzo de compresión mayor sea la probabilidad de que contenga un elemento defectuoso de resistencia extrema baja que provoque que el espécimen falle por debajo de la resistencia a la compresión ideal. [52] [53] [8]

Figura 8. Resistencia a la compresión de los cilindros en relación con el cilindro estándar (150x300mm)



Fuente: Thomas R. y Peethamparan A. [53]

1.1.4 Hipótesis

Las diferentes velocidades de carga, tipos de curado y tamaño del espécimen influyen sobre los valores de la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar la influencia de la velocidad de carga, curado y tamaño del espécimen en la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar la dosificación del hormigón (Método de la Densidad Óptima) y elaboración de probetas utilizando agregados de la Cantera Salvador, para una resistencia cilíndrica a compresión de 210 kg/cm^2 .
2. Determinar la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón, aplicando dos velocidades de carga diferentes (3 probetas por velocidad) a las edades de 7, 14, 28 días.
3. Determinar la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón sin curar y curado (3 probetas por tipo de curado) a las edades de 7, 14, 28 días.
4. Determinar la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón en probetas de dimensiones $100 \times 200 \text{ mm}$ y $150 \times 300 \text{ mm}$ (3 probetas por tamaño) a las edades de 7, 14, 28 días.
5. Analizar y comparar numérica y gráficamente los resultados de las resistencias a compresión obtenidas en los ensayos de cada muestra, de acuerdo a las diferentes variables establecidas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y equipos

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se emplearon los siguientes materiales y equipos que se detallan a continuación para cada uno de los ensayos realizados:

Tabla 15. Materiales y equipos

ENSAYO	NORMA	MATERIALES	EQUIPOS
Densidad real del cemento	NTE INEN 156 ASTM C 188	Cemento tipo GU Gasolina	Picnómetro Pipeta Embudo Balanza
Granulometría los agregados	NTE INEN 696 ASTM C 136	Agregado fino Agregado grueso	Tamizadora Tapa Serie de tamices 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 Serie de tamices 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4 Fuentes Balanza Recipientes metálicos Brocha

Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino	NTE INEN 856 ASTM C 128	Agregado fino Agua potable	Tamiz No. 4 Bandeja metálica Cono de absorción Pisón de acero Recipiente metálico Balanza Picnómetro Embudo Pipeta Horno eléctrico
Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso	NTE INEN 857 ASTM C 127	Agregado grueso Agua potable	Balde Recipiente metálico Balanza Canastilla Horno eléctrico
Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	NTE INEN 858 ASTM C 29	Agregado fino Agregado grueso	Bandeja metálica Pala Recipiente metálico graduado Varilla de compactación Balanza
Densidad combinada de los agregados	NTE INEN 858 ASTM C 29	Agregado fino Agregado grueso	Bandeja metálica Pala Recipiente metálico graduado Varilla de compactación Balanza
Contenido de humedad de los agregados	NTE INEN 862 ASTM C 566	Agregado fino Agregado grueso	Recipientes metálicos Balanza Horno eléctrico

Elaboración y curado de los especímenes	NTE INEN 3124 y ASTM C 192	Cemento tipo GU Agregado fino Agregado grueso Agua potable	Concreteira Pala Balanza Parihuelas Recipientes Probeta Carretilla Varilla de compactación Moldes cilíndricos de 100x200 mm Moldes cilíndricos de 150x300 mm Pala de mano Martillo de goma Palustre Cámara de curado
Asentamiento del hormigón	NTE INEN 1578 ASTM C 143	Hormigón fresco	Bandeja metálica Cono de Abrams Varilla de compactación Cronometro Flexómetro
Densidad en estado fresco del hormigón	NTE INEN 1579 ASTM C 138	Especímenes de hormigón en estado fresco	Balanza
Resistencia a la compresión y densidad en estado endurecido del hormigón	NTE INEN 1573 y ASTM C 39	Especímenes de hormigón endurecido	Balanza Flexómetro Máquina de compresión modelo Shimadzu Concreto 2000X Platos de retención

			Pads de neopreno Computadora con software Brocha
--	--	--	---

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

2.2 Métodos

2.2.1 Niveles de investigación

En el presente trabajo experimental se empleó los niveles o tipos de investigación que se detallan a continuación:

- **Investigación exploratoria:** Esta es una investigación de carácter exploratorio y se busca determinar cómo influyen variables como la velocidad de carga, tipo de curado y tamaños de especímenes en la resistencia cilíndrica a compresión de hormigones elaborados con agregados de la Cantera.
- **Investigación descriptiva:** Se busca describir el comportamiento del hormigón ante sollicitaciones de compresión utilizando diferentes velocidades de carga, tipo de curado y tamaños de especímenes en los ensayos de resistencia a la compresión.
- **Investigación correlacional:** Se pretende medir el grado de relación entre las variaciones en la velocidad de carga, tipo de curado y tamaños de especímenes con la resistencia cilíndrica a compresión de hormigones mediante la tabulación de los resultados obtenidos en los ensayos a compresión a diferentes edades.
- **Investigación explicativa:** Se centra en explicar por qué ocurre variaciones en los valores de resistencia cilíndrica a compresión de hormigones cuando se

utilizan distintas velocidades de carga, tipo de curado y tamaños de especímenes para los ensayos.

- **Investigación experimental:** Este tipo de investigación se aplicó al momento de realizar todos los ensayos de laboratorio necesarios para determinar las propiedades de los materiales requeridas para llevar a cabo una dosificación utilizando el Método de la Densidad Óptima y posterior la determinación de las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón.
- **Investigación bibliográfica:** En lo que respecta a la investigación bibliográfica se la aplicó debido a la necesidad de obtener información relacionadas al tema de resistencia a la compresión del concreto en distintas fuentes de consulta como es el caso de libros, artículos científicos, revistas, sitios web, conferencias, normas, tesis, etc. para el adecuado desarrollo de este trabajo.

2.3 Población y muestra

Para el desarrollo de este trabajo experimental la población y la muestra serán iguales y estarán conformadas por los 63 especímenes elaborados con agregados de la Cantera Salvador.

Tabla 16. Población y muestra de estudio.

Variable de estudio	Edad (días)	7	14	28	Total
	Velocidad	0.475 MPa/s	3	3	3
0.25 MPa/s		3	3	3	9
0.025 MPa/s		3	3	3	9
Condición de curado	Curado	3	3	3	9
	Sin curar	3	3	3	9
Tamaño	100x200 mm	3	3	3	9
	150x300 mm	3	3	3	9
Muestra:					63

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

2.4 Plan de recolección de datos

En lo que respecta al proceso de recolección de datos se dividen en cuatro etapas que se detallan a continuación:

2.4.1 Adquisición de los materiales

En primer lugar, para la adquisición de los agregados a utilizarse en el desarrollo de esta investigación experimental es necesario la visita a la Cantera Salvador ubicada en la ciudad de Ambato – Sector Aguaján en donde se procederá a realizar una inspección visual de los depósitos con el objetivo de determinar a simple vista que los agregados tengan buenas propiedades y no contengan muchas impurezas; posterior a esto se realizará la compra y traslado de los agregados junto con el cemento Tipo GU hacia los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica donde se realizará los ensayos de caracterización de cada uno de los materiales.

2.4.2 Determinación de las propiedades de los materiales

Para el diseño de hormigones mediante el Método de la Densidad Óptima es necesario conocer las siguientes propiedades de los materiales:

- Densidad real del cemento de acuerdo las normas NTE INEN 156 y ASTM C 188.
- Análisis granulométrico del agregado fino y grueso de acuerdo a las normas NTE INEN 696 y ASTM C 136.
- Densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino de acuerdo a las normas NTE INEN 856 y ASTM C 128.
- Densidad real y la capacidad de absorción del agregado grueso de acuerdo a las normas NTE INEN 857 y ASTM C 127.

- Densidad aparente suelta y compactada de los agregados fino y grueso de acuerdo a las normas NTE INEN 858 y ASTM C 29.
- Densidad combinada de los agregados de acuerdo a las normas NTE INEN 858 y ASTM C 29.

A partir de los datos obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente se podrá determinar la dosificación para un hormigón con resistencia a la compresión de diseño 210 kg/cm^2 y un asentamiento en el intervalo de 6 a 9 cm, sin embargo, es necesario realizar la corrección por humedad debido al método utilizado considera la hipótesis de que los materiales se encuentran en condición Saturado Superficie Seca; para la corrección por humedad es necesario el siguiente ensayo:

- Contenido de humedad de los agregados de acuerdo a las normas INEN 862 y ASTM C 566.

Con los contenidos de humedad determinados será posible establecer las cantidades corregidas y finales con las que se elaborará cada una de las mezclas.

2.4.3 Elaboración y curado de especímenes

La elaboración y curado de los especímenes se llevará a cabo de acuerdo a las normas NTE INEN 3124 y ASTM C 192, siendo necesario que durante el proceso de fabricación de las probetas se determine las siguientes propiedades:

- Asentamiento del hormigón de acuerdo a las normas NTE INEN 1578 y ASTM C 143.
- Densidad del hormigón en estado fresco de acuerdo a las normas NTE INEN 1579 y ASTM C 138

Una vez que se tenga los especímenes elaborados será necesario etiquetar cada uno de ellos de acuerdo a la edad, la velocidad de carga a aplicarse, tipo de curado y el tamaño de la probeta.

2.4.4 Determinación de las propiedades del hormigón en estado endurecido

Se llevará a cabo ensayos para determinar la resistencia a la compresión y la densidad en estado endurecido de acuerdo a la norma NTE INEN 1573 y ASTM C 39 a las edades de 7, 14 y 28 días.

2.5 Plan de procesamiento y análisis de información

En lo que respecta al procesamiento y análisis de información se determinará los valores de densidad en estado fresco, densidad en estado endurecido, resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días y tipo de fractura que presenta cada uno de los especímenes. Además, para los 27 especímenes que serán ensayados a diferentes velocidades de carga también será necesario determinar el tiempo de ensayo; con todos los datos mencionados anteriormente se procederá a realizar un análisis y comparación tanto numérica como gráfica de los resultados.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Densidad real del cemento

Tabla 17. Densidad real del cemento.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”				
ORIGEN:	Cemento Hidráulico Tipo GU			
FECHA:	06 - Diciembre - 2021			
NORMA:	NTE INEN 156 - ASTM C 188			
ENSAYADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz			
DENSIDAD REAL (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)				
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	163.20	165.00
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	227.20	229.00
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	576.10	577.90
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	348.90	348.90
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	528.90	530.60
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	365.70	365.60
DG=M6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0.73	0.73
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	16.80	16.70
M _C =M2-M1	Masa del cemento	gr	64.00	64.00
V _G =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm ³	22.97	22.84
DRC=M _C /V _G	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2.786	2.802
DRP=DRC/2	Densidad real promedio	gr/cm ³	2.794	

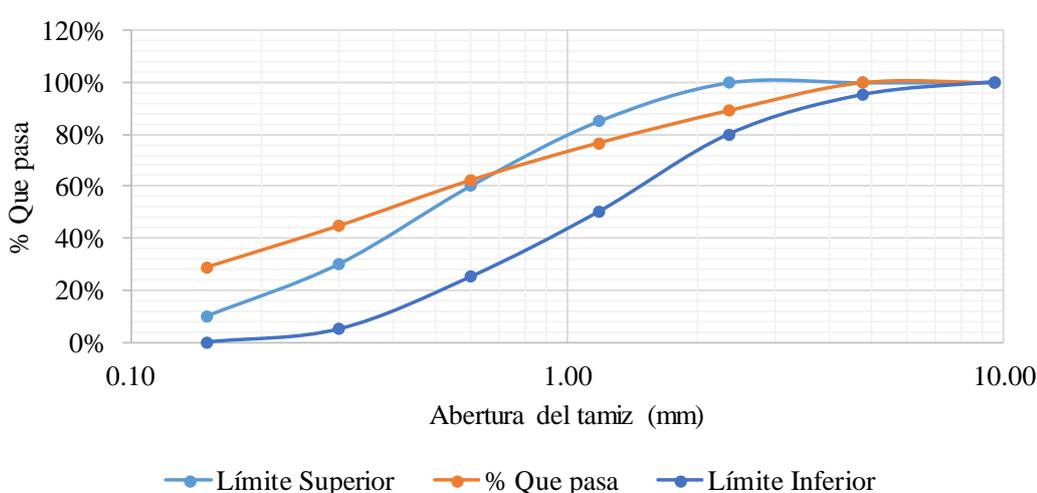
Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 17, se determinó la densidad real del Cemento Tipo GU aplicando el método del picnómetro en dos ensayos, para el primer ensayo se obtuvo una densidad de 2.786 gr/cm^3 , mientras que para el segundo ensayo el valor fue de 2.802 gr/cm^3 . De acuerdo con la norma NTE INEN 156 estos dos valores obtenidos en los ensayos realizados pueden ser aceptados y promediados ya que la diferencia entre ellos no excede los 0.03 gr/cm^3 de modo que la densidad real promedio para el cemento es de 2.794 gr/cm^3 .

A pesar de que la densidad real de los cementos debe estar dentro del intervalo de 2.90 gr/cm^3 a 3.15 gr/cm^3 se aceptará este material ya que la diferencia para alcanzar el límite mínimo del intervalo mencionado anteriormente es de apenas 0.106 gr/cm^3 , además, existen investigaciones anteriores realizadas en distintas universidades dentro del país donde se evidencia que hormigones elaborados con Cemento Tipo GU alcanzan las resistencias para las que se diseñó la mezcla.

3.1.2 Análisis granulométrico del agregado fino

Tabla 18. Análisis granulométrico del agregado fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”						
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				
FECHA:		07 - Diciembre - 2021				
NORMA:		INEN 696 - ASTM C 136				
ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO						
Peso muestra (gr):		1000		Pérdida de muestra (%):		0.11
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites NTE INEN 872 % que pasa
3/8	9.53	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.75	0.3	0.3	0.03%	99.97%	95-100
#8	2.36	106.6	106.9	10.70%	89.30%	80-100
#16	1.18	125.7	232.6	23.29%	76.71%	50-85
#30	0.60	143.9	376.5	37.69%	62.31%	25-60
#50	0.30	174.7	551.2	55.18%	44.82%	5-30
#100	0.15	158.7	709.9	71.07%	28.93%	0-10
#200	0.075	132.2	842.1	84.30%	15.70%	-
FUENTE		156.8	998.9	100.00%	0.00%	-
MÓDULO DE FINURA:				1.98		
CURVA GRANULOMÉTRICA						
 <p>El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje X representando la 'Abertura del tamiz (mm)' en una escala logarítmica (0.10, 1.00, 10.00) y el eje Y representando el '% Que pasa' (0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%). Se observan tres líneas: una azul superior que representa el 'Límite Superior', una azul inferior que representa el 'Límite Inferior', y una naranja que representa el '% Que pasa' real del agregado. El punto de cruce de las líneas superior e inferior ocurre a una abertura de aproximadamente 2.5 mm.</p>						

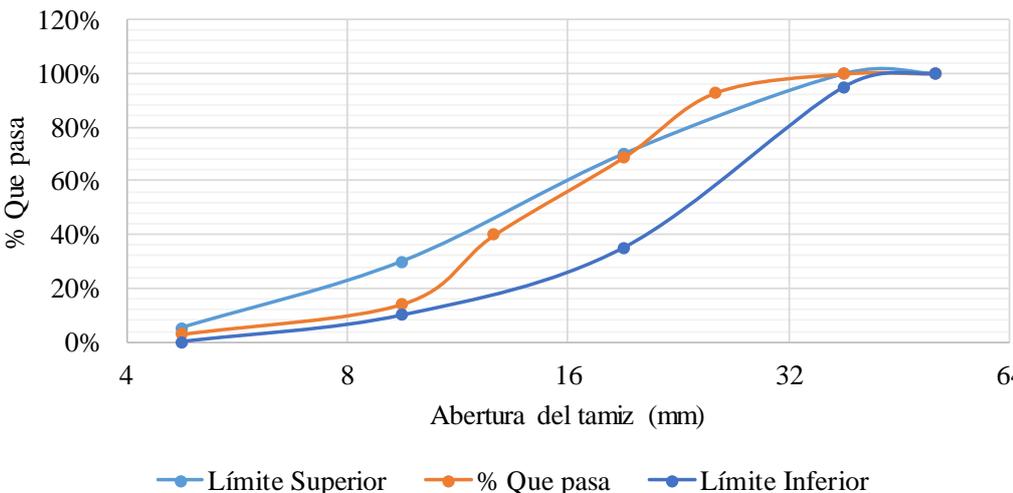
Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 18, se determinó un módulo de finura igual a 1.98 para el agregado fino extraído de la Cantera Salvador, dicho valor no se encuentra dentro del intervalo de 2.3 a 3.1 que estipula la norma NTE INEN 872 para que el material pueda ser utilizado en la elaboración de hormigones.

De acuerdo con la curva granulométrica generada en el ensayo se puede observar que este es un material con una mala distribución de tamaños debido a que la curva generada se encuentra dentro de los límites marcado en la norma NTE INEN 872 únicamente hasta el tamiz No. 16 (1.18 mm) y en adelante los porcentajes que pasan exceden los valores marcados para el límite superior de la norma, además, el que tenga un módulo de finura menor a 2 indica que es un agregado muy fino o extra finos por lo que no es recomendado su uso por cuestiones de superficie específica, sin embargo, para fines de investigación se acepta este material debido a que existe una investigación previa realizada en la Universidad Central del Ecuador donde se determinó un módulo de finura igual a 2.5 para los materiales de la misma cantera, valor que es aceptado según la normativa.

3.1.3 Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 19. Análisis granulométrico del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”						
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				
FECHA:		07 - Diciembre - 2021				
NORMA:		INEN 696 - ASTM C 136				
ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO						
Peso muestra (gr):		10000		Pérdida de muestra (%):		0.02
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% Que pasa	Límites NTE INEN 872 % que pasa
2"	50.80	0	0	0.00%	100.00%	100
1 ½"	38.10	0	0	0.00%	100.00%	95 - 100
1"	25.40	711	711	7.11%	92.89%	-
¾"	19.05	2410	3121	31.22%	68.78%	35 - 70
½"	12.70	2882	6003	60.04%	39.96%	-
3/8"	9.53	2565	8568	85.70%	14.30%	10 - 30
#4	4.75	1132	9700	97.02%	2.98%	0 - 5
BANDEJA		298	9998	100.00%	0.00%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				1"		
CURVA GRANULOMÉTRICA						
 <p>El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje Y representando el '% Que pasa' (de 0% a 120%) y el eje X representando la 'Abertura del tamiz (mm)' (de 4 a 64). Se observan tres líneas: una azul superior que indica el límite superior, una azul inferior que indica el límite inferior, y una naranja que representa el porcentaje que pasa real. El porcentaje que pasa real se encuentra dentro de los límites establecidos por el estándar INEN 872.</p>						

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 19, se determinó un tamaño nominal máximo igual a 1” para el agregado grueso extraído de la Cantera Salvador, lo que permite la aceptación del material debido a que el diámetro mínimo de los especímenes a elaborarse (100x200mm) a partir de dicho agregado es al menos 3 veces el tamaño nominal máximo determinado en el ensayo.

De acuerdo con la curva granulométrica generada en el ensayo se puede observar que este es un material con buena distribución de tamaños debido a que la curva generada a pesar de tener una tendencia hacia el límite superior marcado en la norma NTE INEN 872 se encuentra dentro de los límites a excepción del porcentaje que pasa el tamiz de 1” (25.4 mm).

3.1.4 Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Tabla 20. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”			
ORIGEN:	Cantera Salvador - Ambato - Aguaján		
FECHA:	07 - Diciembre - 2021		
NORMA:	INEN 856 - ASTM C 128		
ENSAYADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz		
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO FINO			
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro	gr	153.20
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	203.10
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	681.00
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	477.90
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	651.30
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	498.10
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0.996
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	20.20
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	49.90
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	20.28
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.461
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	31.90 32.30
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	189.50 194.40
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	157.60 162.10
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	187.05 191.80
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	155.15 159.50
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.58 1.63
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.60

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 20, se determinó una densidad real para el agregado fino extraído de la Cantera Salvador con un valor igual a 2.461 gr/cm³ mismo valor que indica una calidad admisible del material debido a que buen árido debe tener una densidad real superior a 2.6 gr/cm³ y no menor a 2.3 gr/cm³.

Por otro lado, se determinó una capacidad de absorción igual a 1.60% valor que se ubica dentro del intervalo recomendado de 0.2% a 2% para agregados finos y que atribuye una calidad aceptable al material debido a que mientras más alto sea este valor menor calidad tendrá el agregado debido a que el porcentaje de vacíos que posee la partícula será más elevado lo que posibilita una mayor absorción de agua.

3.1.5 Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Tabla 21. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”			
ORIGEN:	Cantera Salvador - Ambato - Aguaján		
FECHA:	07 - Diciembre - 2021		
NORMA:	INEN 857 - ASTM C 127		
ENSAYADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz		
DENSIDAD REAL DEL AGREGADO GRUESO			
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1171.20
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1027.00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4926.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	3252.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	3754.80
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	2225.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	1529.80
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2.454
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	30.80 32.40
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	219.60 213.90
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	188.80 181.50
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	212.54 207.79
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	181.74 175.39
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	3.88 3.48
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	3.68

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 21, se determinó una densidad real para el agregado grueso extraído de la Cantera Salvador con un valor igual a 2.454 gr/cm³ mismo valor que indica una calidad admisible del material debido a que buen árido debe tener una densidad real superior a 2.6 gr/cm³ y no menor a 2.3 gr/cm³.

Por otro lado, se determinó una capacidad de absorción igual a 3.68% valor que se ubica dentro del intervalo recomendado de 0.2% a 4% para agregados gruesos y que atribuye una calidad aceptable al material debido a que mientras más alto sea este valor menor calidad tendrá el agregado debido a que el porcentaje de vacíos que posee la partícula será más elevado lo que posibilita una mayor absorción de agua.

3.1.6 Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

Tabla 22. Densidad aparente suelta y compactada de los agregados.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”				
ORIGEN:	Cantera Salvador - Ambato - Aguaján			
FECHA:	08 - Diciembre - 2021			
NORMA:	INEN 858 - ASTM C 29			
ENSAYADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS				
Masa del recipiente (kg):	9.99			
Volumen del recipiente (dm³):	20.22			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
Grueso	38.00	28.01	1.39	1.385
	38.00	28.01	1.39	
Fino	42.10	32.11	1.59	1.593
	42.30	32.31	1.60	
DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS				
Masa del recipiente (kg):	9.99			
Volumen del recipiente (dm³):	20.22			
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm ³)	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
Grueso	35.90	25.91	1.28	1.296
	36.50	26.51	1.31	
Fino	39.50	29.51	1.46	1.459
	39.50	29.51	1.46	

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 22, se determinó la densidad aparente para el agregado grueso extraído de la Cantera Salvador en condición suelta y compactada con un valor de 1.296 kg/dm^3 y 1.385 kg/dm^3 respectivamente, en cambio, para el agregado fino se obtuvo un valor de 1.459 kg/dm^3 en condición suelta y 1.593 kg/dm^3 en condición compactada.

Al comparar los resultados de las densidades aparentes para el caso de ambos agregados se puede evidenciar que los valores de estas densidades serán mayores en condición compactada debido a que el proceso de varillado ayuda a reducir los vacíos entre partículas. Por otro lado, las densidades aparentes para el agregado fino superan a las densidades del agregado grueso en condición suelta y compactada debido a que la forma y tamaño de las partículas le permiten tener un mejor acomodamiento dentro del recipiente y por ende un peso dentro del recipiente que genera una mayor densidad.

3.1.7 Densidad aparente compactada de la mezcla

Tabla 23. Densidad aparente compactada de la mezcla.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
 								
"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN"								
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján						
FECHA:		07 - Diciembre - 2021						
NORMA:		INEN 858 - ASTM C 29						
ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz						
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
Masa del recipiente (kg):		9.99						
Volumen del recipiente (dm³):		20.22						
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio (kg/dm ³)
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	Agregado Fino + Grueso			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	38.00	28.01	1.385	1.385
					38.00	28.01	1.385	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	40.30	30.31	1.499	1.514
					40.90	30.91	1.529	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	43.90	33.91	1.677	1.657
					43.10	33.11	1.637	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	46.40	36.41	1.801	1.798
					46.30	36.31	1.796	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	46.80	36.81	1.820	1.830
					47.20	37.21	1.840	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	47.20	37.21	1.840	1.840
					47.20	37.21	1.840	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	46.60	36.61	1.811	1.813
					46.70	36.71	1.816	
Porcentaje Óptimo vs Densidad Aparente								
Porcentaje máximo de agregado fino (%)						50.00%		
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)						50.00%		
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)						46.00%		
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)						54.00%		
Densidad máxima de la mezcla (gr/cm³)						1.840		
Densidad óptima de la mezcla (gr/cm³)						1.840		

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 23, se determinó la densidad óptima de la mezcla de agregados con un valor igual a 1.840 gr/cm^3 la misma que se obtuvo con un porcentaje óptimo de agregado fino del 46% y un porcentaje óptimo de agregado grueso que fue de 54%.

3.1.8 Contenido de humedad de los agregados

Tabla 24. Contenido de humedad de los agregados.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”				
ORIGEN:	Cantera Salvador - Ambato - Aguaján			
FECHA:	07 - Diciembre - 2021			
NORMA:	INEN 862 - ASTM C 566			
ENSAYADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz			
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO				
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	32.98	33.19
M2	Masa del recipiente + muestra húmeda	gr	146.80	141.70
M3	Masa del recipiente + muestra seca	gr	142.97	138.85
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	3.83	2.85
M5=M3-M1	Masa de la muestra seca	gr	109.99	105.66
W%=M4/M5	Contenido de humedad	%	3.48	2.70
P2=(M4+M5)/2	Contenido de humedad promedio	%	3.09	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO				
NOMENCLATURA	DENOMINACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	30.52	30.30
M2	Masa del recipiente + muestra húmeda	gr	184.80	178.90
M3	Masa del recipiente + muestra seca	gr	181.72	175.02
M4=M2-M3	Masa del agua	gr	3.08	3.88
M5=M3-M1	Masa de la muestra seca	gr	151.20	144.72
W%=M4/M5	Contenido de humedad	%	2.04	2.68
P2=(M4+M5)/2	Contenido de humedad promedio	%	2.36	

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 24, se determinó un contenido de humedad para el agregado fino extraído de la Cantera Salvador igual a 3.09%, mientras que para el agregado grueso fue de 2.36%, estos valores son relativamente bajos debido a que los agregados fueron sometidos a un ligero proceso de secado porque al momento de la adquisición se encontraban en condición de humedad saturado superficie húmeda.

3.1.9 Dosificación por el Método de la Densidad Óptima

Tabla 25. Dosificación por el método de la densidad óptima.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”					
FECHA:	08 - Diciembre - 2021				
ELABORADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
DOSIFICACIÓN POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓPTIMA					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS		
f _c	210	kg/cm ²	W/C	0.58	
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)	
DRC	2.794	gr/cm ³	CÁLCULOS		
DRA	2.461	gr/cm ³	DRM	2.457	kg/dm ³
DRR	2.454	gr/cm ³	POV	25.12	%
DSA	1.459	gr/cm ³	CP	291.26	dm ³
DSR	1.296	gr/cm ³	C	310.55	kg
POA	46	%	W	180.12	lts
POR	54	%	A	802.31	kg
DOM	1.840	gr/cm ³	R	939.36	kg
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material		Cantidad en kg por m ³ de hormigón		Dosificación al peso	
W		180.12		0.58	
C		310.55		1.00	
A		802.31		2.58	
R		939.36		3.02	
Densidad del hormigón fresco:		2232.34		kg/m ³	
NOMENCLATURA:					
f _c	Resistencia a compresión de diseño		W/C	Relación Agua Cemento	
DRC	Densidad Real del Cemento		CP (%)	Cantidad de Pasta en %	
DRA	Densidad Real del Arena		DRM	Densidad Real de la Mezcla	
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos	
DSA	Densidad Suelta del Arena		CP	Cantidad de Pasta	
DSR	Densidad Suelta del Ripio		C	Cantidad de Cemento	
POA	Porcentaje Óptimo de Arena		W	Cantidad de Agua	
POR	Porcentaje Óptimo de Ripio		A	Cantidad de Arena	
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla		R	Cantidad de Ripio	

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 25, se determinó la dosificación mediante el método de la densidad óptima para un hormigón que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6 a 9 cm bajo la suposición de que los materiales se encuentran en condición de humedad Saturado Superficie Seca, las cantidades determinadas en función de kg por m^3 de hormigón fueron: Agua (W) 180.12 kg/m^3 , Cemento (C) 310.55 kg/m^3 , Arena (A) 802.31 kg/m^3 , Ripio (R) 939.36 kg/m^3 . Su dosificación al peso es de 0.58 Agua (W), 1 Cemento (C), 2.58 Arena (A) y 3.02 Ripio (R). También se determinó que la densidad del hormigón en estado fresco será de 2232.34 kg/m^3 la misma que se encuentra dentro del intervalo de 2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3 que es característico para hormigones ordinarios.

3.1.10 Dosificación corregida de la Mezcla 1

Tabla 26. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes velocidades de carga.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”					
FECHA:	08 - Diciembre - 2021				
ELABORADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN A SER ENSAYADO A DIFERENTES VELOCIDADES DE CARGA					
Diametro del espécimen (mm):	100	Volumen del espécimen (m³):	0.0016		
Altura del espécimen (mm):	200	Número total de especímenes:	31		
Volumen de hormigón requerido (m³):	0.0487				
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad en kg por m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad para ensayo (kg)		
W	180.12	0.58	8.77		
C	310.55	1.00	15.12		
A	802.31	2.58	39.07		
R	939.36	3.02	45.74		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD					
Material	Capacidad de absorción	Contenido de humedad	Corrección por humedad		Cantidad corregida (kg)
			%	kg	
W	-	-	-	0.02	8.79
C	-	-	-	-	15.12
A	1.60	3.09	-1.49	-0.58	39.09
R	3.68	2.36	1.32	0.60	45.76
NOMENCLATURA:					
W	Cantidad de Agua	A	Cantidad de Arena		
C	Cantidad de Cemento	R	Cantidad de Ripio		
NOTA:					
El número necesario de especímenes elaborados a partir de esta mezcla es únicamente 27 sin embargo se incrementan a 31 debido a posibles pérdidas durante la elaboración de los especímenes y porque además se utilizarán 3 cilindros de entre los que se elaborarán para probar las velocidades con las que se ensayará definitivamente las muestras.					

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 26, se determinó las cantidades necesarias para la elaboración de un hormigón que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6 a 9 cm, tras la corrección por humedad las cantidades finales para elaborar 31 especímenes dentro de los que se incluye un porcentaje de pérdida y 3 especímenes de prueba fueron: Agua (W) 8.79 litros, Cemento (C) 15.12 kg, Arena (A) 39.09 kg y Ripio (R) 45.76 kg.

3.1.11 Dosificación corregida de la Mezcla 2

Tabla 27. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes tipos de curado.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”					
FECHA:	08 - Diciembre - 2021				
ELABORADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN A SER ENSAYADO A DIFERENTES CONDICIONES DE CURADO					
Diametro del espécimen (mm):	100	Volumen del espécimen (m³):	0.0016		
Altura del espécimen (mm):	200	Número total de especímenes:	19		
Volumen de hormigón requerido (m³):	0.0298				
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad en kg por m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad para ensayo (kg)		
W	180.12	0.58	5.38		
C	310.55	1.00	9.27		
A	802.31	2.58	23.95		
R	939.36	3.02	28.04		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD					
Material	Capacidad de absorción	Contenido de humedad	Corrección por humedad		Cantidad corregida (kg)
			%	kg	
W	-	-	-	0.01	5.39
C	-	-	-	-	9.27
A	1.60	3.09	-1.49	-0.36	23.96
R	3.68	2.36	1.32	0.37	28.05
NOMENCLATURA:					
W	Cantidad de Agua	A	Cantidad de Arena		
C	Cantidad de Cemento	R	Cantidad de Ripio		
NOTA:					
El número necesario de especímenes elaborados a partir de esta mezcla es únicamente 18 sin embargo se incrementan a 19 debido a posibles pérdidas durante la elaboración de los especímenes.					

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 27, se determinó las cantidades necesarias para la elaboración de un hormigón que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6 a 9 cm, tras la corrección por humedad las cantidades finales para elaborar 19 especímenes dentro de los que se incluye un porcentaje de pérdida fueron: Agua (W) 5.39 litros, Cemento (C) 9.27 kg, Arena (A) 23.96 kg y Ripio (R) 28.05 kg.

3.1.12 Dosificación corregida de la Mezcla 3

Tabla 28. Dosificación del hormigón a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”					
FECHA:	08 - Diciembre - 2021				
ELABORADO POR:	Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN A SER ENSAYADO A DIFERENTES TAMAÑOS DE ESPECÍMENES					
Diametro del espécimen (mm):	100	Volumen del espécimen (m³):	0.0016		
Altura del espécimen (mm):	200	Número de especímenes:	10		
Diametro del espécimen (mm):	150	Volumen del espécimen (m³):	0.0053		
Altura del espécimen (mm):	300	Número de especímenes:	9		
Volumen total de hormigón requerido (m³):	0.0634				
DOSIFICACIÓN AL PESO					
Material	Cantidad en kg por m³ de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad para ensayo (kg)		
W	180.12	0.58	11.42		
C	310.55	1.00	19.70		
A	802.31	2.58	50.88		
R	939.36	3.02	59.58		
CORRECCIÓN POR HUMEDAD					
Material	Capacidad de absorción	Contenido de humedad	Corrección por humedad		Cantidad corregida (kg)
			%	kg	
W	-	-	-	0.03	11.45
C	-	-	-	-	19.70
A	1.60	3.09	-1.49	-0.76	50.91
R	3.68	2.36	1.32	0.79	59.60
NOMENCLATURA:					
W	Cantidad de Agua	A	Cantidad de Arena		
C	Cantidad de Cemento	R	Cantidad de Ripio		
NOTA:					
El número necesario de especímenes de tamaño 100x200 mm elaborados a partir de esta mezcla es únicamente 9 sin embargo se incrementan a 10 debido a posibles pérdidas durante la elaboración de los especímenes, por otro lado, el número necesario de especímenes de tamaño 150x300 mm es de 9 y no se considera ninguna pérdida debido a que ya fue considerada dentro de los cilindros de 100x200 mm.					

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 28, se determinó las cantidades necesarias para la elaboración de un hormigón que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6 a 9 cm, tras la corrección por humedad las cantidades finales para elaborar 10 especímenes de 100x200mm y 9 de 150x300 mm dentro de los que se incluye un porcentaje de pérdida fueron: Agua (W) 11.45 litros, Cemento (C) 19.70 kg, Arena (A) 50.91 kg y Ripio (R) 59.60 kg.

3.1.13 Propiedades del hormigón en estado fresco

Tabla 29. Propiedades del hormigón a ser ensayado a diferentes velocidades de carga.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 															
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”															
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguján				NORMA:		NTE INEN 1578 (ASTM C 143) - INEN 1579 (ASTM C 138)							
FECHA:		9/12/2021				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz							
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO FRESCO – f'c 210 kg/cm ² .															
Denominación del espécimen	Edad	Masa del molde (kg)	Masa del molde + Hormigón (kg)	Masa del hormigón (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Densidad de la mezcla I (kg/m ³)	Consistencia	Asentamiento (cm)	Trabajabilidad	Homogeneidad
Velocidad 1-1	7	7.699	11.136	3.437	99	198	7697.69	0.0015	2255.04	2225.84	2198.58	Media	7.2	Regular	Buena
Velocidad 1-2	7	7.721	11.160	3.439	99	200	7697.69	0.0015	2233.79						
Velocidad 1-3	7	7.739	11.177	3.438	100	200	7853.98	0.0016	2188.70						
Velocidad N-1	7	4.690	8.472	3.782	104	203	8494.87	0.0017	2193.15	2180.78					
Velocidad N-2	7	4.837	8.559	3.722	104	203	8494.87	0.0017	2158.36						
Velocidad N-3	7	4.718	8.496	3.778	104	203	8494.87	0.0017	2190.83						
Velocidad 2-1	7	7.720	11.158	3.438	99	200	7697.69	0.0015	2233.14	2232.70					
Velocidad 2-2	7	7.717	11.236	3.519	100	200	7853.98	0.0016	2240.26						
Velocidad 2-3	7	7.722	11.147	3.425	99	200	7697.69	0.0015	2224.69						
Velocidad 1-1	14	7.651	11.097	3.446	100	200	7853.98	0.0016	2193.79	2198.67					
Velocidad 1-2	14	7.750	11.182	3.432	100	200	7853.98	0.0016	2184.88						
Velocidad 1-3	14	7.725	11.208	3.483	100	200	7853.98	0.0016	2217.35						
Velocidad N-1	14	4.757	8.514	3.757	104	203	8494.87	0.0017	2178.66	2177.50					
Velocidad N-2	14	4.728	8.526	3.798	105	203	8659.01	0.0018	2160.68						
Velocidad N-3	14	4.805	8.587	3.782	104	203	8494.87	0.0017	2193.15						
Velocidad 2-1	14	7.708	11.181	3.473	100	200	7853.98	0.0016	2210.98	2187.20					
Velocidad 2-2	14	7.718	11.166	3.448	100	200	7853.98	0.0016	2195.06						
Velocidad 2-3	14	7.745	11.199	3.454	101	200	8011.85	0.0016	2155.56						
Velocidad 1-1	28	7.741	11.203	3.462	100	200	7853.98	0.0016	2203.98	2197.61					
Velocidad 1-2	28	7.717	11.155	3.438	100	200	7853.98	0.0016	2188.70						
Velocidad 1-3	28	7.728	11.184	3.456	100	200	7853.98	0.0016	2200.16						
Velocidad N-1	28	4.606	8.423	3.817	104	202	8494.87	0.0017	2224.41	2187.20					
Velocidad N-2	28	5.037	8.812	3.775	105	202	8659.01	0.0017	2158.23						
Velocidad N-3	28	4.757	8.496	3.739	104	202	8494.87	0.0017	2178.95						
Velocidad 2-1	28	7.716	11.200	3.484	100	200	7853.98	0.0016	2217.98	2199.73					
Velocidad 2-2	28	7.722	11.112	3.390	100	200	7853.98	0.0016	2158.14						
Velocidad 2-3	28	7.716	11.208	3.492	100	200	7853.98	0.0016	2223.08						

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 29, se determinó un asentamiento con un valor de 7.2 cm el cual se encuentra dentro del rango para el cual fue diseñada la mezcla (6 a 9 cm) y que la clasifica con una consistencia media debido a que su asentamiento se encuentra dentro del intervalo de 5 a 10 cm. Por otro lado, la densidad de la mezcla en estado fresco con la que se elaboró los 27 especímenes para ensayos a diferentes velocidades de carga es 2198.58 kg/m^3 la cual se encuentra dentro del intervalo de 2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3 que es característico para hormigones ordinarios. Además, la mezcla poseía una trabajabilidad regular y una homogeneidad buena.

Tabla 30. Propiedades del hormigón fresco a ser ensayado a diferentes tipos de curado.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”															
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján						NORMA:		NTE INEN 1578 (ASTM C 143) - INEN 1579 (ASTM C 138)					
FECHA:		9/12/2021						ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO FRESCO – f _c 210 kg/cm ² .															
Denominación del espécimen	Edad	Masa del molde (kg)	Masa del molde + Hormigón (kg)	Masa del hormigón (kg)	Díametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Densidad de la mezcla 2 (kg/m ³)	Consistencia	Asentamiento (cm)	Trabajabilidad	Homogeneidad
Curado 1	7	4.725	8.570	3.845	103	203	8332.29	0.0017	2273.19	2295.31	2266.69	Media	6.1	Regular	Buena
Curado 2	7	4.740	8.553	3.813	102	202	8171.28	0.0017	2310.07						
Curado 3	7	5.182	8.799	3.617	100	200	7853.98	0.0016	2302.65						
Sin curar 1	7	4.722	8.518	3.796	102	202	8171.28	0.0017	2299.77	2287.57					
Sin curar 2	7	4.597	8.413	3.816	103	202	8332.29	0.0017	2267.21						
Sin curar 3	7	4.685	8.549	3.864	103	202	8332.29	0.0017	2295.73						
Curado 1	14	7.734	11.215	3.481	100	200	7853.98	0.0016	2216.07	2230.78					
Curado 2	14	7.749	11.247	3.498	100	200	7853.98	0.0016	2226.90						
Curado 3	14	3.788	7.251	3.463	99	200	7697.69	0.0015	2249.38						
Sin curar 1	14	4.719	8.593	3.874	102	202	8171.28	0.0017	2347.03	2303.54					
Sin curar 2	14	5.197	9.009	3.812	102	203	8171.28	0.0017	2298.09						
Sin curar 3	14	4.700	8.532	3.832	103	203	8332.29	0.0017	2265.51						
Curado 1	28	5.192	8.820	3.628	98	202	7542.96	0.0015	2381.08	2268.32					
Curado 2	28	3.012	6.497	3.485	100	200	7853.98	0.0016	2218.62						
Curado 3	28	2.955	6.419	3.464	100	200	7853.98	0.0016	2205.25						
Sin curar 1	28	4.818	8.630	3.812	104	202	8494.87	0.0017	2221.49	2214.64					
Sin curar 2	28	4.770	8.572	3.802	104	204	8494.87	0.0017	2193.94						
Sin curar 3	28	4.680	8.504	3.824	104	202	8494.87	0.0017	2228.49						

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 30, se determinó un asentamiento con un valor de 6.1 cm el cual se encuentra dentro del rango para el cual fue diseñada la mezcla (6 a 9 cm) y que la clasifica con una consistencia media debido a que su asentamiento se encuentra dentro del intervalo de 5 a 10 cm. Por otro lado, la densidad de la mezcla en estado fresco con la que se elaboró los 18 especímenes para ensayos a diferentes tipos de curado es 2266.69 kg/m^3 la cual se encuentra dentro del intervalo de 2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3 que es característico para hormigones ordinarios. Además, la mezcla poseía una trabajabilidad regular y una homogeneidad buena.

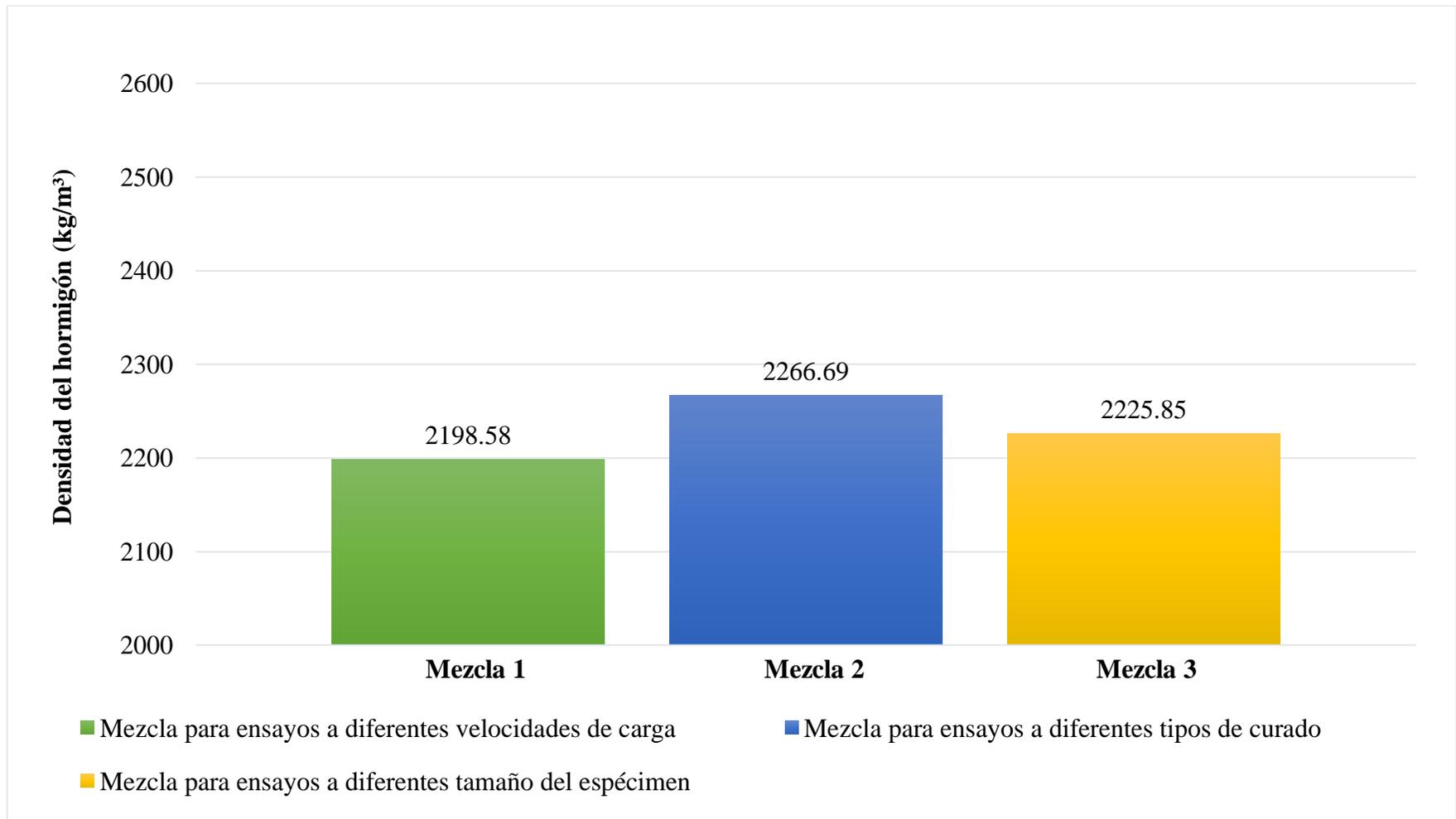
Tabla 31. Propiedades del hormigón fresco a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
																
"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN"																
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján						NORMA:		NTE INEN 1578 (ASTM C 143) - INEN 1579 (ASTM C 138)						
FECHA:		9/12/2021						ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz						
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO FRESCO – f'c 210 kg/cm ² .																
Denominación del espécimen	Edad	Masa del molde (kg)	Masa del molde + Hormigón (kg)	Masa del hormigón (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Densidad de la mezcla 3 (kg/m ³)	Consistencia	Asentamiento (cm)	Trabajabilidad	Homogeneidad	
100x200 1	7	2.994	6.435	3.441	99	199	7697.69	0.0015	2246.32	2252.04	2225.85	Media	6.4	Regular	Buena	
100x200 2	7	3.007	6.496	3.489	100	198	7853.98	0.0016	2243.60							
100x200 3	7	3.001	6.455	3.454	99	198	7697.69	0.0015	2266.19							
150x300 1	7	11.455	23.496	12.041	152	300	18145.84	0.0054	2211.89	2246.84						
150x300 2	7	11.501	23.457	11.956	150	298	17671.46	0.0053	2270.37							
150x300 3	7	11.590	23.562	11.972	150	300	17671.46	0.0053	2258.26							
100x200 1	14	3.058	6.498	3.440	100	200	7853.98	0.0016	2189.97	2199.10						
100x200 2	14	3.038	6.500	3.462	100	200	7853.98	0.0016	2203.98							
100x200 3	14	2.990	6.451	3.461	100	200	7853.98	0.0016	2203.34							
150x300 1	14	11.400	23.442	12.042	151	300	17907.86	0.0054	2241.47	2217.60						
150x300 2	14	11.414	23.445	12.031	152	299	18145.84	0.0054	2217.45							
150x300 3	14	11.391	23.532	12.141	153	301	18385.39	0.0055	2193.89							
100x200 1	28	4.094	7.716	3.622	101	201	8011.85	0.0016	2249.16	2222.85						
100x200 2	28	5.170	8.644	3.474	101	200	8011.85	0.0016	2168.04							
100x200 3	28	3.856	7.681	3.825	104	200	8494.87	0.0017	2251.36							
150x300 1	28	11.439	23.677	12.238	152	305	18145.84	0.0055	2211.23	2216.69						
150x300 2	28	6.751	18.712	11.961	151	300	17907.86	0.0054	2226.40							
150x300 3	28	10.996	23.040	12.044	152	300	18145.84	0.0054	2212.44							

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 31, se determinó un asentamiento con un valor de 6.4 cm el cual se encuentra dentro del rango para el cual fue diseñada la mezcla (6 a 9 cm) y que la clasifica con una consistencia media debido a que su asentamiento se encuentra dentro del intervalo de 5 a 10 cm. Por otro lado, la densidad de la mezcla en estado fresco con la que se elaboró los 18 especímenes para ensayos a diferentes tamaños es 2225.85 kg/m^3 la cual se encuentra dentro del intervalo de 2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3 que es característico para hormigones ordinarios. Además, la mezcla poseía una trabajabilidad regular y una homogeneidad buena.

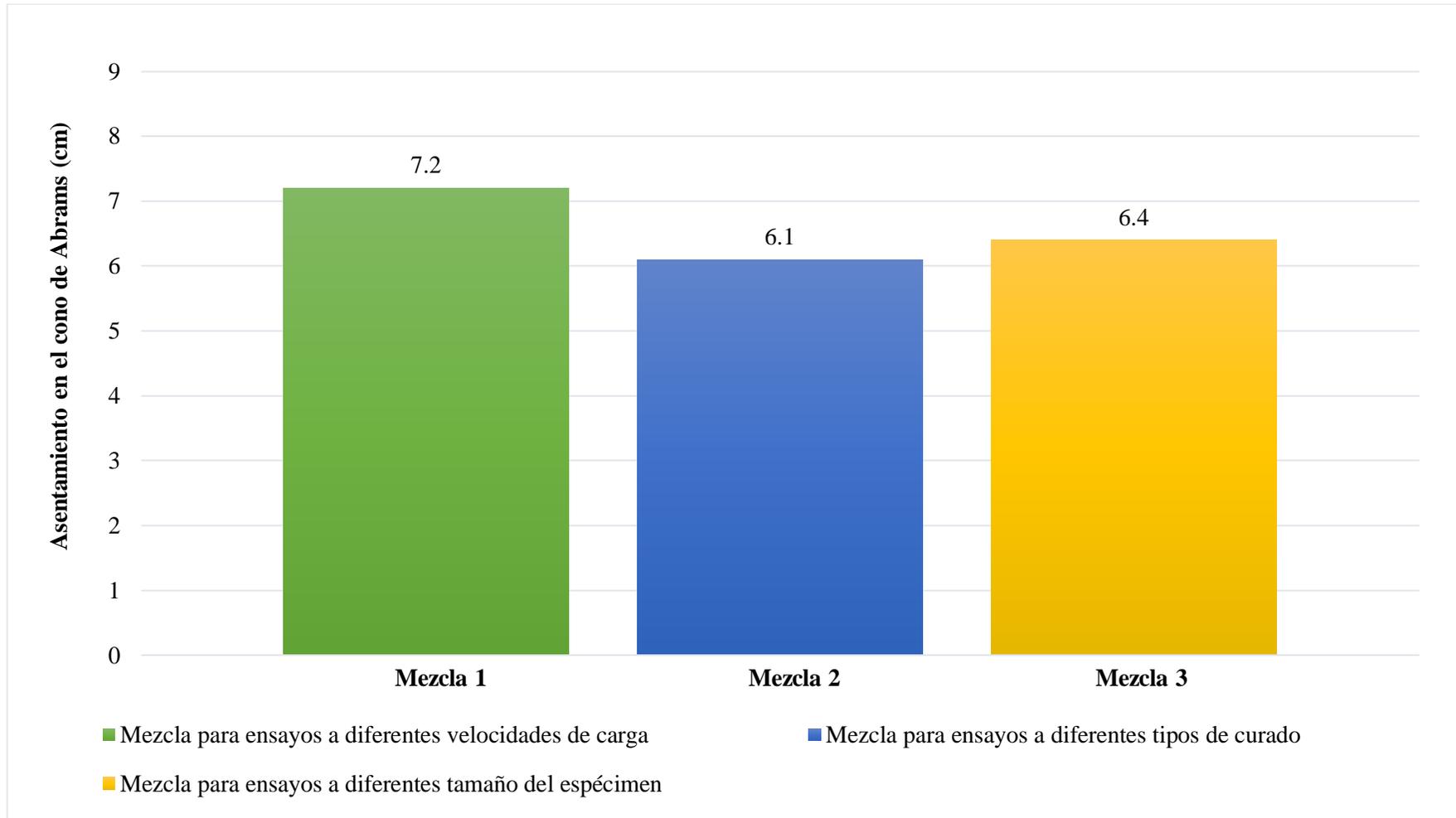
Gráfico 1. Densidad del hormigón en estado fresco.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 1, se determinó que la densidad de la mezcla 1 a usarse en la elaboración de especímenes para ser ensayados a diferentes velocidades de carga tiene un valor de 2198.58 kg/m^3 . Por otro lado, la densidad de la mezcla 2 que servirá para la elaboración de especímenes que serán expuestos a diferentes tipos de curado es de 2266.69 kg/m^3 . Finalmente, la densidad de la mezcla 3 a emplearse en la elaboración de especímenes de diferentes tamaños es de 2225.85 kg/m^3 ; cada uno de los valores obtenidos se encuentran dentro del intervalo de 2000 kg/m^3 a 2600 kg/m^3 que es característico para hormigones ordinarios.

Gráfico 2. Asentamiento del hormigón.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 2, se determinó que el asentamiento de la mezcla 1 a usarse en la elaboración de especímenes para ser ensayados a diferentes velocidades de carga tiene un valor de 7.2 cm. Por otro lado, el asentamiento de la mezcla 2 que servirá para la elaboración de especímenes que serán expuestos a diferentes tipos de curado es de 6.1 cm. Finalmente, el asentamiento de la mezcla 3 a emplearse en la elaboración de especímenes de diferentes tamaños es de 6.4 cm; cada uno de los valores obtenidos en el ensayo del cono de Abrams caracterizan a la mezcla con una consistencia media debido a que su asentamiento se encuentra dentro del intervalo de 5 a 10 cm. Además, cada una de las mezclas cumplen con un asentamiento en el intervalo de 6 a 9 cm para el cual se diseñó el hormigón.

3.1.14 Propiedades del hormigón para ensayos a diferentes velocidades de carga

Tabla 32. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 7 días.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”															
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)							
FECHA:		16/12/2021				ENSAYADO		Freire Ocaña Jazmina Beatriz							
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm ² EDAD: 7 DÍAS															
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Tiempo de ensayo (seg)	Tiempo de ensayo promedio (seg)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Velocidad 1-1	0.025	3.413	99	198	7697.69	0.0015	2239.29	2210.31	98.7	12.6	128.48	134.26	432.54	480.51	Tipo 2
Velocidad 1-2		3.417	99	200	7697.69	0.0015	2219.50		103	13.1	133.58		495.04		Tipo 3
Velocidad 1-3		3.412	100	200	7853.98	0.0016	2172.15		108	13.8	140.72		513.96		Tipo 4
Velocidad N-1	0.25	3.780	104	203	8494.87	0.0017	2191.99	2177.30	136	16.0	163.16	134.26	56.56	49.77	Tipo 3
Velocidad N-2		3.706	104	203	8494.87	0.0017	2149.08		103	12.1	123.39		47.12		Tipo 2
Velocidad N-3		3.778	104	203	8494.87	0.0017	2190.83		96.9	11.4	116.25		45.64		Tipo 3
Velocidad 2-1	0.475	3.403	99	200	7697.69	0.0015	2210.40	2201.86	110	14.0	142.76	140.04	31.64	30.24	Tipo 3
Velocidad 2-2		3.440	100	200	7853.98	0.0016	2189.97		107	13.6	138.68		28.92		Tipo 2
Velocidad 2-3		3.395	99	200	7697.69	0.0015	2205.21		107	13.6	138.68		30.15		Tipo 3

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 32, se determinó la densidad de los especímenes de hormigón tradicional a la edad de 7 días a ser ensayados a una velocidad de carga de 0.025 MPa/s obteniéndose un valor de 2210.31 kg/m³ y una resistencia a la compresión igual a 134.26 kg/cm² la cual se obtuvo en un tiempo de 480.51 segundos. Para la velocidad de carga de 0.25 MPa/s los especímenes alcanzaron una densidad de 2177.30 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 134.26 kg/cm² en un tiempo de 49.77 segundos. Finalmente, para la velocidad de 0.475 MPa/s el valor de densidad fue 2201.86 kg/m³ y su resistencia a la compresión 140.04 kg/cm² misma que se obtuvo a los 30.24 segundos.

Tabla 33. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 14 días.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”															
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)							
FECHA:		23/12/2021				ENSAYADO		Freire Ocaña Jazmina Beatriz							
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f _c 210 kg/cm ²															
EDAD: 14 DÍAS															
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Tiempo de ensayo (seg)	Tiempo de ensayo promedio (seg)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Velocidad 1-1	0.025	3.425	100	200	7853.98	0.0016	2180.42	2187.21	107	13.6	138.68	148.20	467.64	527.60	Tipo 5
Velocidad 1-2		3.420	100	200	7853.98	0.0016	2177.24		121	15.4	157.04		572.91		Tipo 3
Velocidad 1-3		3.462	100	200	7853.98	0.0016	2203.98		115	14.6	148.88		542.26		Tipo 5
Velocidad N-1	0.25	3.751	104	203	8494.87	0.0017	2175.18	2175.38	135	15.9	162.14	185.59	45.74	58.53	Tipo 3
Velocidad N-2		3.796	105	203	8659.01	0.0018	2159.54		179	20.7	211.08		68.21		Tipo 3
Velocidad N-3		3.779	104	203	8494.87	0.0017	2191.41		153	18.0	183.55		61.65		Tipo 2
Velocidad 2-1	0.475	3.447	100	200	7853.98	0.0016	2194.43	2173.65	141	18.0	183.55	186.61	36.46	37.57	Tipo 3
Velocidad 2-2		3.418	100	200	7853.98	0.0016	2175.97		148	18.8	191.71		39.61		Tipo 4
Velocidad 2-3		3.446	101	200	8011.85	0.0016	2150.57		145	18.1	184.57		36.63		Tipo 5

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 33, se determinó la densidad de los especímenes de hormigón tradicional a la edad de 14 días a ser ensayados a una velocidad de carga de 0.025 MPa/s obteniéndose un valor de 2187.21 kg/m³ y una resistencia a la compresión igual a 148.20 kg/cm² la cual se obtuvo en un tiempo de 527.60 segundos. Para la velocidad de carga de 0.25 MPa/s los especímenes alcanzaron una densidad de 2175.38 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 185.59 kg/cm² en un tiempo de 58.53 segundos. Finalmente, para la velocidad de 0.475 MPa/s el valor de densidad fue 2173.65 kg/m³ y su resistencia a la compresión 186.61 kg/cm² misma que se obtuvo a los 37.57 segundos.

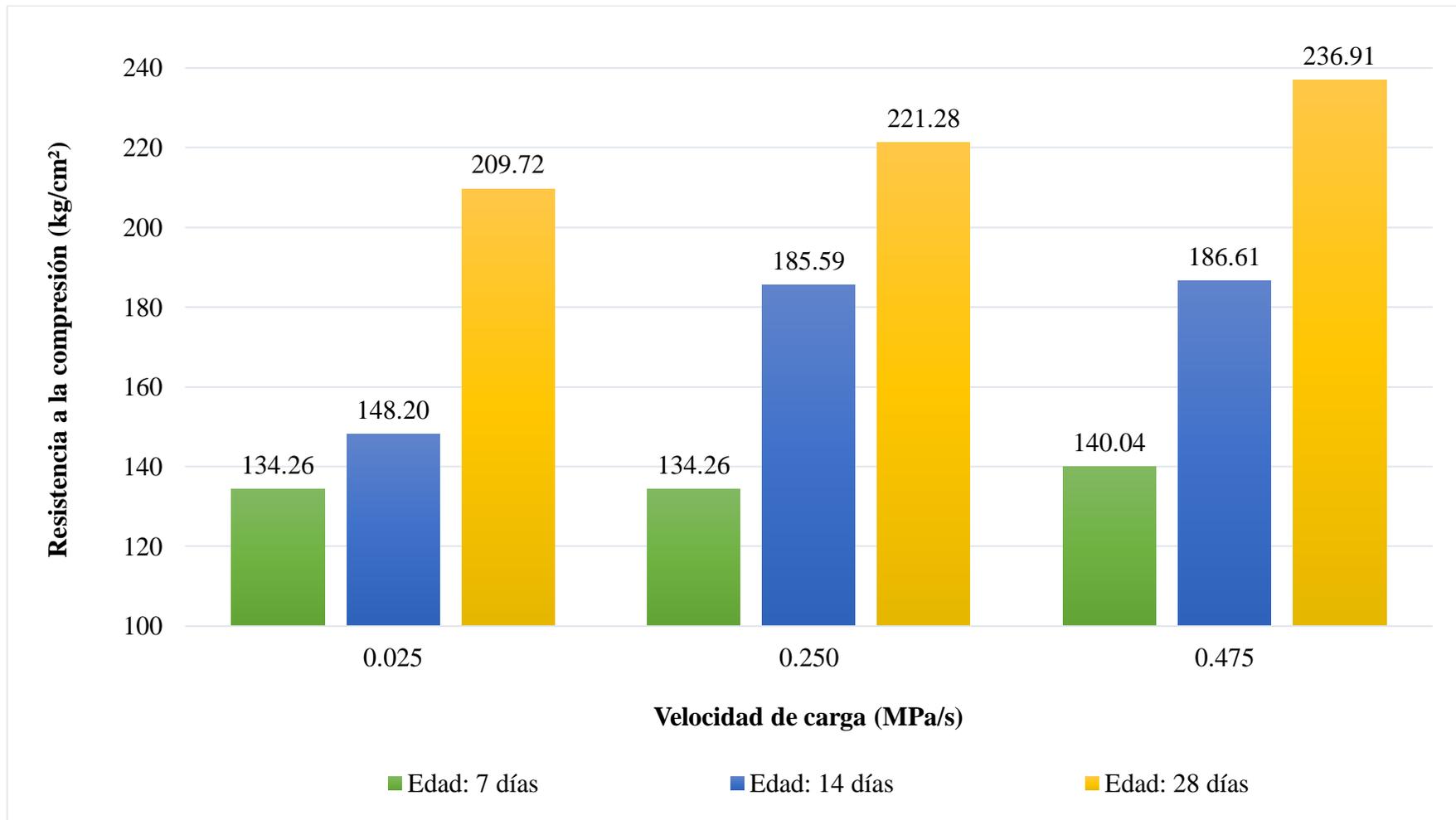
Tabla 34. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes velocidades de carga a la edad de 28 días.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”															
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)							
FECHA:		6/1/2022				ENSAYADO		Freire Ocaña Jazmina Beatriz							
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f _c 210 kg/cm ²															
EDAD: 28 DÍAS															
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Tiempo de ensayo (seg)	Tiempo de ensayo promedio (seg)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Velocidad 1-1	0.025	3.822	104	202	8494.87	0.0017	2227.32	2184.91	200	23.5	239.63	209.72	833.47	836.47	Tipo 2
Velocidad 1-2		3.762	105	202	8659.01	0.0017	2150.79		166	19.2	195.79		821.04		Tipo 2
Velocidad 1-3		3.735	104	202	8494.87	0.0017	2176.62		161	19.0	193.75		854.91		Tipo 3
Velocidad N-1	0.25	3.445	100	200	7853.98	0.0016	2193.16	2189.12	171	21.8	222.30	221.28	94.10	79.55	Tipo 3
Velocidad N-2		3.441	100	200	7853.98	0.0016	2190.61		166	21.1	215.16		69.34		Tipo 5
Velocidad N-3		3.430	100	200	7853.98	0.0016	2183.61		174	22.2	226.38		75.20		Tipo 3
Velocidad 2-1	0.475	3.454	100	200	7853.98	0.0016	2198.88	2184.24	169	21.5	219.24	236.91	47.73	51.07	Tipo 2
Velocidad 2-2		3.390	100	200	7853.98	0.0016	2158.14		206	26.2	267.17		57.60		Tipo 3
Velocidad 2-3		3.449	100	200	7853.98	0.0016	2195.70		173	22.0	224.34		47.89		Tipo 5

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 34, se determinó la densidad de los especímenes de hormigón tradicional a la edad de 28 días a ser ensayados a una velocidad de carga de 0.025 MPa/s obteniéndose un valor de 2184.91 kg/m³ y una resistencia a la compresión igual a 209.72 kg/cm² la cual se obtuvo en un tiempo de 836.47 segundos. Para la velocidad de carga de 0.25 MPa/s los especímenes alcanzaron una densidad de 2189.12 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 221.29 kg/cm² en un tiempo de 79.55 segundos. Finalmente, para la velocidad de 0.475 MPa/s el valor de densidad fue 2184.24 kg/m³ y su resistencia a la compresión 236.91 kg/cm² misma que se obtuvo a los 51.07 segundos.

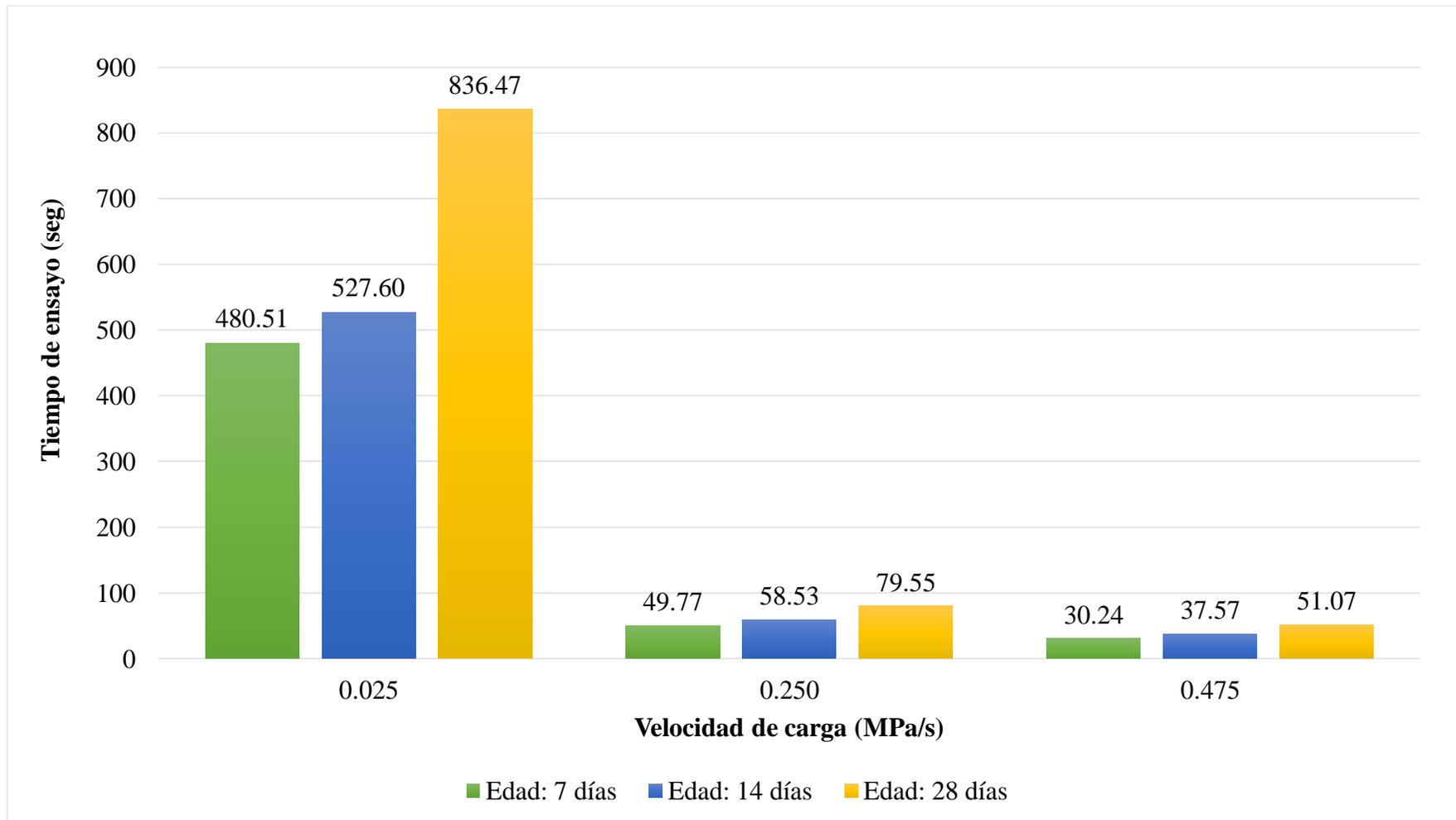
Gráfico 3. Relación entre la resistencia a la compresión y la velocidad de carga a diferentes edades.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 3, se determinó la resistencia cilíndrica a compresión promedio del hormigón tradicional a las edades de 7, 14 y 28 días aplicando tres velocidades de carga distintas. Para la edad de 7 días se tomó como referencia el valor de la resistencia obtenida a la velocidad de carga de la norma NTE INEN 1573 que es 0.25 MPa/s y se determinó que al usar una velocidad de carga menor igual a 0.025 MPa/s en el ensayo se alcanza el 100% de dicha resistencia, mientras que, al aplicar una velocidad mayor igual a 0.475 MPa/s se supera dicha resistencia en un 4.30%. Por otro lado, a la edad de 14 días se determinó que con la velocidad de carga de 0.025 MPa/s en el ensayo se alcanza el 79.85% de la resistencia que se alcanza al aplicar la velocidad de carga normada, mientras que, al aplicar la velocidad de carga de 0.475 MPa/s se supera dicha resistencia en apenas un 0.55%. Finalmente, a la edad de 28 días se determinó que al utilizar una velocidad de carga de 0.025 MPa/s se alcanza el 94.78% de la resistencia alcanzada a la velocidad de 0.25 MPa/s, mientras que, al aplicar una velocidad de 0.475 MPa/s se supera dicha resistencia en un 7.07%.

Gráfico 4. Relación entre el tiempo de ensayo y la velocidad de carga a diferentes edades.

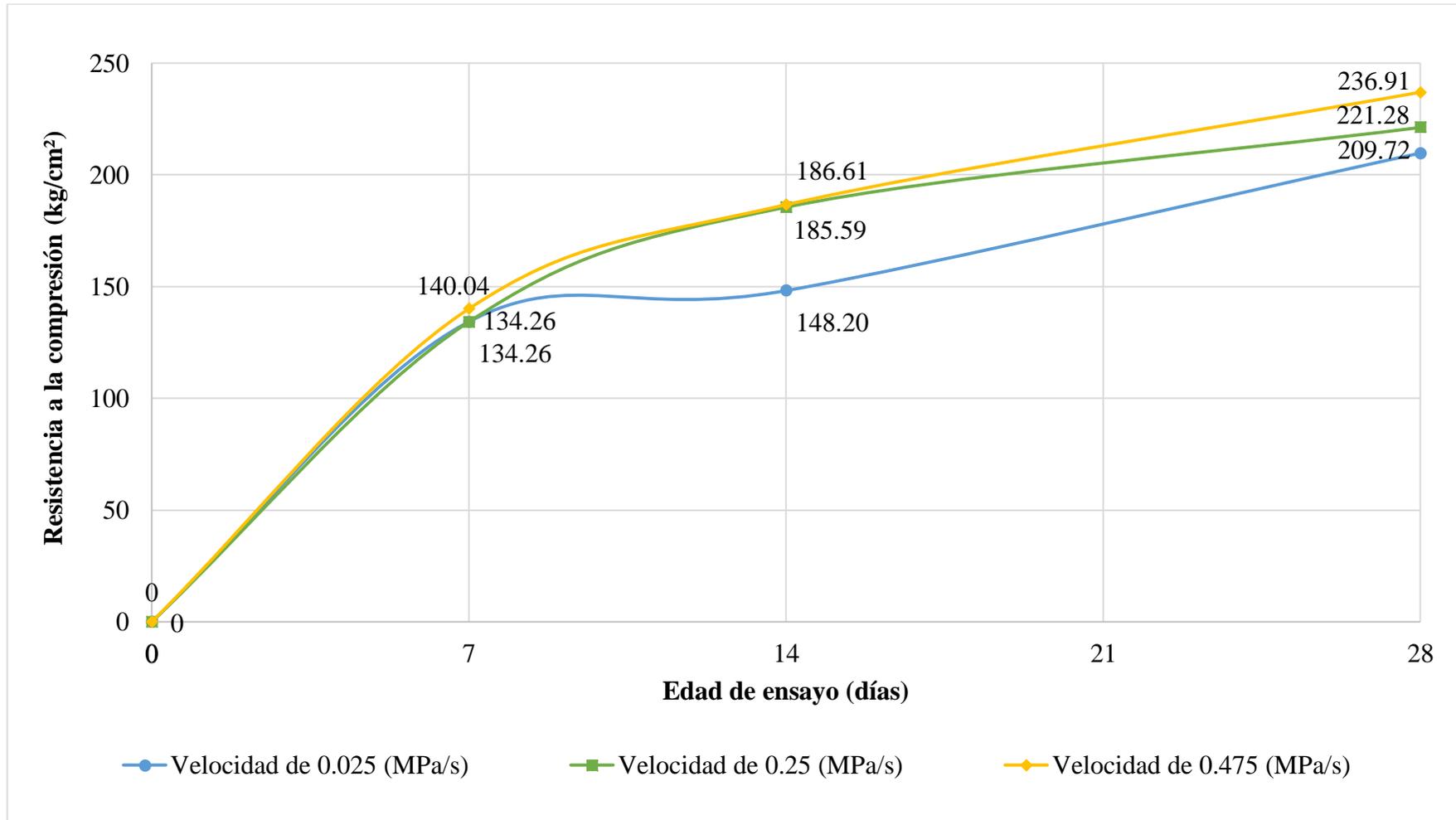


Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 4, al determinar la resistencia cilíndrica a compresión promedio del hormigón tradicional a las edades de 7, 14 y 28 días aplicando tres velocidades de carga distintas con lo que se obtuvo que los tiempos de ensayo más elevados se dan a una velocidad de carga 0.025 MPa/s llegando a alcanzar tiempos de 480.51, 537.60 y 836.47 segundos para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente. A una velocidad de carga de 0.25 MPa/s estos tiempos tienden a disminuir notablemente hasta alcanzar valores de 49.77, 58.53 y 79.55 segundos para cada una de las edades mencionadas anteriormente. Finalmente, a una velocidad de carga de 0.475 MPa/s los tiempos tienden a disminuir de manera menos significativa si los comparamos con la variación anterior alcanzando valores de 30.24, 37.57 y 51.07 segundos para cada una de las edades de ensayo respectivamente.

Analizando estas variaciones en términos de porcentaje tenemos que, para los ensayos a las edades de 7, 14 y 28 días el tiempo de ensayo a la velocidad de carga de 0.25 MPa/s alcanza el 10.36%, 11.09% y 9.51% del tiempo alcanzado con la velocidad de 0.025 MPa/s mientras que para la velocidad de carga de 0.475 MPa/s el tiempo de ensayo alcanza el 6.29%, 7.12% y 6.10% del tiempo alcanzado con la velocidad de 0.025 MPa/s para cada una de las edades de ensayo respectivamente.

Gráfico 5. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm² a diferentes velocidades de carga.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 5, se representó los valores de resistencia a la compresión obtenidos mediante la aplicación de tres velocidades de carga distintas a las edades de 7, 14 y 28 días. Para una velocidad de 0.025 MPa/s se puede apreciar que a la edad de 7 días la resistencia obtenida es de 134.26 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 148.20 kg/cm² y a los 28 días la resistencia tiene un valor de 209.72 kg/cm² con el cual no alcanza la resistencia mínima de diseño de la mezcla. Al incrementar la velocidad a 0.25 MPa/s se puede apreciar que los valores de la resistencia también se incrementan de modo que a los 7 días la resistencia obtenida es de 134.26 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 185.59 kg/cm² y a los 28 días la resistencia alcanza un valor de 221.28 kg/cm² con el cual se supera la resistencia de diseño la mezcla. Finalmente, con una velocidad de 0.475 MPa/s se obtienen los valores más altos de resistencia para cada una de las edades de ensayo obteniendo a la edad de 7 días una resistencia de 140.04 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 186.61 kg/cm² y a los 28 días la resistencia alcanza un valor de 236.91 kg/cm² con el cual se supera la resistencia de diseño la mezcla.

3.1.15 Propiedades del hormigón para ensayos a diferentes tipos de curado

Tabla 35. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 7 días.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA </div> 													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”													
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)					
FECHA:		16/12/2021				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm ²													
EDAD: 7 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Curado 1	0.25	3.812	103	203	8332.29	0.0017	2253.68	2272.95	127	16.2	165.19	160.10	Tipo 2
Curado 2		3.786	102	202	8171.28	0.0017	2293.71		122	15.5	158.06		Tipo 5
Curado 3		3.568	100	200	7853.98	0.0016	2271.46		121	15.4	157.04		Tipo 3
Sin curar 1	0.25	3.624	102	202	8171.28	0.0017	2195.57	2176.19	113	14.4	146.84	153.64	Tipo 5
Sin curar 2		3.623	103	202	8332.29	0.0017	2152.55		132	16.8	171.31		Tipo 3
Sin curar 3		3.670	103	202	8332.29	0.0017	2180.47		110	14.0	142.76		Tipo 3

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 35, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 7 días a ser ensayados luego de un proceso de curado obteniéndose un valor de 2272.95 kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 160.10 kg/cm^2 . Por otro lado, para los especímenes que no fueron sometidos a curado los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2176.19 kg/m^3 y 153.64 kg/cm^2 respectivamente.

Tabla 36. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 14 días.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA </div> 													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”													
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)					
FECHA:		23/12/2021				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm²													
EDAD: 14 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Curado 1	0.25	3.452	100	200	7853.98	0.0016	2197.61	2205.14	189	24.1	245.75	211.08	Tipo 5
Curado 2		3.448	100	200	7853.98	0.0016	2195.06		146	18.6	189.67		Tipo 3
Curado 3		3.422	99	200	7697.69	0.0015	2222.75		149	19.4	197.83		Tipo 3
Sin curar 1	0.25	3.657	102	202	8171.28	0.0017	2215.56	2174.22	145	17.7	180.49	197.15	Tipo 5
Sin curar 2		3.565	102	203	8171.28	0.0017	2149.18		141	17.3	176.41		Tipo 3
Sin curar 3		3.650	103	203	8332.29	0.0017	2157.91		192	23.0	234.54		Tipo 3

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 36, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 14 días a ser ensayados luego de un proceso de curado obteniéndose un valor de 2205.14 kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 211.08 kg/cm^2 . Por otro lado, para los especímenes que no fueron sometidos ha curado los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2174.22 kg/m^3 y 197.15 kg/cm^2 respectivamente.

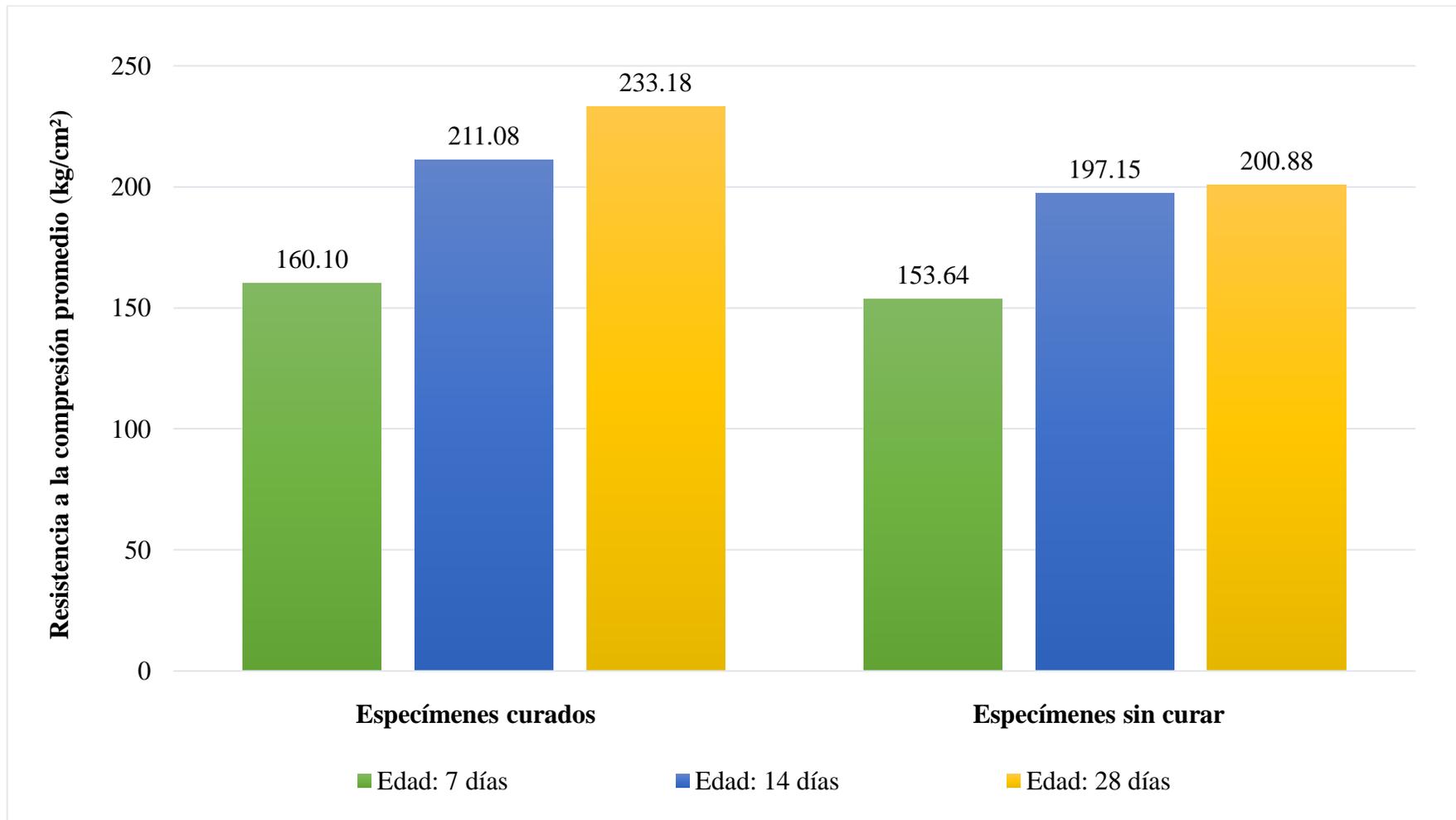
Tabla 37. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tipos de curado a la edad de 28 días.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA </div> 													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”													
ORIGEN:			Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)				
FECHA:			6/1/2022				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz				
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm²													
EDAD: 28 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
Curado 1	0.25	3.469	98	202	7542.96	0.0015	2276.73	2227.38	174	23.1	235.56	233.18	Tipo 2
Curado 2		3.483	100	200	7853.98	0.0016	2217.35		170	21.6	220.26		Tipo 2
Curado 3		3.437	100	200	7853.98	0.0016	2188.06		188	23.9	243.71		Tipo 2
Sin curar 1	0.25	3.549	104	202	8494.87	0.0017	2068.23	2062.06	172	20.2	205.98	200.88	Tipo 3
Sin curar 2		3.543	104	204	8494.87	0.0017	2044.49		166	19.5	198.85		Tipo 5
Sin curar 3		3.558	104	202	8494.87	0.0017	2073.47		165	19.4	197.83		Tipo 3

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 37, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 28 días a ser ensayados luego de un proceso de curado obteniéndose un valor de 2227.38 kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 233.18 kg/cm^2 . Por otro lado, para los especímenes que no fueron sometidos ha curado los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2062.06 kg/m^3 y 200.88 kg/cm^2 respectivamente.

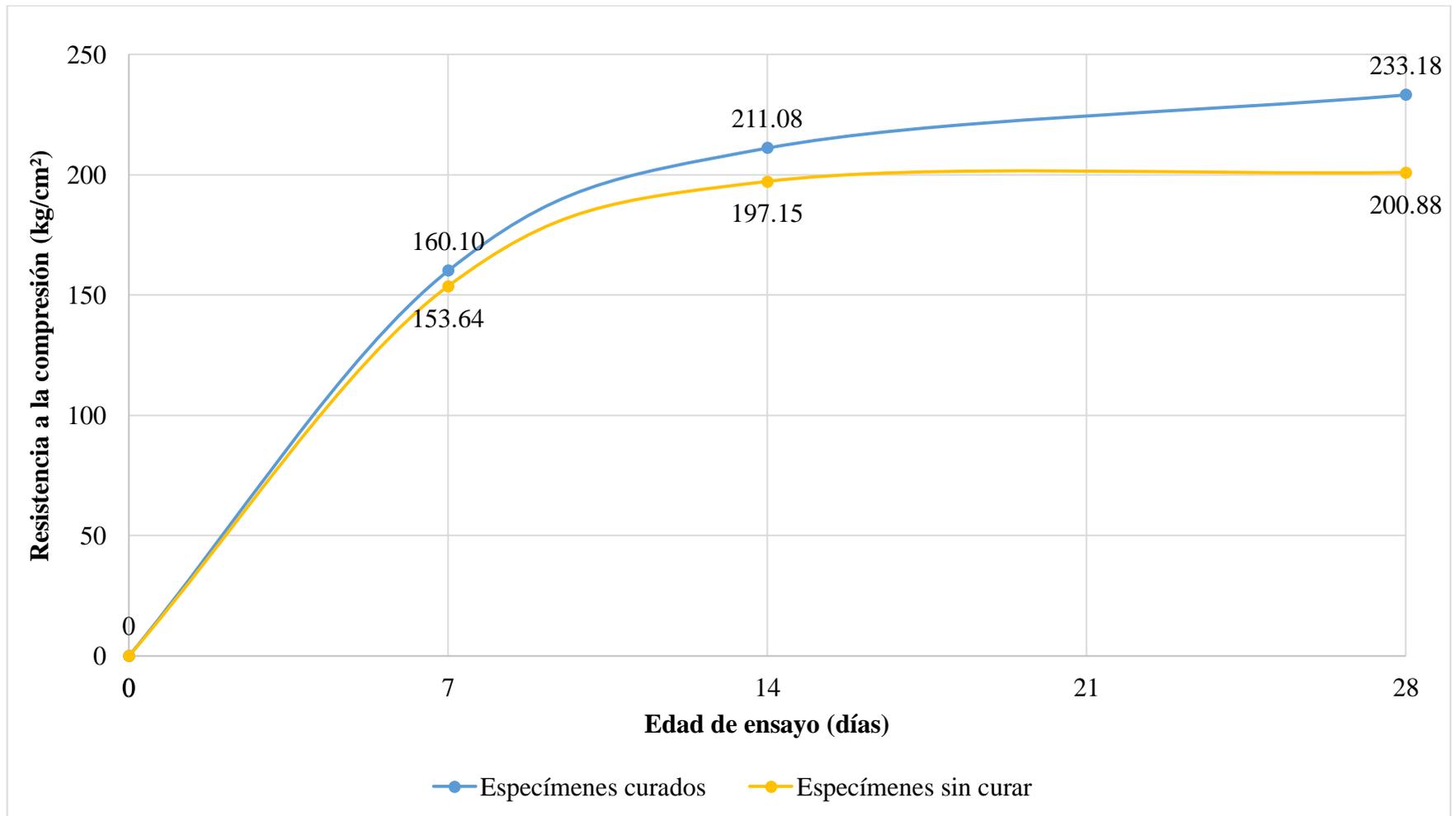
Gráfico 6. Relación entre la resistencia a la compresión y el curado de los especímenes.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 6, se determinó la resistencia cilíndrica a compresión promedio del hormigón tradicional a las edades de 7, 14 y 28 días aplicando la velocidad de carga estipulada en la norma NTE INEN 1573 (0.25 MPa/s) a especímenes curados y sin curar. Para la edad de 7 días se tomó como referencia el valor de la resistencia obtenida en especímenes curados y se determinó que los cilindros que no fueron curados alcanzan el 95.96% de la resistencia obtenida con los especímenes curados. Por otro lado, a la edad de 14 días se determinó que los cilindros que no fueron sometidos a un proceso de curado alcanzan el 93.40% de la resistencia obtenida con los especímenes que fueron curados. Finalmente, a la edad de 28 días se determinó que los cilindros no curados alcanzan el 86.15% de la resistencia obtenida con los especímenes que fueron sometidos a curado.

Gráfico 7. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm^2 para especímenes curados y sin curar.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 7, se representó los valores de resistencia a la compresión obtenidos en especímenes curados y sin curar a las edades de 7, 14 y 28 días mediante la aplicación de la velocidad de carga normada de 0.25 MPa/s. Para los especímenes curados se puede apreciar que a la edad de 7 días la resistencia obtenida es de 160.10 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 211.08 kg/cm² y a los 28 días la resistencia tiene un valor de 233.18 kg/cm² con el cual alcanza la resistencia mínima de diseño de la mezcla. Por otro lado, los con los especímenes sin curar se puede apreciar que a la edad de 7 días la resistencia obtenida es de 153.64 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 197.15 kg/cm² y a los 28 días la resistencia tiene un valor de 200.88 kg/cm² con el cual no alcanza la resistencia mínima de diseño de la mezcla. La diferencia entre las resistencias a compresión durante los primeros días entre los especímenes curados y sin curar es mínima, sin embargo, a partir del día 14 se evidencia como los especímenes sin curar dejan de incrementar su resistencia en comparación con las probetas que han sido sometidas a un proceso de curado.

3.1.16 Propiedades del hormigón para ensayos en diferentes tamaños de espécimen

Tabla 38. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 7 días.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA											
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A													
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)					
FECHA:		16/12/2021				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm ²													
EDAD: 7 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
100x200 1	0.25	3.401	99	199	7697.69	0.0015	2220.21	2225.02	112	14.3	145.82	165.53	Tipo 3
100x200 2		3.425	100	198	7853.98	0.0016	2202.45		119	15.2	155.00		Tipo 5
100x200 3		3.433	99	198	7697.69	0.0015	2252.41		151	19.2	195.79		Tipo 2
150x300 1	0.25	11.985	152	300	18145.84	0.0054	2201.61	2240.52	316	17.4	177.43	179.81	Tipo 5
150x300 2		11.946	150	298	17671.46	0.0053	2268.47		315	17.8	181.51		Tipo 2
150x300 3		11.936	150	300	17671.46	0.0053	2251.46		312	17.7	180.49		Tipo 2

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 38, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 7 días a ser ensayados en especímenes de tamaño 100x200 mm obteniéndose un valor de 2225.02 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 165.53 kg/cm². Para los especímenes de tamaño 150x300 mm los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2240.52 kg/m³ y 179.81 kg/cm² respectivamente.

Tabla 39. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 14 días.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA </div> 													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”													
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)					
FECHA:		23/12/2021				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f_c 210 kg/cm²													
EDAD: 14 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
100x200 1-1	0.25	3.430	100	200	7853.98	0.0016	2183.61	2189.97	191	24.3	247.79	234.54	Tipo 2
100x200 1-2		3.447	100	200	7853.98	0.0016	2194.43		191	24.3	247.79		Tipo 3
100x200 1-3		3.443	100	200	7853.98	0.0016	2191.88		160	20.4	208.02		Tipo 4
150x300 2-1	0.25	12.025	151	300	17907.86	0.0054	2238.31	2208.83	416	23.2	236.58	226.72	Tipo 5
150x300 2-2		12.027	152	299	18145.84	0.0054	2216.71		393	21.7	221.28		Tipo 5
150x300 2-3		12.017	153	301	18385.39	0.0055	2171.48		401	21.8	222.30		Tipo 6

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 39, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 14 días a ser ensayados en especímenes de tamaño 100x200 mm obteniéndose un valor de 2189.97 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 234.54 kg/cm². Para los especímenes de tamaño 150x300 mm los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2208.83 kg/m³ y 226.72 kg/cm² respectivamente.

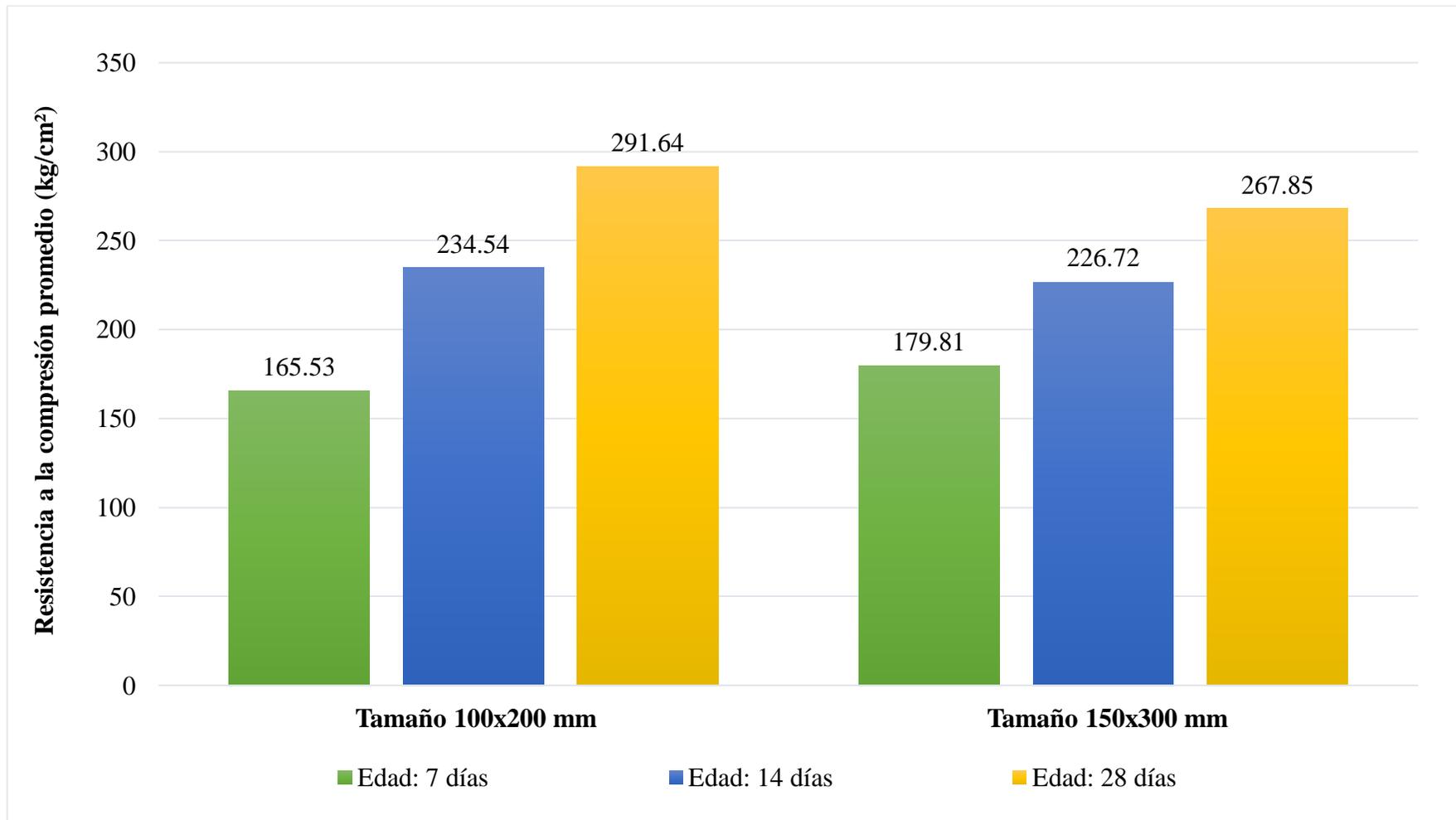
Tabla 40. Propiedades del hormigón endurecido a ser ensayado a diferentes tamaños de especímenes a la edad de 28 días.

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA </div> 													
“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE CARGA, CURADO Y TAMAÑO DEL ESPÉCIMEN EN LA RESISTENCIA CILÍNDRICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN”													
ORIGEN:		Cantera Salvador - Ambato - Aguaján				NORMA:		NTE INEN 1573 (ASTM C 39)					
FECHA:		6/1/2022				ENSAYADO POR:		Freire Ocaña Jazmina Beatriz					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN TRADICIONAL EN ESTADO ENDURECIDO – f'c 210 kg/cm²													
EDAD: 28 DÍAS													
Denominación del espécimen	Velocidad de ensayo (MPa/s)	Masa (kg)	Diametro (mm)	Altura (mm)	Área (mm ²)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)	Carga Máxima (KN)	Resistencia a la compresión (Mpa)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm ²)	Esquema de falla según NTE INEN 1573
100x200 1-1	0.25	3.829	101	201	8011.85	0.0016	2377.70	2197.57	223	27.8	283.48	291.64	Tipo 5
100x200 1-2		3.470	101	200	8011.85	0.0016	2165.54		222	27.7	282.46		Tipo 2
100x200 1-3		3.482	104	200	8494.87	0.0017	2049.47		257	30.3	308.98		Tipo 2
150x300 2-1	0.25	11.898	152	305	18145.84	0.0055	2149.80	2211.48	460	25.4	259.01	267.85	Tipo 5
150x300 2-2		12.211	151	300	17907.86	0.0054	2272.93		498	27.8	283.48		Tipo 5
150x300 2-3		12.040	152	300	18145.84	0.0054	2211.71		464	25.6	261.05		Tipo 5

Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en la Tabla 40, se determinó la densidad promedio del hormigón tradicional a la edad de 28 días a ser ensayados en especímenes de tamaño 100x200 mm obteniéndose un valor de 2197.57 kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 291.64 kg/cm^2 . Para los especímenes de tamaño 150x300 mm los valores de densidad y resistencia a la compresión fueron 2211.48 kg/m^3 y 267.85 kg/cm^2 respectivamente

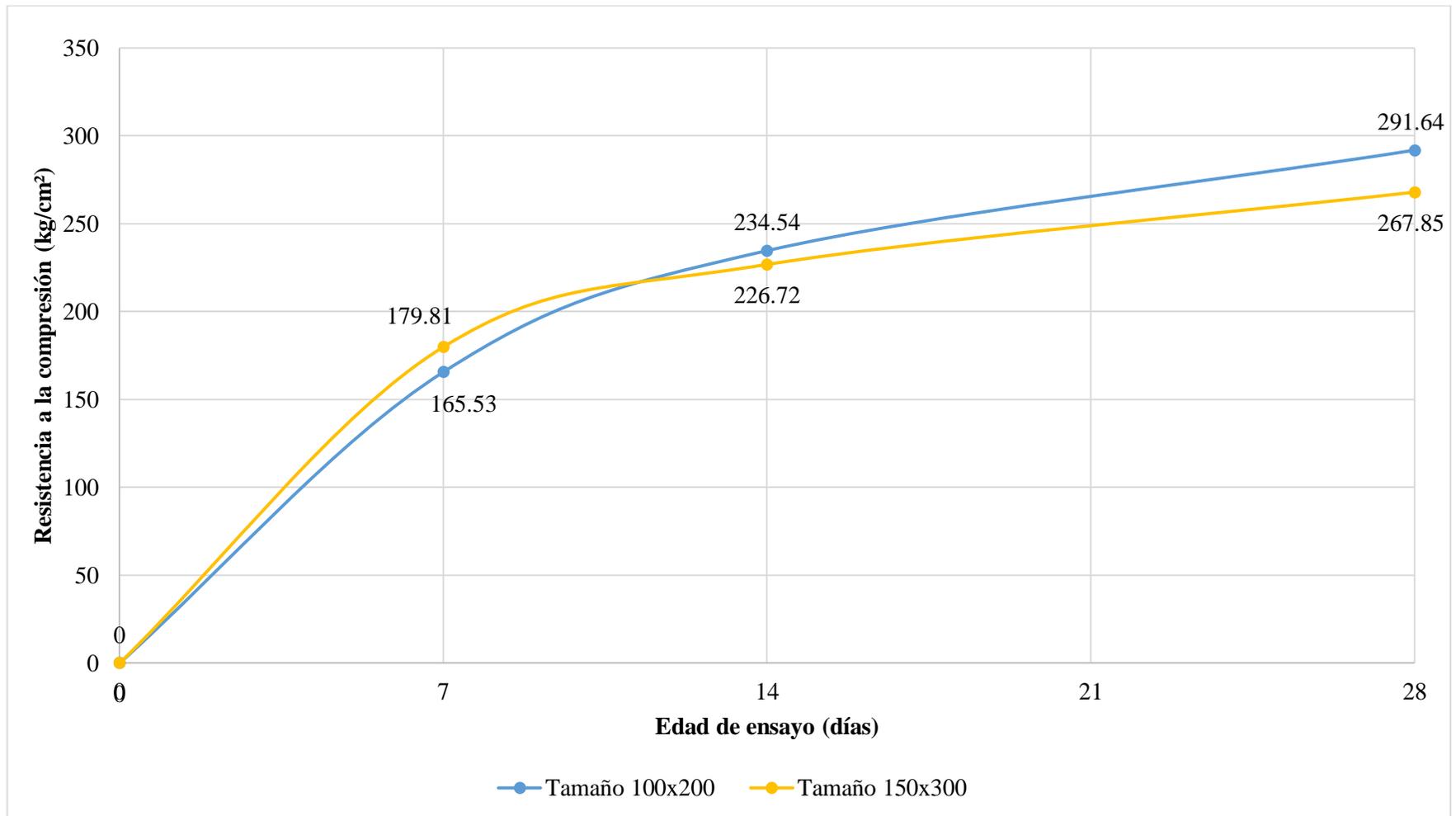
Gráfico 8. Relación entre la resistencia a la compresión y el tamaño del espécimen.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 8, se determinó la resistencia cilíndrica a compresión promedio del hormigón tradicional a las edades de 7, 14 y 28 días aplicando la velocidad de carga estipulada en la norma NTE INEN 1573 (0.25 MPa/s) a especímenes de tamaño 100x200 mm y 150x300 mm. Para la edad de 7 días se tomó como referencia el valor de la resistencia obtenida en especímenes de tamaño 100x200 mm y se determinó que los cilindros de tamaño 150x300 mm exceden el valor de su resistencia en un 8.74%, para los 14 días de edad se determinó que los cilindros de tamaño 150x300 mm alcanzan el 96.66% de la resistencia obtenida con los especímenes de tamaño 100x200 mm. Finalmente, a la edad de 28 días se determinó que los cilindros de tamaño 150x300 mm alcanzan el 91.84% de la resistencia obtenida con los especímenes de tamaño 100x200 mm.

Gráfico 9. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón f_c 210 kg/cm^2 para especímenes distinto tamaño.



Elaborado por: Jazmina Beatriz Freire Ocaña.

Análisis de resultados: Como se muestra en el Gráfico 9, se representó los valores de resistencia a la compresión obtenidos en especímenes de tamaño 100x200 mm y 150x300 mm a las edades de 7, 14 y 28 días mediante la aplicación de la velocidad de carga normada de 0.25 MPa/s. Para los especímenes de tamaño 100x200 mm se puede apreciar que a la edad de 7 días la resistencia obtenida es de 165.53 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 226.72 kg/cm² y a los 28 días la resistencia tiene un valor de 267.85 kg/cm² con el cual alcanza la resistencia mínima de diseño de la mezcla. Por otro lado, los con los especímenes de tamaño 150x300 mm se puede apreciar que a la edad de 7 días la resistencia obtenida es de 179.81 kg/cm², a los 14 días la resistencia se incrementa a 234.54 kg/cm² y a los 28 días la resistencia tiene un valor de 291.84 kg/cm² con el cual alcanza la resistencia mínima de diseño de la mezcla. La diferencia entre las resistencias a compresión en los dos tamaños no es muy significativa, pero se puede evidenciar que los cilindros de tamaño 100x200 mm tienen la capacidad de alcanzar mayores resistencias a la compresión que los de 150x300 mm.

3.2 Verificación de la hipótesis

Mediante los resultados obtenidos de los ensayos para determinar la resistencia cilíndrica a compresión del hormigón (f_c) a la edad de 28 días se acepta la hipótesis planteada dentro del Capítulo I para este trabajo experimental, ya que se pudo verificar para el caso de la variable Velocidades de Carga al utilizar una velocidad de 0.475 MPa/s se alcanza una resistencia a la compresión de 236.915 kg/cm² mientras que si se disminuye esta velocidad a 0.025 MPa/s la resistencia del hormigón también disminuye alcanzando valores de 209.722 kg/cm² en especímenes elaborados a partir de la mezcla misma mezcla (Mezcla 1). En lo que respecta a la variable Tipo de Curado se pudo comprobar que especímenes curados alcanzan una resistencia de 233.176 kg/cm² mientras que los especímenes que no fueron curados solo alcanzan una resistencia a la compresión igual a 200.885 kg/cm² en especímenes elaborados a partir de la misma mezcla (Mezcla 2). Finalmente, para la variable Tamaño del Espécimen se puso ver que los especímenes de tamaño 100x200 mm alcanzan una resistencia de 291.640 kg/cm² mientras que los de tamaño 150x300 mm disminuyen su resistencia a 267.846 kg/cm² a pesar que están elaborados de la misma mezcla (Mezcla 3).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para la dosificación de un hormigón con agregados provenientes de la Cantera Salvador y Cemento Tipo GU que alcance una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 con un asentamiento entre 6 y 9 cm mediante la aplicación del método de la densidad óptima las cantidades requeridas son: Agua (W) 180.12 kg/m^3 , Cemento (C) 310.55 kg/m^3 , Arena (A) 802.31 kg/m^3 , Ripio (R) 939.36 kg/m^3 .
- Tras determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales mediante los ensayos de caracterización bajo los estándares de las normas NTE INEN Y ASTM se concluye que los agregados provenientes de la Cantera Salvador tienen una calidad admisible, ya que el hormigón elaborado a partir de estos alcanzó la resistencia de diseño a pesar de que su distribución granulométrica no se encontraba por completo dentro de los límites normados, poseen una densidad menor a 2.6 gr/cm^3 la cual es característica de agregados de buena calidad y además tienen una capacidad de absorción cercana a los límites máximos para cada tipo de agregado.
- De acuerdo con el análisis numérico de las tablas 32, 33 y 34 y el análisis de los gráficos 3 y 5 se concluye que; para cada una de las edades de ensayo, existe una variación directamente proporcional entre la velocidad de carga y la resistencia a la compresión del hormigón, ya que a mayor velocidad de carga la resistencia a la compresión aumentará y viceversa. Con una velocidad de 0.475 MPa/s se evidencia un incrementando en 7.07% de la resistencia que se alcanza a la velocidad normada a los 28 días de edad, mientras que con una

velocidad de 0.025 MPa/s se evidencia una disminución del 5.22% de la resistencia que se alcanza a la velocidad normada a la misma edad.

- Conforme al análisis numérico de las tablas 32, 33 y 34 y al análisis de los gráficos 3,4 y 5 se determinó que; la resistencia de los especímenes en los que la carga máxima se alcanza en un tiempo de ensayo promedio de 51.07 segundos es aproximadamente 12.87% mayor que la que alcanza su carga máxima en 836.47 segundos.
- De conformidad con el análisis numérico de las tablas 35, 36 y 37 y el análisis de los gráficos 6 y 7 se determinó que; los cilindros que fueron curados en agua durante toda su etapa de madurez lograron un aumento progresivo en su resistencia a la compresión para las edades de 7, 14 y 28 días. Estos especímenes llegan a incrementar en un 10.46% de la resistencia obtenida a los 14 días, mientras que los especímenes que no fueron curados logrando un incremento poco significativo del 1.98% a la edad de 28 días; por lo que se concluye que, el hormigón no curado deja de adquirir resistencias significativas a partir de los 14 días de edad.
- En correspondencia al análisis numérico de la tabla 37 y el análisis de los gráficos 6 y 7 se determinó que; los cilindros que no son sometidos a un proceso de curado alcanzan un 86.15% de la resistencia a la compresión adquirida por especímenes que fueron curados a la edad de 28 días. Por lo que se concluye que la resistencia a la compresión del concreto depende mucho del proceso de hidratación que sufre el cemento durante la etapa de madurez del hormigón.
- Según el análisis numérico de las tablas 38, 39 y 40 y el análisis de los gráficos 8 y 9 se determinó que; el efecto del tamaño de los especímenes es evidente en los ensayos a compresión del hormigón. En la mayoría de ensayos, la resistencia a la compresión aumenta con la disminución del tamaño de la muestra; por lo que, la resistencia de los especímenes de 100x200 mm es un 8.88% mayor que la resistencia de los cilindros de 150x300 mm. Por lo que se

concluye que la utilización de los especímenes de menor tamaño es relativamente más ventajosa en el aspecto de resistencia a la compresión, manipulación y espacio de almacenamiento.

- Conforme al análisis numérico de las tablas 38, 39 y 40; se concluyó que, la carga máxima necesaria para alcanzar la falla en cilindros de 100x200 mm es aproximadamente un 45% menor que la necesaria en especímenes de 150x300 mm, por lo que se requiere de máquinas de compresión de menor capacidad.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la utilización de agregados de minas certificadas debido a que los valores de resistencia a la compresión del hormigón dependerán en gran parte de la calidad de los agregados.
- Se recomienda la utilización de cementos con densidades que se encuentre en el intervalo de 2.90 gr/cm³ a 3.15 gr/cm³ para de esta forma garantizar que las mezclas elaboradas alcancen las resistencias de diseño.
- Con el propósito de determinar la diferencia que existe en los valores de resistencia a la compresión al aplicar velocidades mayores y menores a la estandarizada en futuras investigaciones se recomienda que los valores sean superiores a 0.475 MPa/s e inferiores a 0.025 MPa/s ya que, a estas velocidades las diferencias obtenidas no fueron muy significativas.
- Para los ensayos a compresión a velocidades bajas como fue el caso de 0.025 MPa/s se recomienda la aplicación de una precarga mayor a 15 KN.
- Con el propósito de determinar la diferencia que existe en los valores de resistencia a la compresión al aplicar diferentes tipos de curado en futuras investigaciones se recomienda aplicar otras alternativas de curado como es el caso de las cubiertas húmedas, láminas de plástico, aditivo, etc.

- Se recomienda usar un mínimo de 3 probetas de tamaño 100x200 mm para determinar el valor de resistencia a la compresión debido a que la desviación estándar en estos especímenes es superior a la que se da en especímenes de 150x300 mm.
- Para ensayos de determinación de la resistencia a la compresión del hormigón se recomienda el uso de especímenes de 100x200 mm, ya que representan una ventaja al requerir una menor carga para alcanzar la falla, tiene un peso relativamente bajo comparado con el de los cilindros de 150x300 mm y facilidad de manipulación y almacenamiento.

Bibliografía

- [1] S. Mali, T. Pachpande y A. Jogi , «Effect of Rate of Loading on Compressive Strength of Concrete,» *International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering*, vol. 2, nº 4, pp. 20-25, 2015.
- [2] A. I. Abdullah, «Effects of loading rates on concrete compressive strength,» de *OIP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Batu Pahat, 2021.
- [3] Z. L. Amín Jiménez y J. D. Ordoñez Deart, «Análisis de la influencia de las técnicas empleadas para el curado de cilindros de concreto hidráulico sobre la resistencia a la compresión,» Universidad de la Costa , Barranquilla, 2021.
- [4] D. J. Aragón Matamoros y A. Navas Carro, «Cilindros de Concreto - Medición de la resistencia a la compresión de concreto mediante cilindros de 100 por 200 mm y de 150 por 300 mm para el control de calidad de obras,» *Infraestructura Vial*, vol. 14, nº 25, p. 5, 2012.
- [5] Á. F. Nistal Cordero, M. J. Retana Maqueda y T. Ruiz Abrio, «El Hormigón: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia.,» *Tecnologí@ y Desarrollo*, vol. 10, pp. 1-16, Junio 2012.
- [6] S. Medina, *Hormigón*, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [7] E. Barbosa Guzmán y R. Gallardo Herazo, «Comparación de resultados de resistencias a compresión del hormigón empleando cilindros de dimensiones no estandarizadas,» *Ingeniería e Investigación*, nº 38, p. 15, 1997.
- [8] G. González Beltrán y A. Monge Sandí, «Recomendaciones para obtener resultados confiables de resistencia de cilindros de concreto,» *Métodos Y Materiales*, vol. 1, nº 1, p. 10, 2014.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1573 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*, Primera ed., Quito, 2010.

- [10] C. D. Manobanda Laica, *El curado del hormigón y su incidencia en las propiedades mecánicas finales*, Ambato, 2013.
- [11] UMACON, «UMACON,» UMACON, 28 03 2021. [En línea]. Available: <http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [12] G. A. Rivera, «Civilgeeks.com,» 28 08 2014. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>. [Último acceso: 25 11 2021].
- [13] M. Mastropietro, *El hormigón para arquitectos*, Bogotá: Ediciones de la U, 2019.
- [14] INECYC y APRHOEC, *El manual de Pepe Hormigón - Consejos prácticos sobre el hormigón*, Quito, 2007.
- [15] J. A. Polanco Madrazo, D. S. Cavia y C. T. García, «Open Course Ware,» [En línea]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/280/course/section/205/Leccion9b.pdf>. [Último acceso: 19 11 2021].
- [16] L. Unión, «La Unión,» [En línea]. Available: <https://ferreterialaunionpty.com/shop/cemento-x-libra-1994#attr=>. [Último acceso: 2022 01 01].
- [17] L. Chipatecua, «360 en concreto,» Grupo Argos, 2020. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/191cu1931-es-la-composici211n-qu205mica-del-cemento-y-c211mo-afecta-sus-propiedades>. [Último acceso: 22 11 2021].
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2380 Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.*, Quito, 2011.

- [19] Eddy.h, «Notas de concretos,» 12 04 2011. [En línea]. Available: <http://notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/cementos-hidraulicos-tipo-gu-tipo-he.html>. [Último acceso: 19 11 2021].
- [20] O. J. Silva, «360 en concreto,» Grupo Argos, 2020. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/cemento/propiedades-fisicas-del-cemento>. [Último acceso: 22 11 2021].
- [21] M. Romo Proaño, «Fundamentos del Hormigón Simple,» Escuela Politécnica del Ejercito, Quito, 2008.
- [22] Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, «Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de materiales más fino que el tamiz No. 200 (75 μ m) en agregado mineral por lavado,» Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador.
- [23] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 154 Mallas y tamices para ensayo. Requisitos*, Quito, 2013.
- [24] American Society for Testing and Materials, *ASTM E11-04 Standard Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes*, ASTM International.
- [25] Geotecnia Online, «Geotecnia Online,» 16 08 2019. [En línea]. Available: <https://www.diccionario.geotecnia.online/tabla-de-equivalencia-de-tamices/>. [Último acceso: 29 11 2021].
- [26] American Society for Testing and Materials, *ASTM C125-07 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*, ASTM International.
- [27] D. M. Ramos Sánchez, «Slideshare,» 09 06 2018. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/ChotaDelbosque/contenido-de-humedad-agregados-informe>. [Último acceso: 30 11 2021].

- [28] A. Martínez Nieto, «Slideshare,» 20 9 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/AxelMartnezNieto/humedad-de-los-agregados-axel-martinez-nieto>. [Último acceso: 01 12 2021].
- [29] S. Rocha, «ConstruAprende.com,» [En línea]. Available: <https://www.construaprende.com/docs/lab/336-practica-contenido-humedad-agregados#:~:text=La%20humedad%20total%20de%20los,de%20agua%20a%20la%20mezcla..> [Último acceso: 01 12 2021].
- [30] Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, «Densidad, densidad relativa (gravedad espec[if]ica) y absorci[on del agregado fino,» Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador.
- [31] J. Mario, «Ingevil,» 7 10 2008. [En línea]. Available: <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html#:~:text=La%20densidad%20aparente%20del%20agregado,seg%C3%BAn%20la%20roca%20de%20origen..> [Último acceso: 29 11 2021].
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 694 Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.*, Quito, 2010.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 872 Áridos para hormigón. Requisitos.*, Quito, 2011.
- [34] S. A. Domínguez Villapudua, «Academia,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/30005222/HORMIGONES._INGENIERIA_DE_EDIFICACION. [Último acceso: 25 11 2021].
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2617 Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.*, Quito, 2012.
- [36] J. C. McCormac y R. H. Brown, *Diseño de concreto reforzado*, México: Alfaomega, 2011.
- [37] F. Morán Cabré, P. Jiménez Montoya y A. García Meseguer, *Hormigón Armado*, Barcelona: Gustavo Gili, S.L., 2008.

- [38] M. V. Garzón Calderón, *Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón*, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2010.
- [39] Escuela de Ingeniería Técnica Civil, 2007. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Focw.bib.upct.es%2Fpluginfile.php%2F6203%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FHormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf&cflen=346779&chunk=true. [Último acceso: 02 12 2021].
- [40] M. Polzinetti, «Instituto del Cemento Portland Argentino,» 18 09 2015. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fweb1.icpa.org.ar%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F04%2F05-Materiales-propiedades-hormigon.pdf>. [Último acceso: 03 12 2021].
- [41] Construmatica, «Construmatica,» 09 01 2012. [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades. [Último acceso: 04 12 2021].
- [42] L. Blázquez Bañón, «Universidad de Alicante,» 11 2011. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Frua.ua.es%2Fdspace%2Fbitstream%2F10045%2F25641%2F4%2FTema%252004%2520-%2520Propiedades%2520del%2520hormig%25C3%25B3n.pdf&cflen=1664714>. [Último acceso: 04 12 2021].
- [43] American Concrete Institute, *Guía para la durabilidad del hormigón*.
- [44] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2528 Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos.*, Quito, 2010.

- [45] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 3124 Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio.*, Quito, 2017.
- [46] F. Aguirre, O. Rojas, J. Calle y Á. Moscoso, «Consideraciones sobre la dosificación experimental de hormigones en base a materiales característicos de Cochabamba,» *I3*, vol. 1, n° 13, p. 16, Investigación y Desarrollo.
- [47] Universidad Técnica de Ambato, *Resistencias a la compresión más comunes del hormigón*, Ambato: Facultas de Ingeniería Civil y Mecánica - Laboratorio de ensayo de materiales.
- [48] S. A. Kaplan, «Factors affecting the relationship between rate of loading and measured compressive strength of concrete,» *Magazine of Concrete Research*, vol. 32, n° 111, p. 88, 1980.
- [49] E. Alario Catalá, «Alario Arquitectura Técnica,» 13 10 2014. [En línea]. Available: <https://enriquealario.com/curado-de-hormigon/>. [Último acceso: 06 12 2021].
- [50] S. Kosmatka, B. Kerkhoff y W. Panarese, *Design and Control of Concrete Mixtures*, 14 ed., Skokie, Illinois: Portland Cement Association, 2002, p. 358.
- [51] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1576 Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*, Quito, 2011.
- [52] O. Arioiz, M. Tuncan, K. Ramyar, A. Tuncan, B. Karasu, K. Killinc y W. Mortaja, «Specimen size and shape effects on measured compressive strength of concrete,» de *SERES'09 I. International Ceramic, Glass, Porcelain Enamel, Glaze and Pigment Congress*, Eskisehir, Turkey, 2019.
- [53] R. J. Thomas y S. Peethamparan, «Effects of specimen size and curing condition on the compressive strength of alkali-activated concrete,» *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, vol. 9, n° 14, 2017.

- [54] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 152 Cemento Portland. Requisitos.*, Quito, 2010.
- [55] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 157 Cemento Hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*, Quito, 2009.
- [56] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 2652 Cemento hidráulico. Determinación de la finura del cemento hidráulico y materia prima mediante los tamices de 300 μm (No.50), 150 μm (No.100) y 75 μm (No. 200), por el método húmedo.*, Quito, 2012.
- [57] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 156 Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad*, Quito, 156.
- [58] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 158 Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat*, Quito, 2009.
- [59] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 875 Cemento Hidráulico. Determinación del endurecimiento prematuro. Método de la pasta*, Quito, 2009.
- [60] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 200 Cemento Hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave*, Quito, 2009.
- [61] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 488 Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista*, Quito, 2009.
- [62] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 696 Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso*, Quito, 2011.
- [63] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 856 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*, Quito, 2010.
- [64] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 857 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*, Quito, 2010.

- [65] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 858 Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*, Quito, 2010.
- [66] Unión Cementera Nacional, «UCEM,» UCEM, [En línea]. Available: <https://www.ucem.com.ec/categoria-producto/cemento-chimborazo/>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [67] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1578 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*, Quito, 2010.
- [68] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *NTE INEN 1579 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (Método Gravimétrico)*, Quito, 2013.

Anexos

Anexos fotográficos

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Tamizado del agregado fino.	Toma del peso retenido parcial del agregado fino.
Fotografía 3	Fotografía 4
	
Tamizado del agregado grueso.	Toma del peso retenido parcial del agregado grueso.

Fotografía 5	Fotografía 6
	
<p>Extracción del exceso de gasolina.</p>	<p>Toma del peso de la muestra de cemento Tipo GU.</p>
Fotografía 7	Fotografía 8
	
<p>Extracción del aire</p>	<p>Densidad real del agregado fino.</p>

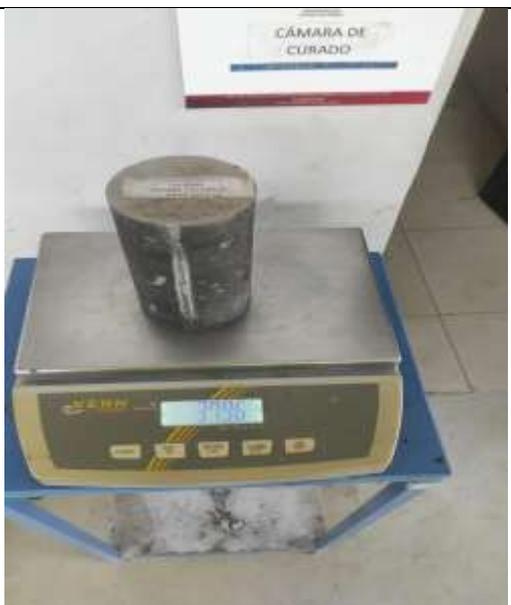
Fotografía 9	Fotografía 10
	
<p>Toma de peso de la muestra de árido fino.</p>	<p>Colocación del agua hasta la marca</p>
Fotografía 11	Fotografía 12
	
<p>Extracción de la muestra del agua.</p>	<p>Toma del peso de la canastilla más muestra en condición SSS.</p>

Fotografía 13	Fotografía 14
	
<p>Toma del peso de la canastilla más muestras sumergida.</p>	<p>Toma de peso de la muestra en condición SSS.</p>
Fotografía 15	Fotografía 16
	
<p>Colocación de las muestras en el horno.</p>	<p>Densidad aparente suelta de árido grueso.</p>

Fotografía 17	Fotografía 18
	
<p>Densidad aparente de la mezcla.</p>	<p>Densidad aparente compactada del árido grueso.</p>
Fotografía 19	Fotografía 20
	
<p>Ensayo del asentamiento del hormigón.</p>	<p>Varillado.</p>

Fotografía 21	Fotografía 22
	
Medición del asentamiento.	Pesaje de la cantidad de cemento.
Fotografía 23	Fotografía 24
	
Colocación de los materiales en parihuelas.	Vertido del agua en la Concretera.

Fotografía 25	Fotografía 26
	
Engrasado de los moldes.	Enrazado del hormigón.
Fotografía 27	Fotografía 28
	
Golpes en el martillo de goma a los especímenes.	Varillado del hormigón en capas.

<p align="center">Fotografía 29</p>	<p align="center">Fotografía 30</p>
	
<p>Colocación del hormigón en los moldes.</p>	<p>Pesaje del hormigón en estado fresco.</p>
<p align="center">Fotografía 31</p>	<p align="center">Fotografía 32</p>
	
<p>Curado del hormigón.</p>	<p>Pesaje del hormigón en estado endurecido.</p>

Fotografía 33	Fotografía 34
	
<p>Ensayo de resistencia a la compresión.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-1” a los 7 días.</p>
Fotografía 35	Fotografía 36
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-2” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-3” a los 7 días.</p>

Fotografía 37	Fotografía 38
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-1” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-2” a los 7 días.</p>
Fotografía 39	Fotografía 40
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-3” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-1” a los 7 días.</p>

Fotografía 41	Fotografía 42
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-2” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-3” a los 7 días.</p>
Fotografía 43	Fotografía 44
	
<p>Fractura del cilindro “Curado 1” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Curado 2” a los 7 días.</p>

Fotografía 45	Fotografía 46
	
<p>Fractura del cilindro “Curado 3” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Sin curar 1” a los 7 días.</p>
Fotografía 47	Fotografía 48
	
<p>Fractura del cilindro “Sin curar 2” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Sin curar 3” a los 7 días.</p>

Fotografía 49	Fotografía 50
	
Fractura del cilindro “100x200 1” a los 7 días.	Fractura del cilindro “100x200 2” a los 7 días.
Fotografía 51	Fotografía 52
	
Fractura del cilindro “100x200 3” a los 7 días.	Fractura del cilindro “150x300 1” a los 7 días.

Fotografía 53	Fotografía 54
	
<p>Fractura del cilindro “150x300 2” a los 7 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “150x300 3” a los 7 días.</p>
Fotografía 55	Fotografía 56
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-1” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-2” a los 14 días.</p>

Fotografía 57	Fotografía 58
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-3” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-1” a los 14 días.</p>
Fotografía 59	Fotografía 60
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-2” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-3” a los 14 días.</p>

Fotografía 61	Fotografía 62
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-1” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-2” a los 14 días.</p>
Fotografía 63	Fotografía 64
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-3” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Curado 1” a los 14 días.</p>

Fotografía 65	Fotografía 66
	
<p>Fractura del cilindro “Curado 2” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Curado 3” a los 14 días.</p>
Fotografía 67	Fotografía 68
	
<p>Fractura del cilindro “Sin curar 1” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Sin curar 2” a los 14 días.</p>

Fotografía 69	Fotografía 70
	
<p>Fractura del cilindro “Sin curar 3” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “100x200 1” a los 14 días.</p>
Fotografía 71	Fotografía 72
	
<p>Fractura del cilindro “100x200 2” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “100x200 3” a los 14 días.</p>

Fotografía 73	Fotografía 74
	
<p>Fractura del cilindro “150x300 1” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “150x300 2” a los 14 días.</p>
Fotografía 75	Fotografía 76
	
<p>Fractura del cilindro “150x300 3” a los 14 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-1” a los 28 días.</p>

Fotografía 77	Fotografía 78
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-2” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 1-3” a los 28 días.</p>
Fotografía 79	Fotografía 80
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-1” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-2” a los 28 días.</p>

Fotografía 81	Fotografía 82
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad N-3” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-1” a los 28 días.</p>
Fotografía 83	Fotografía 84
	
<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-2” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Velocidad 2-3” a los 28 días.</p>

Fotografía 85	Fotografía 86
	
Fractura del cilindro “Curado 1” a los 28 días.	Fractura del cilindro “Curado 2” a los 28 días.
Fotografía 87	Fotografía 88
	
Fractura del cilindro “Curado 3” a los 28 días.	Fractura del cilindro “Sin curar 1” a los 28 días.

<p align="center">Fotografía 89</p>	<p align="center">Fotografía 90</p>
	
<p>Fractura del cilindro “Sin curar 2” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “Sin curar 3” a los 28 días.</p>
<p align="center">Fotografía 91</p>	<p align="center">Fotografía 92</p>
	
<p>Fractura del cilindro “100x200 1” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “100x200 2” a los 28 días.</p>

Fotografía 93	Fotografía 94
	
<p>Fractura del cilindro “100x200 3” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “150x300 1” a los 28 días.</p>
Fotografía 95	Fotografía 96
	
<p>Fractura del cilindro “150x300 2” a los 28 días.</p>	<p>Fractura del cilindro “150x300 3” a los 28 días.</p>