



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”

Autor: Milton Alexander Carranza Castro

Tutor: Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema “**DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN**”, elaborado por el Sr. Milton Alexander Carranza Castro, con C.I. 180478263-7, 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 autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2022



Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Milton Alexander Carranza Castro** con C.I. 180478263-7, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2022



Milton Alexander Carranza Castro

C.I. 1804782637

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental, 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, septiembre 2022



Milton Alexander Carranza Castro

C.I. 1804782637

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO


Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Milton Alexander Carranza Castro de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”**.

Ambato, septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios quien siempre cuida de mi a lo largo de mi vida.

A mi familia que siempre me apoyó.

Milton Alexander Carranza Castro

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios por guiarme y darme la sabiduría.

Quiero dar gracias a mis Padres Luis Milton Carranza Espinoza y Marcia Elizabeth Castro Aldaz que me apoyaron incondicionalmente y sin ellos no sería la persona que soy ahora.

A mis hermanos Dennis e Ibete que siempre me animaron a seguir adelante.

A mis amigos que sin ellos la vida universitaria nunca habría sido la misma.

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme el conocimiento y formarme como profesional.

Agradezco al Ing. Diego Chérrez quien me guió para culminar este trabajo experimental, por su amabilidad, conocimiento y disponibilidad.

A mi amor Alejandra González por sus palabras de aliento, su apoyo incondicional y por enseñarme a mirar más lejos.

Al Ing. Manolo Torres por sus enseñanzas y guiarme en la vida profesional.

¡GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES.....	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
B. CONTENIDO.....	1
CAPÍTULO I - MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Justificación.....	4
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II - METODOLOGÍA	7
2.1 Materiales.....	7
2.2 Métodos.....	10
2.2.1 Hormigón.....	10
2.2.2 Componentes del hormigón.....	14
2.2.2.1 Vidrio	29
2.2.3 Método de la densidad óptima.....	30
2.2.4 Propiedades del hormigón fresco	33
2.2.5 Propiedades del hormigón endurecido	36

2.2.6 Curado del hormigón.....	37
2.2.7 Resistencia a la compresión del hormigón	40
2.2.8 Aditivos en la construcción	47
2.3 Cantidad de especímenes	49
2.4 Recolección de datos.....	50
2.4.1 Ensayos de los materiales.....	50
2.4.2 Preparación y curado de probetas cilíndricas de hormigón y vidrio granular.....	50
2.4.3 Propiedades del hormigón endurecido.	50
2.5 Análisis y resultados	51
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	52
3.1.1 Resultados de los ensayos para la dosificación de 210 kg/cm ²	52
3.1.2 Ensayos realizados al hormigón en estado fresco.	55
3.1.3 Ensayos realizados al hormigón en estado endurecido.	59
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
4.1. Conclusiones	76
4.2 Recomendaciones.....	78
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	78
Referencias bibliográficas.....	79
Anexos.....	85
A1. Resultados ensayos	85
A2. Anexos Fotográficos.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales y equipos.	7
Tabla 2. Clasificación del hormigón según el peso unitario.	12
Tabla 3. Clasificación del hormigón según la resistencia a la compresión.....	13
Tabla 4. Clasificación del hormigón según los aditivos.	13
Tabla 5. Compuestos principales del cemento.	14

Tabla 6. Principales tipos de cemento producido alrededor del mundo.	15
Tabla 7. Clasificación de los agregados de acuerdo a su densidad.....	19
Tabla 8. Clasificación de agregados según la densidad aparente.....	21
Tabla 9. Masa mínima de la muestra de ensayo.....	21
Tabla 10. Precisión.....	23
Tabla 11. Límites para análisis granulométrico en árido fino.....	24
Tabla 12. Granulometría para agregado grueso.	25
Tabla 13. Criterios de aceptación de agua dudosa.	27
Tabla 14. Resistencia del hormigón según la relación agua/cemento.....	27
Tabla 15. Nomenclatura	31
Tabla 16. Cantidad de pasta de cemento con relación al asentamiento.	32
Tabla 17. Clasificación de las consistencias según su asentamiento medio en el cono de Abrams.	35
Tabla 18. Período mínimo de curado para un hormigón de resistencia superficial del 50% de resistencia característica especificada.	39
Tabla 19. Tiempos mínimos de curado para diferentes tipos de ligante y para varias relaciones agua/cementante.....	40
Tabla 20. Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico.	41
Tabla 21. Resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}) (valores de resistencia en MPa) Cuando la desviación estándar es conocida.....	42
Tabla 22. Resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}) (valores de resistencia en MPa) Cuando la desviación estándar es desconocida.	42
Tabla 23. Tolerancia del tiempo admisible para ensayo de especímenes.	42
Tabla 24. Precisión dentro del ensayo.....	43
Tabla 25. Especímenes.....	49
Tabla 26. Resumen de ensayos para dosificación $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$	52
Tabla 27. Dosificación al peso $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$	53
Tabla 28. Dosificación al volumen $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$	53
Tabla 29. Dosificación para tres cilindros de hormigón de 210 kg/cm ² más el vidrio molido considerando el peso total del material seco en diferentes porcentajes.	54
Tabla 30. Densidad del hormigón 7 días de edad.	55
Tabla 31. Densidad del hormigón 14 días de edad.	56
Tabla 32. Densidad del hormigón 28 días de edad.	57

Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco.....	58
Tabla 34. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 7 días de edad.	59
Tabla 35. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 14 días de edad.	60
Tabla 36. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 28 días de edad.	62
Tabla 37. Precio del Hormigón y vidrio granular.	63
Tabla 38. Granulometría del Agregado Fino	85
Tabla 39. Granulometría del Agregado Grueso	86
Tabla 40. Densidad Aparente Compactada del agregado fino y grueso.	87
Tabla 41. Densidad Aparente Suelta del agregado fino y grueso.	87
Tabla 42. Densidad Aparente Compactada de la Mezcla	88
Tabla 43. Densidad Real y Capacidad de absorción de la Arena.....	90
Tabla 44. Densidad Real y Capacidad de absorción del Ripio	91
Tabla 45. Densidad Real del Cemento.....	92
Tabla 46. Granulometría del vidrio molido.....	93
Tabla 47. Resistencias a la compresión más comunes del hormigón FICM.....	94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dureza de acero y hormigón	11
Gráfico 2. Ilustración simplificada de la hidratación de la pasta de cemento	28
Gráfico 3. Principales aplicaciones del vidrio.....	29
Gráfico 4. Tiempos de curado.....	39
Gráfico 5. Comparación del desarrollo de resistencia de hormigón con y sin desecho, curado normal y curado ciclado por calor.....	44
Gráfico 6. Relación w/c y resistencia a la compresión.	45
Gráfico 7. Efecto de la clasificación del agregado grueso en la resistencia a la compresión.	46
Gráfico 8. Efecto de la clasificación de la arena en la resistencia a la compresión. ...	46
Gráfico 9. Relación entre contenido de cemento y resistencia a la compresión.	47
Gráfico 10. Resistencia a la compresión del hormigón con 0% de vidrio granular...	64

Gráfico 11. Resistencia a la compresión del hormigón con 1% de vidrio granular...	64
Gráfico 12. Resistencia a la compresión del hormigón con 2% de vidrio granular...	65
Gráfico 13. Resistencia a la compresión del hormigón con 3% de vidrio granular...	65
Gráfico 14. Resistencia a la compresión del hormigón con 4% de vidrio granular...	66
Gráfico 15. Resistencia a la compresión del hormigón con 5% de vidrio granular...	66
Gráfico 16. Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.	67
Gráfico 17. Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.	69
Gráfico 18. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.	71
Gráfico 19. Resistencia a la compresión de la mezcla hormigón - vidrio granular de 210 kg/cm ²	73
Gráfico 20. Precio de 3 cilindros de hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ vs. Porcentaje de vidrio granular.....	75
Gráfico 21. Curva Granulométrica Arena.....	85
Gráfico 22. Curva Granulométrica Ripio.....	86
Gráfico 23. Porcentaje óptimo vs. Densidad aparente.....	89
Gráfico 24. Curva Granulométrica Vidrio Molido.	93

RESUMEN

La investigación de nuevos componentes utilizados en mezclas de hormigón aborda un elemento árido, el vidrio reciclado como aditivo para minimizar el impacto que produce la industria del concreto al ambiente, se considera también los costos relacionados a materias primas de la construcción, la innovación a través de la reutilización de estos materiales, en donde a la vez se reduce el volumen de residuo generado tanto a nivel domiciliario como industrial ocasionando beneficio social y ecológico.

En el presente trabajo experimental se determinó el porcentaje óptimo de vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón y su influencia en la resistencia a compresión. Los materiales pétreos (ripió y arena) se adquirieron de la Mina Anzu ubicada en el Cantón Tena, Parroquia Puerto Napo, se procedió a realizar los ensayos de las normas INEN y ASTM al agregado fino y grueso en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica; asimismo, se efectuó la dosificación por el Método de la Densidad Óptima para una resistencia de diseño a la compresión de 210 kilogramos sobre centímetro cuadrado a los 7, 14 y 28 días de edad añadiendo a la mezcla porcentajes de vidrio granular que va desde 1 al 5 por ciento según el peso de los materiales sólidos (ripió, arena, cemento), también se elaboraron especímenes sin vidrio granular para el control y comparación de la resistencia a la compresión, también se costó el precio de los cilindros con y sin el aditivo.

Se identificó que el 5 por ciento es el porcentaje óptimo dando una resistencia a la compresión de 218.77 kilogramos sobre centímetro cuadrados a los 28 días de edad, que es un 104.17 por ciento de la resistencia de diseño.

Palabras clave: Hormigón, Vidrio granular, Aditivo, Resistencia a compresión, Precios.

ABSTRACT

The investigation of new components used in concrete mixtures addresses an arid element, recycled glass as an additive to minimize the impact that the concrete industry produces on the environment, costs related to raw materials for construction, innovation through of the reuse of these materials, where at the same time the volume of waste generated both at home and industrial level is reduced, causing social and ecological benefits.

In the present experimental work, the optimal percentage of granular glass as an additive in the concrete mixture and its influence on the compressive strength were determined. The stone materials (gravel and sand) were acquired from the Anzu Mine located in the Tena ty, Puerto Napo Parish, the tests of the INEN and ASTM standards were carried out on the fine and coarse aggregate in the laboratory of the Faculty of Civil Engineering and Mechanics; Likewise, the dosage was carried out by the Optimum Density Method for a design resistance to compression of 210 kilograms per square centimeter at 7, 14 and 28 days of age, adding to the mixture percentages of granular glass ranging from 1 to 5 percent according to the weight of the solid materials (gravel, sand, cement), specimens without granular glass were also made for the control and comparison of the compressive strength, the price of the cylinders with and without the additive was also paid. .

It was identified that 5 percent is the optimum percentage, giving a compressive strength of 218.77 kilograms per square centimeter at 28 days of age, which is 104.17 percent of the design strength.

Keywords: Concrete, Granular glass, Additive, Compressive strength, Prices.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Antecedentes

En el campo de la ingeniería, industria y construcción el hormigón es el principal elemento constructivo que data desde la antigüedad (imperio romano) hasta la actualidad formando parte de diversas edificaciones y estructuras, ha pasado por procesos de construcción básicos, ensayos de laboratorio hasta la utilización de aditivos para elaborar su mezcla y la puesta en marcha de obras que aseguren la calidad y resistencia final de sus componentes [1]. Para mejorar las condiciones mecánicas del hormigón se han utilizado elementos como el acero ya sea en barras o fibras y se han realizado estudios en donde se incorpora la fibra de vidrio para reforzar las aleaciones con hormigón y mejorar sus características mecánicas [2].

Diversas son las alternativas para el reciclaje y reutilización del vidrio, especialmente el que proviene de botellas, se han obtenido varias categorías definidas por organizaciones, investigaciones, artículos, en donde definen la información como uso en materias primas y agregados para la construcción, aplicaciones en el concreto, aislamiento, pavimentos y usos en la industria de los minerales [3].

El reciclaje en Ecuador está centrado en los plásticos considerados como los principales contaminantes, sin embargo, el vidrio es igual o aún más contaminante ya que presenta mayores obstáculos como el transporte y manipulación, sobre todo en

pequeñas cantidades genera altos costos, es por ello que la mayoría de las veces el vidrio que se arroja a la basura termina en rellenos sanitarios [4].

El vidrio se encuentra de varias formas dentro de una construcción ya sea en puertas, ventanas, pisos y balcones, también es un material idóneo para satisfacer las necesidades de confort, seguridad, aislamiento acústico, control solar y decoración, en general en un ámbito ornamental decorativo. Debido a las múltiples aplicaciones que presenta el vidrio, desde el ámbito de los agregados en la construcción, se ha implementado en la preparación de hormigón por su alto grado de reutilización e incorporación en morteros de cemento [5].

El vidrio es uno de los materiales que al ser desechado requiere de mayor tiempo para su descomposición, por lo que es aprovechado en diversas aplicaciones, investigaciones han obtenido adoquines fabricados con vidrio reciclado en donde su incidencia fue positiva de cara a la resistencia al desgaste, alcanzando de igual manera una resistencia a la compresión sugerida en la norma, por otro lado, a pequeña escala, se presentan costos elevados en cuanto a molienda y transporte. Se rescata el aprovechamiento de recursos naturales no renovables y la sugerencia de un tiempo de vida útil superior a su homólogo habitual (plástico) [6].

Sin embargo, una investigación del uso factible de vidrio reciclado para la producción de hormigón auto compactado fue estudiando en el departamento de Ingeniería Civil y Estructural de la Universidad de Hong Kong en 2009, concluye que el flujo de asentamiento y el contenido de aire de la mezcla aumentan con el incremento de la cantidad de vidrio reciclado. Lo contrario a la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y el módulo estático de elasticidad que disminuyen con el aumento de la cantidad de vidrio reutilizado [7].

Por otra parte, un estudio realizado en Perú evalúa el concreto de alta resistencia adicionando vidrio reciclado, obteniendo una resistencia a la compresión del concreto patrón de 350.24 kg/cm², con un 15% de aditivo de vidrio reciclado la resistencia

incrementa a 354.58 kg/cm² y el concreto con adición del 25% de vidrio reciclado se tiene una resistencia a la compresión promedio de 373.45 kg/cm², evidenciando hasta este punto un incremento de esta propiedad con respecto al incremento del porcentaje del vidrio reciclado, siendo este último porcentaje el óptimo a los 28 días en esta investigación [8].

Otro estudio efectuado en Canadá caracteriza mezclas de hormigón y vidrio reciclado mediante análisis experimental a la par con el modelado de redes neuronales artificiales, para la construcción de capas de pavimento, presenta un enfoque factible y práctico con la mezcla de hasta el 30% de vidrio reciclado y concreto reciclado, por otro lado, se exhibe un comportamiento de endurecimiento por deformación en mezclas mayores al 10% de vidrio reciclado [9].

Un estudio realizado en Ecuador, en la Universidad Técnica de Manabí en 2019, respecto a la resistencia a la compresión del hormigón utiliza vidrio molido finamente reemplazando parcialmente al cemento presentando efectos positivos frente a esta propiedad mecánica, se ensayó también con el 15% de vidrio molido a los 56 días en reemplazo parcial por el cemento en donde se muestran resultados inferiores a la resistencia característica, siendo una opción viable su utilización en hormigones de tipo no estructural [10].

Asimismo, una investigación reemplaza parcialmente el vidrio molido al agregado fino y evalúa la resistencia a la compresión del hormigón, concluye que la trabajabilidad y el asentamiento mejoran levemente al incrementar el porcentaje de vidrio. La resistencia a la compresión disminuye con el incremento del porcentaje de vidrio reemplazado parcialmente a la arena en la mezcla de hormigón [11].

1.1.2 Justificación

La importancia del uso de aditivos en la construcción radica en la posibilidad de brindar mejores cualidades a la mezcla de hormigón, ya sea en resistencia a la compresión, trabajabilidad, durabilidad, solidez, entre otros, con el propósito de brindarle al concreto todas las características que un concreto tradicional no podría cumplir [12].

Una de las problemáticas ambientales a nivel mundial es la eliminación de subproductos de la producción industrial, la contaminación y su incidencia al medio ambiente, es por ello que se requieren de actividades que generen menos desperdicio, disminuyan las emisiones de gases o residuos volátiles y en general impacten de manera positiva al ecosistema, es decir a través del aprovechamiento de elementos desechados, contribuyendo a la economía circular en donde se busca reducir al mínimo la generación de residuos o su máxima reutilización [13]. El vidrio reciclado se presenta como una alternativa de componente en los agregados de hormigón con el objetivo de reducir el impacto ambiental, contribuir con una producción sostenible, reducción del gasto energético e incremento de la tasa de empleo [14].

La vida útil de las construcciones es un factor fundamental de toda obra de Ingeniería determinada por las materias primas e insumos. El vidrio granular utilizado como refuerzo en la mezcla de hormigón influye en las propiedades mecánicas, control de agrietamientos en las estructuras y por ende mejora las condiciones de vida de la población al garantizar una edificación resistente, estable y equilibrada [15].

Por consiguiente, el presente proyecto de investigación pretende determinar el porcentaje óptimo de vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón y su influencia en la resistencia a la compresión, proyectándose así a la reutilización de este desecho industrial aprovechado como recurso para la obtención de agregados de hormigón con características de resistencia al desgaste, durabilidad, firmeza,

relacionadas con la resistencia mecánica con el fin de contribuir en la construcción de estructuras de calidad, seguras y sostenibles en el tiempo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar del porcentaje óptimo de vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón y su influencia en la resistencia a compresión para una dosificación de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Dosificar muestras cilíndricas de hormigón de 210 kg/cm^2 , con los respectivos porcentajes de vidrio granular desde 1% al 5%.
- Dosificar probetas de hormigón sin vidrio granular para el control y comparación de datos.
- Analizar la resistencia última del concreto con los porcentajes de vidrio granular a los 7, 14 y 28 días.
- Comparar los precios del hormigón tradicional con la mezcla de hormigón y vidrio granular.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para desarrollar el presente trabajo experimental se requirieron los siguientes materiales y equipos para cada uno de los ensayos de laboratorio:

Tabla 1. Materiales y equipos.

N°	ENSAYO	NORMA	EQUIPOS	MATERIALES
1	Granulometría de los agregados.	NTE INEN 696 ASTM C 136	Agregado fino Agregado grueso	Recipientes metálicos Fuentes Balanza Brocha Tamizadora Tamices agregado fino 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 Serie de Tamices agregado grueso 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4
2	Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino.	NTE INEN 856 ASTM C 128	Agregado fino Agregado grueso	Recipiente metálico Balanza Picnómetro Embudo Pipeta Horno eléctrico Tamiz No. 4 Bandeja metálica

				Cono de absorción Pisón
3	Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.	NTE INEN 857 ASTM C 127	Agregado fino Agregado grueso	Recipiente metálico Balanza Canastilla Balde Horno eléctrico
4	Densidad aparente suelta y compactada de los agregados	NTE INEN 857 ASTM C 127	Agregado fino Agregado grueso	Recipiente metálico Varilla de compactación Bandeja metálica Pala Balanza
5	Densidad combinada de los agregados.	NTE INEN 858 ASTM C 29	Agregado fino Agregado grueso	Recipiente metálico Varilla de compactación Bandeja metálica Pala Balanza
6	Contenido de humedad de los agregados.	NTE INEN 862 ASTM C 566	Agregado fino Agregado grueso	Recipientes metálicos Balanza Horno eléctrico
7	Densidad real del cemento	NTE INEN 156 ASTM C 188	Cemento T. GU. Gasolina	Embudo Balanza Picnómetro Pipeta
8	Elaboración y curado.	NTE INEN 3124 y ASTM C 192	Agregado fino Agregado grueso	Recipientes Probeta Carretilla Varilla de compactación Balanza

			Cemento T. GU Agua Aceite quemado	Pala Pala de mano Balanza Martillo de goma Palustre Moldes cilíndricos de 150x300 mm Concretera de medio saco Cámara de curado
9	Asentamiento del hormigón.	NTE INEN 1578 ASTM C 143	Hormigón recién elaborado	Varilla de compactación Bandeja metálica Cono de Abrams Flexómetro
10	Densidad en estado fresco del hormigón.	NTE INEN 1579 ASTM C 138	Muestras de Hormigón recién elaborado	Balanza mecánica
11	Resistencia a la compresión y densidad en estado endurecido del hormigón.	NTE INEN 1573 y ASTM C 39	Muestras de hormigón fraguado	Balanza Brocha Flexómetro Máquina de compresión modelo Shimadzu Concreto 2000X

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

2.2 Métodos

2.2.1 Hormigón

- **Definición de hormigón**

El hormigón es un material de construcción resultante de la mezcla de cemento o cal, agua y áridos (grava, arena, piedra) y que al fraguar se obtiene mayor resistencia [16]. Este material compuesto es de bajo costo respecto al acero, siendo manejable y haciendo posible construir materiales de cualquier forma, tiene una resistencia parecida al ladrillo, es altamente compacto y firme ante al fuego, posee nula conductividad eléctrica frente al sonido [17].

- **Características del hormigón**

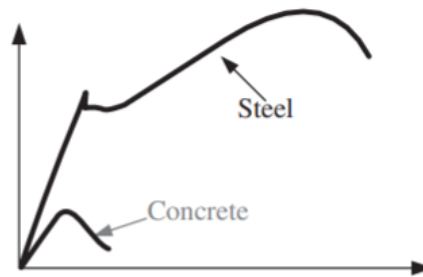
El hormigón es económico y un material de fácil disponibilidad en el mundo, debido a los bajos costos de producción y mantenimiento, su producción es accesible permitiendo un bajo precio a los mercados locales; que comparándolo con el acero el consumo energético es bajo. El concreto gana resistencia a temperatura ambiente, debido a que es un material orgánico ligado a baja temperatura. La facilidad de moldear en distintas configuraciones permite obtener diferentes formas y tamaños en el sitio de construcción a causa de su capacidad para ser colado [18].

Otra característica importante es la resistencia al agua, se endurece con ella y soporta la acción del agua sin deteriorarse, haciendo posible la construcción de estructuras que almacenen y transporten agua, contrario a materiales como la madera o el acero. De la misma manera con la resistencia al fuego que proporciona el hormigón, debido a su componente principal, el hidrato de silicato de calcio (C-S-H), el cual no se deshidratará fácilmente hasta alcanzar los 910°C, una estructura de hormigón puede

resistir el calor de 2 a 6 horas, siendo frecuentemente utilizado para la elaboración de capas protectoras sobre estructuras de acero [18].

La capacidad que tiene el hormigón para trabajar con el acero de refuerzo hace que proporcione un ambiente perfecto, creando una barrera de protección física y química, a causa de la existencia de carbohidratos y álcalis [18].

Gráfico 1. Dureza de acero y hormigón



Fuente: Z. Li [18].

La generación de subproductos o residuos a raíz del desarrollo de la industria ha provocado el problema de la contaminación ambiental, una solución a esta problemática ha sido la capacidad que tiene el hormigón a incorporar residuos, haciendo que muchos desechos industriales se puedan reciclar como sustitutos del cemento o agregados (cenizas o granulados del horno de molienda), llantas molidas de vehículos molidas en concreto y desechos de vidrio, debido a la gran cantidad de hormigón producido anualmente es factible consumir la mayoría de residuos industriales del mundo, con la disposición de técnicas adecuadas para su tratamiento [18].

- **Tipos de hormigón**

Clasificación de acuerdo al peso unitario

La Tabla 2 muestra la clasificación en cuatro categorías de acuerdo al peso unitario de los hormigones. El hormigón ultraligero utilizado para la construcción de elementos no estructurales. El hormigón ligero, de acuerdo a la composición específica, se utiliza para miembros estructurales y no estructurales. El hormigón de peso normal es utilizado en estructuras y edificios. El hormigón pesado utilizado en la construcción de laboratorios, hospitales, plantas nucleares [18].

Tabla 2. Clasificación del hormigón según el peso unitario.

Clasificación del hormigón	Peso Unitario (Kg/m³)
Ultraligero	< 1200
Ligero	1200 < PU < 1800
Peso normal	~ 2400
Pesado	> 3200

Fuente: Z. Li [18].

Clasificación de acuerdo a la resistencia a la compresión

En la Tabla 3 se evidencia la clasificación según la resistencia a la compresión del hormigón. El hormigón de baja resistencia se utiliza en la construcción de estructuras sub-rasantes de carreteras y tabiques. El hormigón de resistencia moderada es utilizado para la construcción de edificios y puentes. Los hormigones de elevada resistencia para columnas de edificios altos, torres de puentes. Y los de ultra alta resistencia para pasarelas, vigas y ciertos segmentos estructurales [18].

Tabla 3. Clasificación del hormigón según la resistencia a la compresión

Clasificación del hormigón	Resistencia a la compresión (MPa)
Baja resistencia	< 20
Resistencia moderada	20 - 50
Alta resistencia	50 - 150
Ultra alta resistencia	> 150

Fuente: Z. Li [18].

Clasificación de acuerdo a los aditivos

En la Tabla 4 se presentan cuatro ejemplos de aditivos que se incorporan al concreto con el propósito de mejorar características como la tenacidad, propiedades de tensión, tracción y flexión, resistencia a la abrasión [18].

Tabla 4. Clasificación del hormigón según los aditivos.

Clasificación	Aditivos
Hormigón libre de macro defectos	Polímeros
Concreto de fibra reforzada	Diferentes fibras (acero, vidrio, polímeros y carbono)
Concreto densificado con pequeñas partículas	Gran cantidad de humo de sílice
Hormigón polimérico	Polímeros

Fuente: Z. Li [18].

2.2.2 Componentes del hormigón

- **Cemento**

El cemento es un polvo fino utilizado como material de construcción en obras civiles. Es el principal componente del hormigón moderno. Es resultante del proceso de calcinación, hasta lograr los 1450°C, con componentes como piedra caliza, arcilla, hierro y aditivos químicos [19]. La pasta de cemento tiene tres funciones en el hormigón, unión, revestimiento y lubricación [18]. Los principales componentes resultantes de la fusión química en el horno para obtención de cemento se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Compuestos principales del cemento.

Nombre	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C3A
Aluminoferrito tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF

Fuente: Constructor civil [20].

Existen diferentes tipos de cemento, en general el GU es el más utilizado en la construcción, debido a su resistencia, calidad y durabilidad es ampliamente requerido en albañilería, cimentaciones, pisos, estabilización de suelos, morteros, vigas, losas, prefabricados, tuberías, entre otros, su funcionalidad y cumplimiento con la Norma NTE INEN 2380 [21]. Posee ventajas como la reducción de segregación y exudación, reducción del calor por hidratación y por ello reduce el riesgo a fisuras, resistencia

química y buen desempeño al momento del fraguado y el ahorro, por metro cúbico de hormigón, en la cantidad de cemento [22].

La Tabla 6 resume los principales tipos genéricos de cemento Portland elaborados alrededor del mundo.

Tabla 6. Principales tipos de cemento producido alrededor del mundo.

Tipo	Designación	Componentes (excluyendo componentes adicionales menores permitidos en algunos países)	Aplicaciones
Portland normal	Puro	Clínker y sulfato de calcio	Todo tipo de construcción excepto donde esté expuesto a sulfatos.
Portland resistente al sulfato	Puro	Clínker bajo en C3A y sulfato de calcio	Donde el concreto esté expuesto a sulfatos solubles.
Portland blanco	Puro	Clínker especial de bajo contenido de hierro y sulfato de calcio	Para acabados arquitectónicos.
Cemento Portland de cenizas volátiles	Compuesto	Clínker, cenizas volátiles y sulfato de calcio	Todo tipo de construcción. Algunos países reconocen una resistencia mejor a los sulfatos y protección contra la reacción de sílice alcalina si el nivel de cenizas

			volátiles supera el 25%. Propiedades de bajo calor y altos niveles de cenizas volátiles.
Cemento Portland de desecho	Compuesto	Clínker, desecho granulado de alto horno y sulfato cálcico	Todo tipo de construcción. La mayoría de los países reconocen una mayor resistencia a los sulfatos si el nivel de desecho supera el 60%. Protección contra la reacción alcalina sílice reconocida en algunos países. Propiedades de bajo calor a altos niveles de desecho.
Cemento Portland de piedra caliza	Compuesto	Clínker, piedra caliza de pureza especificada y sulfato de calcio	En Europa todo tipo de construcción.
Cemento puzolánico	Compuesto	Clínker, puzolana natural y sulfato de calcio	Todo tipo de construcción. Propiedades de resistencia a los sulfatos normalmente no reconocidas.
Cemento de albañilería	Compuesto	Clínker, piedra caliza (o cal) y agente inclusor de aire	Albañilería, bloques y renderizado.

Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

El cemento hidráulico aglutinado al reaccionar con agua forma una matriz de pasta de cemento, misma que representa el 25% del hormigón, en la que se incorporan los áridos [24].

- **Agregados**

Los agregados representados por el 75% del volumen total del hormigón, actúan como rellenos inertes para brindar mejores propiedades físicas y mecánicas en elementos de construcción estructural [24]. Es el componente secundario en la masa de hormigón, utilizado como un relleno económico para brindar estabilidad y volumen al concreto; los agregados naturales son el ingrediente omnipresente del hormigón moderno. Diversos son los áridos especiales, agregados livianos, agregados de alta densidad, agregados para aislamiento térmico, protección contra radiación, entre otros. Al ser constituyentes minerales del concreto, ya sea en forma granular o en partículas, se presentan en formas gruesas y finas (en términos de características físicas, como el tamaño de las partículas) [25].

Los agregados cumplen 3 funciones principales en el hormigón:

1. Reducción del costo del concreto al minimizar la cantidad de pasta.
2. Transmitir la resistencia a la abrasión y a la compresión del hormigón.
3. Disminuir los cambios volumétricos durante el fraguado, ya que el cemento reduce su volumen durante el fraguado [26].

Agregado grueso

Los áridos gruesos consisten en grava, piedra triturada, hormigones de cemento hidráulico triturado, escoria de hornos o una combinación de estos [27]. Los

agregados, al ser triturados, son comúnmente producidos en agregados gruesos, partículas generalmente mayores a 4,75mm. Usualmente se requieren de tres etapas para su obtención, en la trituración primaria se reducen grandes materiales rocosos en materiales manejables, en la trituración secundaria, el material rocoso obtenido de la etapa previa se ajusta a tamaños para su uso en hormigón, y la etapa final, generalmente, es requerida para la obtención de agregados de calidad aceptable [25].

Agregado fino

Los agregados finos son partículas iguales o menores a 4,75mm. Estos áridos finos son arenas naturales, trituradas o una combinación entre estos. Los agregados finos triturados, o también conocidas como arenas trituradoras, producidos en condiciones controladas pueden tener comparables o incluso menores requerimientos de agua que las arenas naturales. Para que este tipo de áridos sean utilizados en hormigón deben estar expuestos a condiciones prolongadas de humedad (atmosférica, contacto con terreno húmedo) [25] [27].

Propiedades físicas de los agregados

A continuación, se describen algunas de las propiedades físicas más importantes de los agregados y sus efectos sobre el concreto:

- **Porosidad**

Es una medida de la cantidad volumétrica de poros que pueden absorber agua sobre el volumen total del material. La significación de la porosidad radica en los efectos sobre la densidad y absorción de los agregados y por ende sobre la densidad del hormigón, evidenciando una relación inversa con la resistencia, durabilidad y rigidez del concreto [25] [28].

- **Densidad de partícula**

La densidad influye en la densidad del concreto tanto en estado plástico como endurecido. Presenta efectos sobre el concreto respecto a la resistencia, segregación y propiedades térmicas. Se define como la relación entre la masa de la partícula y el volumen que ocupa.

$$\text{Densidad} = M_s/V_s$$

Donde M_s es la masa del sólido y V_s es el volumen del sólido.

A través de esta propiedad se define la clasificación que se detalla en la Tabla 7, agregados de peso normal, liviano y pesado [25].

Tabla 7. Clasificación de los agregados de acuerdo a su densidad.

Clasificación	Densidad (Kg/m³)
Agregados livianos	~ 1120
Agregados de peso normal	1500 - 1700
Agregados pesados	~ 2000

Fuente: A. Mark y M. Sidney [25].

- **Capacidad de absorción**

Los agregados porosos pueden absorber agua, esta capacidad de absorción se mide en el mismo en el mismo tipo de ensayo que el de porosidad facilitando que los áridos secados en el horno absorban agua mientras se sumergen, luego midiendo la masa en una condición de superficie seca saturada (por sus siglas en inglés, saturated surface dry, SSD).

$$\text{Capacidad de absorción} = \frac{M_{SSD} - M_D}{M_D} \times 100\%$$

Donde MSSD es la masa de la superficie seca saturada del agregado y MD es la masa de los sólidos secos (oven dry) [25].

- **Densidad aparente**

Es la relación entre la masa del material granular del agregado y el volumen que ocupa en determinado espacio.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{M_T}{V_T}$$

Donde MT es la masa total de la muestra granular y VT es el volumen total que ocupa la masa total de la muestra [25].

- **Peso unitario**

El peso unitario de un conjunto de partículas del agregado (material a granel) es la densidad aparente, expresada en unidades de peso. En la Tabla 8 se presenta una clasificación de los agregados de acuerdo a la densidad aparente [25].

Tabla 8. Clasificación de agregados según la densidad aparente.

Clasificación	Rango de densidad aparente (kg/m³)	Modo de compactación
Aislante	96 - 196	Seco suelto
Ligero para mampostería	880 - 1120	Seco suelto
Ligero para hormigón	880 - 1120	Seco suelto
Desecho enfriado por aire	> 1120	Compactado
Peso normal	1200 - 1760	Compactado
Peso pesado	1760 - 4640	Compactado

Fuente: A. Mark y M. Sidney [25].

- **Densidad real del agregado grueso**

La densidad real del ripio (DRR) se expresa a través de la siguiente fórmula [26].

$$DRR = \frac{M_{SSS}}{\frac{M_{SSS} - M_{en\ agua}}{Densidad\ del\ agua}}$$

En la Tabla 9 se muestra el tamaño y la cantidad mínima de la muestra de ensayo.

Tabla 9. Masa mínima de la muestra de ensayo.

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19	3
25	4
37,5	5
50	8
63	12

75	18
90	25
100	40
125	75

Fuente: NTE INEN 857-1 [29].

- **Densidad real del agregado fino**

De acuerdo a la Norma NTE INEN 856 respecto al árido fino, la densidad relación entre la masa de las partículas del agregado por unidad de volumen, considerando tanto los poros permeables como impermeables, sin considerar vacíos entre partículas [30]. La densidad real de la arena (DRA) se expresa a través de la siguiente fórmula [26].

$$DRA = \frac{M_{SSS}}{V_{material}}$$

En la Tabla 10 se muestra la precisión de densidad de agregados para un solo operador y para un multilaboratorio.

Tabla 10. Precisión

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión para un solo operador:		
Densidad (SH), kg/m ³	11	13
Densidad (SSS), kg/m ³	9,5	27
Densidad aparente, kg/m ³	9,5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,011	0,032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,0095	0,027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,0095	0,027
Absorción, % ^B	0,11	0,31
Precisión multilaboratorio:		
Densidad (SH), kg/m ³	23	64
Densidad (SSS), kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (SH)	0,023	0,066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	0,020	0,056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0,020	0,056
Absorción, % ^B	0,23	0,66

Fuente: NTE INEN 856 [30].

- **Humedad**

El contenido de agua afecta la densidad de los áridos y el requerimiento de agua en la mezcla y puede influir en las propiedades de resistencia y movimiento del hormigón [25]. Las condiciones de humedad de los agregados están definidas por el secado al horno, la humedad natural o secado al aire, superficie seca saturada y superficie húmeda saturada [26].

- **Granulometría**

Se refiere a la distribución del tamaño de partículas influyendo en las propiedades plásticas del hormigón y trabajabilidad [25]. En la Tabla 11 se detallan los límites a los que debe ser graduado el agregado fino, siempre que no exceda el 45% de pasante en cualquier tamiz y retenido en el consecutivo de la tabla [27].

Tabla 11. Límites para análisis granulométrico en árido fino.

Tamices	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 – 100
2,36 mm	80 – 100
1,18 mm	50 – 85
600 μm	25 – 60
300 μm	5 – 30
150 μm	0 – 10

Fuente: NTE INEN 872-1 [27].

En la Tabla 12 se muestran los requisitos de gradación de acuerdo al número de tamaño especificado en áridos gruesos [27]

Tabla 12. Granulometría para agregado grueso.

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 872-1 [27]

Con respecto a la obtención de los agregados fino y grueso que se utilizaron en el desarrollo experimental del presente trabajo, se realizó una solicitud al Departamento de Obras Públicas del GAD Municipal Tena para la extracción del material de lastre, ripio y arena de la Mina Anzu ubicada en la Parroquia Puerto Napo del Cantón Tena, Provincia de Napo. En cuanto al transporte de los materiales se realizaron 4 viajes llenando sacos de 50 kg en un vehículo propio y trasladándolos a los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para la preparación de los ensayos pertinentes.

- **Agua de amasado**

El agua para mezcla forma parte de la pasta de cemento hidratado, que conjuntamente con los áridos componen al hormigón. En presencia de agua los compuestos del cemento forman coloides hidratados de baja solubilidad, la primera reacción con los aluminatos proporciona el fraguado, el desarrollo de la resistencia (endurecimiento de la pasta de cemento) se produce por la hidratación de los silicatos y le confiere al concreto su característica de trabajabilidad requerida para el arranque de la obra civil [26] [31] [32].

El agua cumple tres funciones principales en la mezcla de concreto:

1. Aporta con la trabajabilidad del hormigón.
2. Contribuye a la hidratación del cemento.
3. Favorece la carbonatación de la cal [33].

El agua de amasado debe cumplir los requisitos establecidos en la Norma INEN 1108 para agua potable, en el caso de no disponer de este tipo de agua, esta debe ser clara libre de sustancias perjudiciales o materiales orgánicos o que se ajuste a los criterios que se mencionan en la Tabla 13 para aguas de procedencia dudosa.

Tabla 13. Criterios de aceptación de agua dudosa.

Ensayos	Límites	Método de ensayo
Resistencia a la compresión, % mínimo de control a 7 días ^{a,b}	90	NTE INEN 1573 NTE INEN 1576
Tiempo de fraguado, desviación del testigo h:min ^a	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	ASTM C403
^a Las comparaciones se basan en proporciones fijas para el diseño de mezcla de hormigón representativo del suministro de agua dudosa y de la mezcla de control utilizando el 100 % de agua potable o agua destilada (Ver Anexo C). ^b Los resultados de resistencia a la compresión se basan en al menos dos ensayos normalizados de especímenes elaborados en una mezcla compuesta.		

Fuente: NTE INEN 1855-1 [34].

En promedio, el cemento requiere del 25% de agua para hidratarse. El exceso de agua en la mezcla de concreto crea poros al evaporarse y disminuye su resistencia, por cada litro de agua de amasado agregado a la mezcla se reduce aproximadamente en 2 kg la cantidad de cemento. Adicionalmente, cuanto menor sea la cantidad de agua más rápido se efectuará el fraguado. Un factor importante para evaluar su resistencia es la relación que presenta entre el agua y el cemento como lo expresa la ecuación definida por Abrams Duff en 1918 [26] [35].

$$\text{Relación agua – cemento} = W / C$$

Donde W es la cantidad de agua para mezcla en kg y C es la cantidad de cemento en kg [26].

Tabla 14. Resistencia del hormigón según la relación agua/cemento

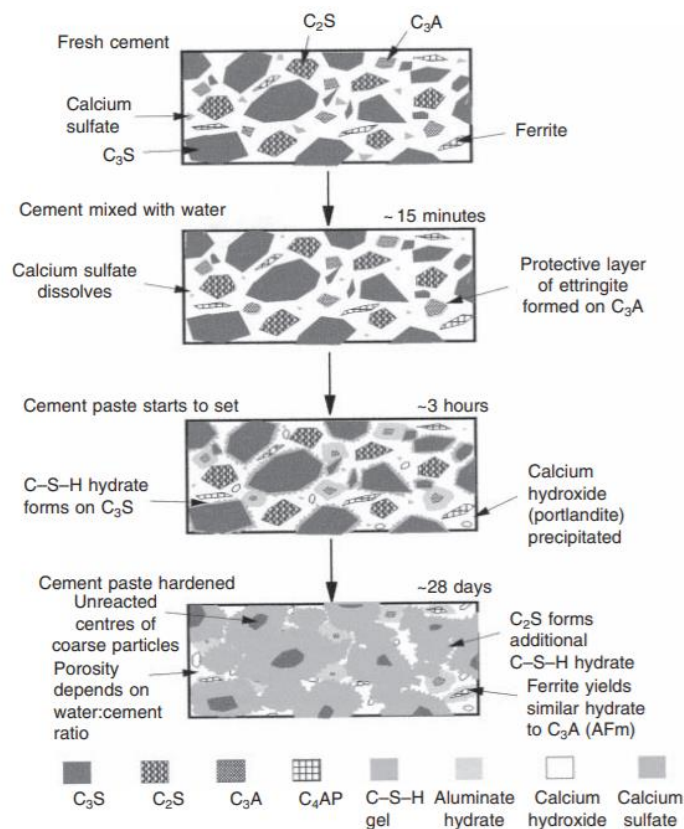
Resistencia a la compresión a los 28 días en Mpa (f'c)	W/C
21	0.58
18	0.60
40	0.42
35	0.46
32	0.50

30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

Fuente: Garzón M. [49]

En la figura 2 se muestra el proceso de desarrollo de la estructura del hidrato en la pasta de cemento.

Gráfico 2. Ilustración simplificada de la hidratación de la pasta de cemento

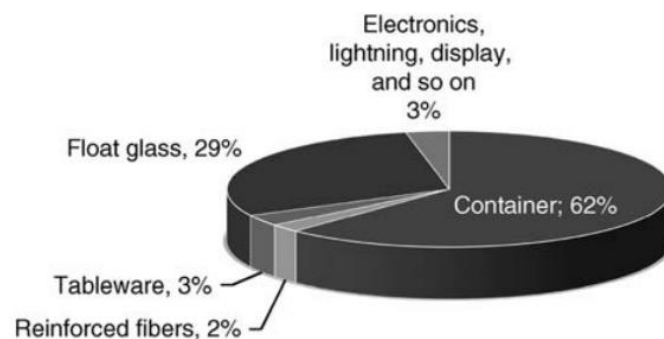


Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

2.2.2.1 Vidrio

El vidrio es una sustancia orgánica fundida que se ha enfriado hasta un estado rígido formando un sólido duro, amorfo, transparente y frágil [45]. Es utilizado para una amplia gama de aplicaciones siendo las más comunes y de mayores producciones industriales el acristalamiento, envases y fibras de vidrio, otras aplicaciones se observan en la Figura 9, cuyos datos se han obtenido de la Unión Europea [46].

Gráfico 3. Principales aplicaciones del vidrio.



Fuente: E. Le Bourhis, [46].

Los envases de vidrio son utilizados desde hace algunas décadas por su capacidad para ser reutilizados, una de sus ventajas es su reciclaje y su naturaleza no contaminante en disposiciones finales, sin embargo, sus desechos tanto domiciliarios como industriales han ocasionado impacto al medio ambiente, por lo que ha sido ampliamente estudiado en el ámbito de la construcción para su aprovechamiento como aditivo en la elaboración de hormigón y por su opción económica y ecológica [46] [47].

El vidrio reciclado, como residuo tiene elevado grado de recuperación, generando una influencia significativa en las propiedades del hormigón (resistencia a la

compresión, resistencia mecánica) a través de la utilización de vidrio molido como aditivo en la mezcla de concreto. Los aditivos en polvo, como materiales insolubles, son mezclados con una porción de cemento antes de introducirlos a la mezcladora para brindar una distribución completa en todo el hormigón [47] [48].

A continuación se compró el vidrio reciclado, especialmente de botellas de vidrio transparente para posteriormente pulverizarlo y obtener el vidrio granular. Para ello se realizaron el siguiente ensayo descrito en el numeral 1 de la Tabla 1. Se tomó este ensayo para conocer la granulometría del vidrio anteriormente molido ya que las partículas que necesitamos se encuentran dentro de las especificaciones del ensayo en cuestión.

La palabra granular hace referencia a que tiene gránulos o granos. Un grano de arena tiene entre 2 mm hasta 1/16 mm de diámetro [52]. Por lo tanto para que el vidrio molido sea considerado granular tiene que estar entre estos parámetros.

2.2.3 Método de la densidad óptima

Este método tiene su creación y desarrollo en la Universidad Central del Ecuador en los laboratorios de Ensayo de Materiales y renovada con la investigación adquirida del Seminario del Ing. Marco garzón [49], sobre “El módulo de elasticidad del hormigón.”.

El objetivo principal es producir una piedra artificial rellenando los espacios huecos que sincrónicamente dejan los áridos y llenar esos vacíos con pasta de cemento y agua, para lograr esto se tiene que tener en cuenta las consideraciones siguientes:

- Un volumen aparente de árido grueso que contiene un cierto porcentaje de vacíos entre partículas, que debe ser llenado por agregado fino. [26]

- Una mezcla de agregado fino y grueso correspondiente a su densidad óptima deja un porcentaje de vacíos que deben ser llenados por la pasta de cemento y agua. Pero esta pasta no solo debe ocupar los vacíos que deja la mezcla de los áridos, sino que debe recubrir toda y cada una de las partículas, constituyendo el enlace o nexo de unión entre partículas. [26]

Tabla 15. Nomenclatura

NOMENCLATURA:			
DRC	Densidad Real del Cemento	CP (%)	Cantidad de Pasta en %
DRA	Densidad Real de la Arena	DRM	Densidad Real de la Mezcla
DRR	Densidad Real del Ripio	POV	Porcentaje Óptimo de Vacios
DSA	Densidad Suelta de la 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
W/C	Relación Agua Cemento		

Fuente: Garzón M. [49]

Primeramente se debe realizar el cálculo para 1 m^3 de hormigón con las siguientes ecuaciones:

- **Cálculo de la Densidad Real de la Mezcla (DRM)**

$$DRM = DRA * POA + DRR * POR$$

- **Porcentaje Optimo de Vacíos (POV)**

$$POV = \frac{DRAg - DOARg}{DRAg} * 100$$

- **Cantidad de Pasta (CP) y cantidad de Cemento**

La cantidad de pasta se determina por el valor del asentamiento que requiera el hormigón.

Tabla 16. Cantidad de pasta de cemento con relación al asentamiento.

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta CP
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. [49]

$$CP\% = POV + 2\% + 8\%(POV)$$

$$CP = \frac{PC\%}{100} * 1000dm^3$$

- **Relación Agua/Cemento (W/C)**

A continuación se toma la Tabla 13 con la relación agua/cemento para la resistencia 210 kg/cm².

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

- **Cantidad de Agua (W)**

$$W = \frac{W}{C} * C$$

- **Cantidad de Arena (A)**

$$A = (VH^{\circ} - CP) * DRA * POA$$

- **Cantidad de Ripio (R)**

$$R = (VH^{\circ} - CP) * DRR * POR$$

- **Dosificación al peso**

Para la obtención de los respectivos pesos de la dosificación es necesario proporcionar los factores de cada uno de los materiales y así calcular los valores correspondientes.

$$\text{Dosificación al Peso} = \frac{\text{Cantidad de material}}{\text{Cantidad de cemento}}$$

2.2.4 Propiedades del hormigón fresco

La resultante de la mezcla y posterior amasado de cemento, árido fino, árido grueso, agua y en algunos casos algún tipo de aditivo, se la denomina hormigón en esta fresco, además tiene propiedades de su estado antes del fraguado como son: [50]

- Trabajabilidad o docilidad

Es la facilidad que tiene un hormigón para ser manipulado, amasado y puesto en obra, con los medios de compactación que se dispongan, se identifica con las siglas MB (muy buena), B (buena), R (regular) y M (mala). [26] [50]

1. Factores que influyen en la tabajabilidad:
2. Cantidad de agua para la mezcla.

3. Contenido de agregado fino.
4. Forma y tamaño de los áridos.
5. Cantidad y finura del cemento.
6. Presencia de cenizas.
7. Presencia de aditivos plastificantes. [26]

- Consistencia

Es la propiedad del hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. Varía según varios factores: [26]

1. Cantidad de agua para la mezcla (mayor influencia)
2. Tamaño máximo, forma y granulometría de los agregados [26]

Medición de la consistencia del hormigón el Cono de Abrams.

Colocar el cono sobre una bandeja o placa rígida.

Llenar el cono en tres capas de igual volumen, compactado cada una de ellas con una varilla metálica lisa de 16 mm de punta redonda, dando 25 golpes a cada capa distribuyendo las uniformemente en toda la sección transversal

Enrasar la superficie retirando el exceso de hormigón

Sacar el molde con cuidado y en dirección vertical. Esta operación debe realizarse entre 5 ± 2 segundos sin mover el hormigón en ningún momento.

El revenimiento o asentamiento se determina midiendo la diferencia de altura del molde y la del punto medio de la parte superior de la muestra después del ensayo.

El tiempo total para realizar el ensayo no debe durar más de 2 minutos y medio. [26]

Tabla 17. Clasificación de las consistencias según su asentamiento medio 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. Hormigón [26]

- Homogeneidad

Hace relación a que todos los componentes de la mezcla estén perfectamente amasados y en la proporción del hormigón requerido, se identifica con las siglas MB (muy buena), B (buena), R (regular) y M (mala). [50]

2.2.5 Propiedades del hormigón endurecido

Para llevar a cabo el ensayo se necesita dos propiedades del hormigón endurecido:

- Densidad

Por lo general se encuentra entre los valores de 2.35 y 2.55 kg/***dm***³ y se define como el peso por unidad de volumen.

- Resistencia a la compresión

Es la capacidad del hormigón para resistir una carga sobre un área determinada. Las unidades por lo general en kg/cm², MPa o PSI que son términos de esfuerzo.

Probetas cilíndricas de hormigón.

Se utilizan moldes no absorbentes ni deformables de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura. Antes de llenar los moldes las muestras deberán ser completamente remezcladas en una bandeja grande, carretilla u otra superficie limpia y no absorbente.

Llenar los moldes en tres capas de igual volumen dando 25 golpes en cada capa repartiéndolos uniformemente en toda la sección transversal con el cuidado de no golpear el fondo del molde durante la compactación de la primera capa y de no penetrar la varilla más de 25 mm en la capa interior al compactar la segunda y tercera capa.

Finalizada la compactación de cada capa se debe golpear ligeramente el molde de 10 a 15 veces en la parte lateral con un martillo de goma de 0.6 kg para eliminar los huecos dejados por el varillado y las burbujas de aire.

Enrasar y alisar la superficie con una paleta metálica. Dejar las probetas en los moldes 24 horas la temperatura entre 16 y 27 °C.

2.2.6 Curado del hormigón

El curado es una operación en donde se mantienen las condiciones de humedad en un rango de temperatura adecuado en el proceso de hidratación del hormigón [18]. Es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el paso del tiempo mediante control de humedad (cantidad de agua idónea) y temperatura (calor). Para obtener la adecuada hidratación y posterior fraguado es importante que la temperatura de mezcla supere los 5°C. Las reacciones de hidratación entre cemento y agua proporcionan el mecanismo para el endurecimiento del hormigón, su grado de hidratación dicta el desarrollo de la fuerza y aspectos de durabilidad. El curado reduce la permeabilidad y mejora la resistencia de la capa superficial de concreto ante gases o elementos innecesarios evitando la corrosión e incrementando la resistencia a la abrasión [23] [34].

Las etapas por las cuales atraviesa el concreto se diferencian en tres acciones del curado:

1. **Curado inicial:** Su propósito es evitar la disminución de humedad de la superficie. Su aplicabilidad está en mezclas de poca exudación, o en condiciones en donde se promueva la evaporación de agua sobre la superficie del concreto. Comienza antes de que el concreto presente fraguado inicial, al instante después del moldeo y terminado.
2. **Curado intermedio:** Se da el afinado del concreto cuando aún no se ha evidenciado el fraguado final, en este proceso el concreto no está en condiciones de recibir la aplicación directa de agua.
3. **Curado final:** Una vez finalizado el afinado (fraguado final e inicio del desarrollo de resistencia), concluido el curado intermedio y dentro de 30 minutos después de quitar las probetas de los moldes, se llevan a cabo las medidas de curado, siendo la aplicación de riego de agua, inundación, compuestos curadores, cubiertas húmedas, tanques de almacenamiento o cámaras de curado, a temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ manteniendo en todo momento el agua sobre la superficie [34] [36].

El tiempo mínimo de curado de un hormigón de resistencia normal es de 7 días, debiendo curarse hasta que alcance un 70% de la resistencia a compresión especificada, mientras que un concreto de alta resistencia debe curarse en un tiempo mínimo de 3 días. Sin embargo, en condiciones de obra la estructura curada alcanzará la resistencia especificada a los 28 días. Es por ello que, desde el punto de vista práctico, la duración del curado se determina en función al desarrollo de las propiedades en la parte superficial, de manera que se presentan cuatro clases de curado sobre el porcentaje de resistencia a la compresión a los 28 días (ver Tabla 13) [34] [37] [38].

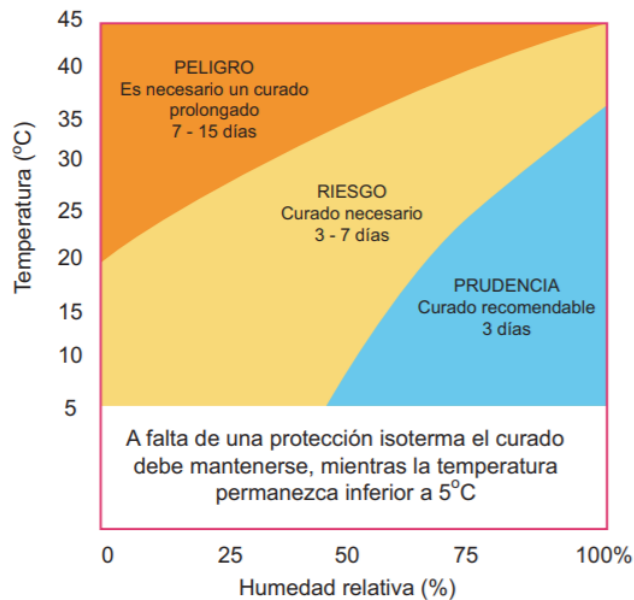
Tabla 18. Período mínimo de curado para un hormigón de resistencia superficial del 50% de resistencia característica especificada.

Temperatura superficial del concreto (°C)	Desarrollo de la resistencia del concreto ($r = f_{cm2} / f_{cm28}$)		
	Rápido $r \geq 0.50$	Medio $0.30 > r \geq 0.50$	Lento $0.15 > r \geq 0.30$
$t \geq 25$	1.5	2.5	3.5
$25 > t \geq 15$	2	4	7
$15 > t \geq 10$	2.5	7	12
$10 > t \geq 5$	3.5	9	18

Fuente: L. Bertolini, et al., [37].

En la figura 2 se presentan los tiempos mínimos de curado con respecto a la temperatura y humedad relativa del medio ambiente.

Gráfico 4. Tiempos de curado



Fuente: Sika, [34].

La Tabla 19 muestra los tiempos de curado mínimo de concretos respecto a tipos de cemento y a diferentes relaciones de agua – cementante.

Tabla 19. Tiempos mínimos de curado para diferentes tipos de ligante y para varias relaciones agua/cementante.

Tipo de cemento	Relación agua / cementante			
	0.35	0.55	0.65	0.70
I y II	2	3	7	10
Puzolánico con escoria	2	3	7	10
Puzolánico con ceniza volante	2	2	7	10
III	2	3	5	5
ARI	2	3	5	5

Fuente: Sika, [34].

2.2.7 Resistencia a la compresión del hormigón

El principal factor relacionado con la resistencia es la porosidad (o falta de ella), la relación agua / cemento, y el grado de reacción. La calidad del hormigón se ve reflejada por los ensayos de resistencia a la compresión de cilindros o probetas de concreto vaciadas en el lugar, el propósito es identificar el cumplimiento de las especificaciones de resistencia de acuerdo a la norma establecida, esta propiedad es la base para la aceptación del hormigón. Para efectuar el ensayo de resistencia se debe contar con al menos dos muestras, cuyo promedio de resistencias será considerado, descartando la evidencia de baja resistencia de algún espécimen frente a los demás, y solo se toman en cuenta los restantes como resultados del ensayo [23] [39] [40].

En la Tabla 20 se encuentran los requisitos de diámetro máximo de la cara de contacto del bloque esférico de carga suspendido de acuerdo con los especímenes de ensayo.

Tabla 20. Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico.

Diámetro de los especímenes de ensayo (mm)	Diámetro máximo de la cara de contacto (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Fuente: NTE INEN 1 573, [41].

- **Ensayo resistencia a compresión del hormigón.**

Medir el diámetro, altura y tomar el peso de los cilindros para realizar el ensayo de compresión. Colocar el cilindro en la máquina de compresión y ajustarlo. Ubicar los datos en el software de la máquina de compresión. Encerar la máquina y comenzar con el ensayo.

La cara superior del cilindro que queda expuesta deberá ser totalmente plana y lisa de lo contrario se pueden presentar concentraciones de esfuerzos que disminuyen la resistencia del cilindro.

La carga se debe aplicar a una velocidad de $0,25 \pm 0,05$ Mpa/s, debiendo mantenerse al menos durante la última mitad de la fase de carga esperada según lo especificado en el numeral 4.4.5.1 de la Norma NTE INEN 1573. La carga deberá ser aplicada hasta que el indicador de la carga muestre que está decreciendo constantemente y el espécimen muestre un patrón de flujo de fractura bien definido según lo especificado en el numeral 4.4.6 de la Norma NTE INEN 1573. [26]

La resistencia promedio que se requiere para cumplir los requisitos de la Norma establecida serán mayores a la resistencia especificada, cuyos valores dependerán

de la desviación estándar de los resultados obtenidos de los ensayos realizados, estos valores están detallados en la Tabla 21 y 22 [40].

Tabla 21. Resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}) (valores de resistencia en MPa) Cuando la desviación estándar es conocida.

Número de ensayos	Desviación estándar				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
15	3,1	4,7	7,3	10	12,9
20	2,9	4,3	6,6	9,1	11,8
30 o más	2,7	4,0	5,8	8,2	10,5

Fuente: NTE INEN 1 855-2, [40].

Tabla 22. Resistencia promedio requerida a compresión (f'_{cr}) (valores de resistencia en MPa) Cuando la desviación estándar es desconocida.

Resistencia especificada (f'_c)	Resistencia promedio requerida (f'_{cr})
Menor de 21 MPa	$f'_c + 7,0$
Entre 21 y 35 MPa	$f'_c + 8,5$
Mayor de 35 MPa	$f'_c + 10$

Fuente: NTE INEN 1 855-2, [40].

Todas las probetas cilíndricas de hormigón se ensayan tan pronto como se extraigan del proceso de curado y se lo realiza en períodos de tiempo desde la obtención del almacenamiento húmedo hasta el ensayo, así como lo exhibe la Tabla 23 [41].

Tabla 23. Tolerancia del tiempo admisible para ensayo de especímenes.

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm 0,5$ h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%

90 días	2 días o 2,2%
---------	---------------

Fuente: NTE INEN 1573, [41].

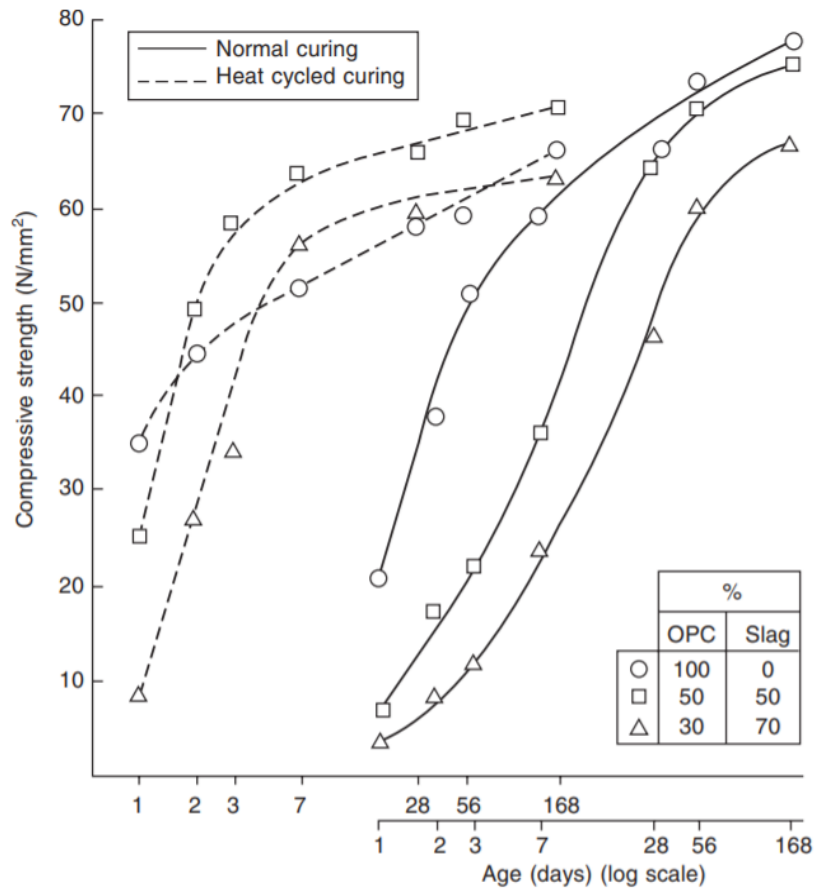
La Tabla 24 muestra la precisión dentro del ensayo de cilindros de 150mm por 300mm y cilindros de 100mm por 200mm, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones de campo [41].

Tabla 24. Precisión dentro del ensayo.

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150mm por 300mm			
Condiciones de laboratorio	2,4%	6,6%	7,8%
Condiciones de campo	3,9%	8,0%	9,5%
Cilindros de 100mm por 200mm			
Condiciones de laboratorio	3,2%	9,0%	10,6%

Fuente: NTE INEN 1573, [41].

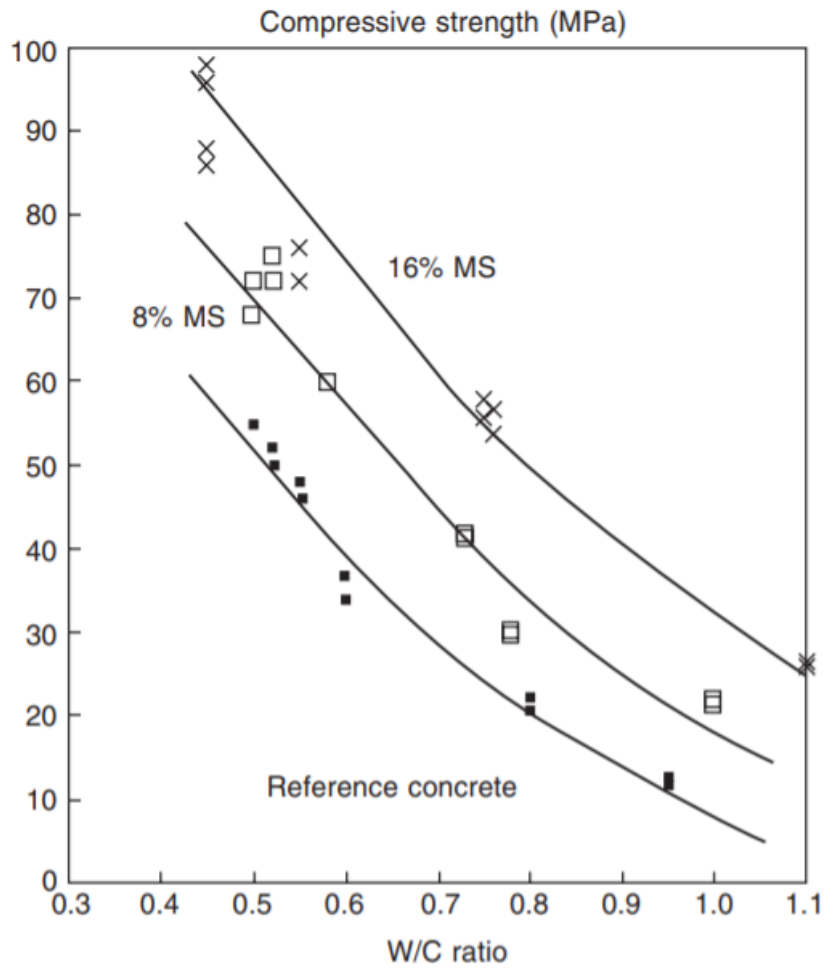
Gráfico 5. Comparación del desarrollo de resistencia de hormigón con y sin desecho, curado normal y curado ciclado por calor.



Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

Una de las causas esenciales del desarrollo de la resistencia del hormigón es la relación agua – cemento (w/c), en la Figura 5 se describe la correlación entre la resistencia a la compresión y la relación w/c.

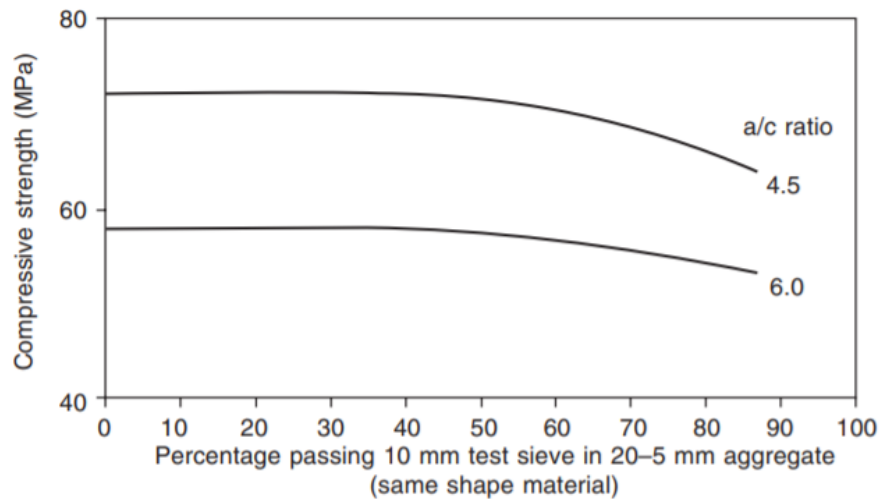
Gráfico 6. Relación w/c y resistencia a la compresión.



Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

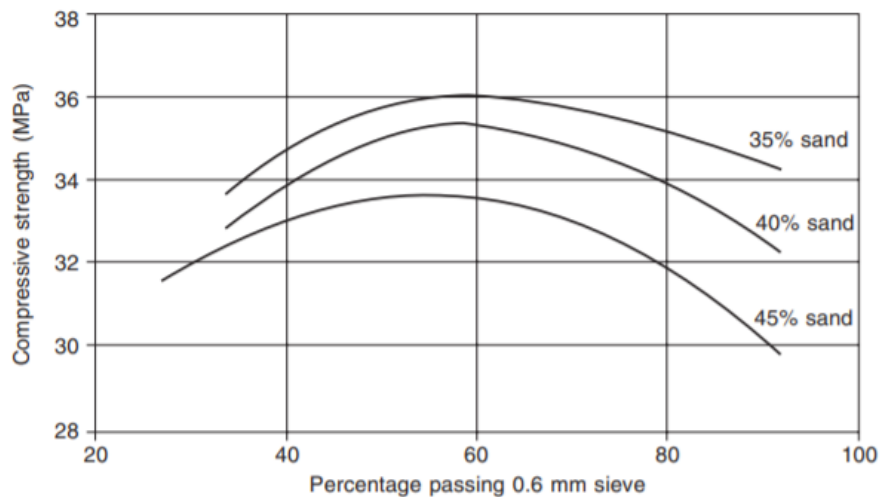
El impacto de los agregados naturales en las propiedades del hormigón, se ve reflejado en las Figuras 6 y 7, muestran el efecto de los cambios en la granulometría de un agregado grueso y fino, respectivamente, sobre la resistencia a la compresión con trabajabilidad constante [23].

Gráfico 7. Efecto de la clasificación del agregado grueso en la resistencia a la compresión.



Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

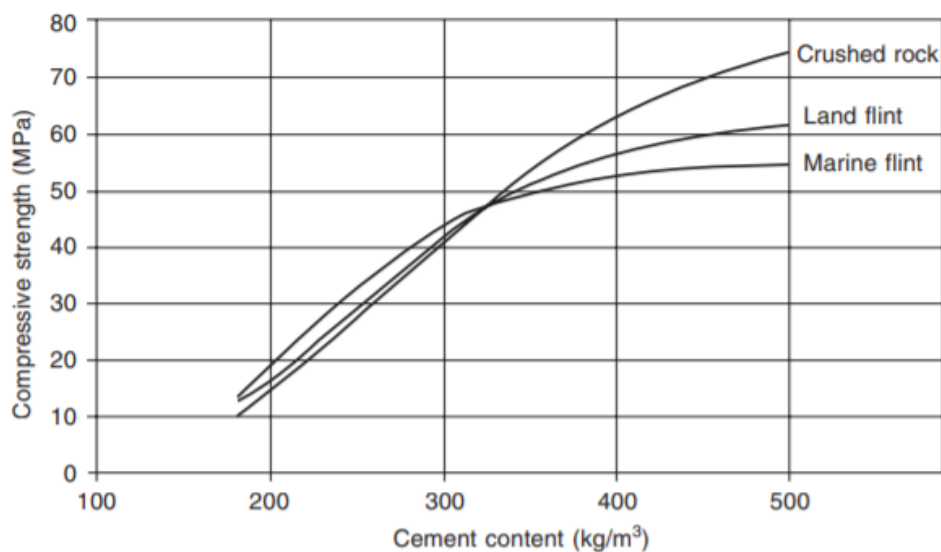
Gráfico 8. Efecto de la clasificación de la arena en la resistencia a la compresión.



Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

La gráfica 9 muestra la relación entre la cantidad de cemento y la resistencia a la compresión entre una roca triturada, piedra de terreno y piedra de mar, a mayores contenidos de cemento el hormigón evidencia una mayor resistencia a la compresión debido a la mejora de la adherencia [23].

Gráfico 9. Relación entre contenido de cemento y resistencia a la compresión.



Fuente: J. Newman y S. Ban, [23].

2.2.8 Aditivos en la construcción

Los componentes característicos tradicionales del hormigón son el cemento, agua y áridos. Sin embargo, en la actualidad se considera un cuarto elemento, el aditivo, material indispensable en la construcción, cuya proporción no mayor al 5% del cemento brinda la modificación deseada al concreto y cambio positivo en sus propiedades. En la segunda mitad de la década de los 50, en España se empezaron a comercializar los primeros aditivos. Los aditivos utilizados en la mezcla de hormigón fueron el cloruro de calcio, un subproducto resultante de la fabricación de sosa, y lejías sulfúricas de la producción de la pasta de papel, considerados como productos químicos, a falta de otras referencias. En 1968 el Ministerio de Obras Públicas instauró un Comité de Hormigón destinado a estudiar las técnicas referentes a composición de hormigón y durabilidad, en donde se pasaron a utilizar productos refinados como aditivos, con lo cual en la década de los 70 y 80, se abordó como un producto utilizado en la fabricación del concreto y posterior

comercialización, llevando consigo el establecimiento de normas sujetas a revisiones permanentes en los posteriores años [42].

Los aditivos en el concreto han sido catalogados por su efecto en las propiedades del hormigón, por su efecto retardador (superplastificantes), efecto acelerador (dispersiones acuosas de sílice, aceleradores de cemento sin cloruro), aditivos dispersantes y diluyentes (ácido xilónico, celulosa microfibrilar), antiespumantes (acrilatos de alcoholes grasos etoxilados), aditivos utilizados en la compensación de la contracción, permeabilidad (materiales puzolánicos, catalizadores de agrietamiento), agentes inclusores de aire (surfactantes fluoroquímicos, polímeros súper absorbentes), aditivos para la protección de la corrosión (hidrocalcitas modificadas), fibras (poli oxilmetileno), y aditivos de desechos (caucho, vidrio), este último enfocado en la reutilización de materiales desechados tanto a nivel domiciliario como industrial [43].

El uso de aditivos reciclados en la construcción, específicamente en la elaboración de concreto es una opción para la sustitución de aditivos tóxicos comerciales debido a su elevado costo en el mercado local y a su impacto negativo al medio ambiente. El vidrio es uno de los materiales reciclados más importantes utilizados en el hormigón [44].

2.2.9 Precios

El cemento es uno de los materiales más utilizados al momento de construir una edificación u obra civil gracias a su versatilidad, trabajabilidad y su capacidad de adaptarse a cualquier encofrado y tomar la forma diseñada.

Se toma en cuenta el precio de este material ya que este puede variar a lo largo de los años por varias circunstancias, por citar alguno puede ser: escases de materia prima e insumos. En los últimos tiempos el alza en el precio de los combustibles en el Ecuador afecto mucho la industria de la construcción en especial las obras

realizadas con secciones metálicas, por lo que en la actualidad es mucho más rentable construir con el material tradicional como es el hormigón.

El precio del saco de cemento esta rondado por \$6.92 dólares americanos, a este precio se tiene que agregar el IVA (Impuesto al Valor Agregado) que es de 12% dando un valor final de \$7.75 dólares americanos. Pero tenemos que tener en cuenta que este no es valor final ya que se tiene que agregar el costo del transporte según el destino, esto nos da aproximadamente un valor de \$8 dólares por saco de cemento.

Sin embargo, el precio del vidrio, que se compró en una recicladora en la ciudad de Ambato, fue de \$4 dólares americanos por 50 kilogramos de material reciclado. Además el saco de arena se encuentra por saco de 50 kg el precio de \$1.50 dólares y el saco de 50 kg de ripio a \$1.64 dólares.

2.3 Cantidad de especímenes

La cantidad de probetas cilíndricas a ensayar de la mezcla hormigón-vidrio granular es de 45 especímenes y de los ensayos de control es de 9 especímenes, con un total de 56 especímenes.

Tabla 25. Especímenes

Dosificación (kg/cm ²)	Tiempo (días)	Porcentaje de vidrio granular (%)					Control
		1	2	3	4	5	
210	4	3	3	3	3	3	3
	14	3	3	3	3	3	3
	28	3	3	3	3	3	3

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro

2.4 Recolección de datos

2.4.1 Ensayos de los materiales

En cuanto a los ensayos para los agregados se emplearon los descritos en los numerales 1, 2, 3, 4, 5 de la Tabla 1, y conocer las propiedades de los materiales para aplicarlos en el método de la Densidad Óptima en la preparación de hormigón.

Asimismo, con los datos conseguidos de los ensayos se dosificará un tipo de hormigón con una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², de igual manera se debe corregir la humedad con el ensayo del numerales 6 de la Tabla 1, así pues alcanzar la dosificación final.

2.4.2 Preparación y curado de probetas cilíndricas de hormigón y vidrio granular

Para la preparación y posterior curado de los cilindros de hormigón y vidrio granular se realizaron los siguientes ensayos descritos en lo numerales 8 de la Tabla 1, asimismo se efectuaron los ensayos para determinación de las siguientes propiedades descritos en los numerales 9, y 10 de la Tabla 1.

Posteriormente se identificará cada uno de los cilindros de hormigón con vidrio granular con sus respectivos porcentajes de vidrio, fecha y dosificado.

2.4.3 Propiedades del hormigón endurecido.

La resistencia a compresión se determinó bajo los ensayos bajo la NTE INEN 1573 y ASTM C 39 para la densidad en estado endurecido, los mismo que efectuarán a los 7, 14 y 28 días de curado.

2.5 Análisis y resultados

Con respecto a la obtención de datos se determinó el porcentaje óptimo de vidrio granular en la mezcla de hormigón con relación a su peso a los 7, 14 y 28 días de fraguado con una resistencia a la compresión de $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, con sus respectivas muestras sin el aditivo de vidrio granular para su posterior comparación.



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

3.1.1 Resultados de los ensayos para la dosificación de 210 kg/cm²



Tabla 26. Resumen de ensayos para dosificación $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”		
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO		MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL
FECHA: 7/03/2022	ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER	
DOSIFICACIÓN $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$		
DATOS DE ENSAYOS		
f_c	210	Kg/cm²
Asentamiento	6 - 9	cm
DRC	2.680	gr/cm ³
DRA	2.500	gr/cm ³
DRR	2.500	gr/cm ³
DSA	1.650	gr/cm ³
DSR	1.520	gr/cm ³
POA	36	%
POR	64	%
DOM	1.910	gr/cm ³
DATOS DE TABLAS		
W/C	0.58	
CP (%)	POV + 2% + 8%(POV)	
CÁLCULOS		
DRM	2.500	kg/dm ³
POV	23.60	%
CP	274.88	dm ³
C	288.44	Kg
W	167.30	lts
A	652.61	kg
R	1160.19	kg

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.



Nota: En la Tabla 26 se realizó un resumen de todos los valores obtenidos de los ensayos realizados necesarios para los cálculos de dosificación.

Tabla 27. Dosificación al peso $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”		
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO		MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL
FECHA: 7/03/2022	ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER	
DOSIFICACIÓN $f'c=210\text{ kg/cm}^2$		
DOSIFICACIÓN AL PESO		
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m^3 DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO
W	167.30	0.58
C	288.44	1.00
A	652.61	2.26
R	1160.19	4.02
TOTAL	2268.54	kg/m^3 Densidad del Horm.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 28. Dosificación al volumen $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”						
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO		MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL				
FECHA: 7/03/2022	ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER					
DOSIFICACIÓN $f'c=210\text{ kg/cm}^2$						
DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN						
MATERIAL	CANTIDAD EN Kg POR CADA m^3 DE HORMIGÓN	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO	VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm^3 POR CADA SACO DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA	DOSIFICACIÓN PARA 3 CILINDROS
W	167.30	0.58	29.00	-	29 Lt	2.66
C	288.44	1.00	50.00	-	1 sacos	4.59
A	652.61	2.26	113.14	68.57	2.5 p	10.38
R	1160.19	4.02	201.15	132.33	4.9 p	18.45
VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN			393.29	dm^3 c/saco		33.42

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 29. Dosificación para tres cilindros de hormigón de 210 kg/cm² más el vidrio molido considerando el peso total del material seco en diferentes porcentajes.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO							
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER					
DOSIFICACIÓN HORMIGÓN-VIDRIO GRANULAR, PARA 3 CILINDROS							
MATERIAL		PORCENTAJE DE VIDRIO GRANULAR					
DENOMINACIÓN	UNIDAD	0%	1%	2%	3%	4%	5%
CEMENTO	kg	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
AGUA	Lt	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
RIPIO	kg	18.45	18.45	18.45	18.45	18.45	18.45
ARENA	kg	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38
TOTAL	kg	33.42	33.42	33.42	33.42	33.42	33.42
VIDRIO	kg	0	0.33	0.67	1.00	1.34	1.67

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En la Tabla 29, están los valores de dosificación, considerando la suma del peso de los áridos y cemento para el porcentaje de vidrio granular correspondiente para cada dosificación, por lo cual se necesitaron 5 kg de vidrio granular para la realización de 15 probetas de hormigón.



3.1.2 Ensayos realizados al hormigón en estado fresco.

Tabla 30. Densidad del hormigón 7 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: ASTM C 138, ASTM C143		
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO, 7 DÍAS DE EDAD							
Número de Cilindro	% vidrio	Peso cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Densidad promedio (kg/m3)
1	0	12.62	14.91	30.68	0.0054	2357.57	2339.29
2		12.70	15.10	30.15	0.0054	2353.07	
3		12.61	15.02	30.87	0.0055	2307.24	
1	1	12.44	15.04	30.32	0.0054	2311.17	2302.18
2		12.47	15.03	30.79	0.0055	2283.65	
3		12.49	15.11	30.13	0.0054	2311.74	
1	2	12.41	15.16	30.06	0.0054	2286.06	2291.68
2		12.47	15.06	30.48	0.0054	2296.37	
3		12.47	15.10	30.37	0.0054	2292.60	
1	3	12.45	15.02	30.65	0.0054	2291.87	2314.22
2		12.42	14.93	30.35	0.0053	2337.01	
3		12.41	15.11	29.90	0.0054	2313.77	
1	4	12.43	14.99	30.07	0.0053	2343.11	2345.39
2		12.41	14.93	30.46	0.0053	2325.95	
3		12.35	14.92	29.85	0.0052	2367.10	
1	5	12.38	15.01	30.29	0.0054	2309.64	2310.10
2		12.40	14.97	30.10	0.0053	2340.88	
3		12.30	15.08	30.20	0.0054	2279.77	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 31. Densidad del hormigón 14 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: ASTM C 138, ASTM C143		
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO, 14 DÍAS DE EDAD							
Número de Cilindro	% vidrio	Peso cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m3)	Densidad (kg/m3)	Densidad promedio (kg/m3)
1	0	12.59	15.23	30.47	0.0056	2267.96	2328.97
2		12.65	15.16	30.22	0.0055	2318.18	
3		12.61	14.91	30.09	0.0053	2400.78	
1	1	12.47	15.24	29.93	0.0055	2285.57	2289.00
2		12.55	15.26	29.97	0.0055	2290.82	
3		12.58	15.25	30.09	0.0055	2290.60	
1	2	12.51	15.10	30.29	0.0054	2307.53	2273.42
2		12.46	15.27	30.34	0.0056	2243.77	
3		12.50	15.29	30.03	0.0055	2268.96	
1	3	12.45	14.97	29.88	0.0053	2367.33	2312.83
2		12.50	15.01	30.39	0.0054	2324.76	
3		12.40	15.25	30.22	0.0055	2246.41	
1	4	12.47	14.99	29.88	0.0053	2365.33	2304.69
2		12.44	15.21	30.42	0.0055	2251.86	
3		12.42	15.12	30.12	0.0054	2296.89	
1	5	12.37	15.04	30.33	0.0054	2296.12	2293.92
2		12.45	14.98	29.95	0.0053	2358.39	
3		12.40	15.30	30.30	0.0056	2227.25	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.



Tabla 32. Densidad del hormigón 28 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CÉVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: ASTM C 138, ASTM C143		
FECHA: 7/03/2022				ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER			
DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO, 28 DÍAS DE EDAD							
Número de Cilindro	% vidrio	Peso cilindro (kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
1	0	12.47	15.14	30.21	0.0054	2301.35	2337.80
2		12.67	14.95	29.85	0.0052	2401.71	
3		12.67	15.23	30.00	0.0055	2310.35	
1	1	12.52	15.20	30.21	0.0055	2275.13	2318.41
2		12.59	15.22	30.25	0.0055	2302.05	
3		12.63	14.96	30.28	0.0053	2378.05	
1	2	12.58	14.92	30.04	0.0052	2396.76	2302.07
2		12.40	15.25	30.28	0.0055	2243.33	
3		12.46	15.24	30.13	0.0055	2266.14	
1	3	12.44	15.22	30.20	0.0055	2262.99	2281.66
2		12.54	15.17	30.47	0.0055	2278.45	
3		12.30	15.04	30.06	0.0053	2303.53	
1	4	12.56	14.92	30.41	0.0053	2361.75	2335.46
2		12.40	15.23	30.02	0.0055	2268.82	
3		12.50	14.98	29.84	0.0053	2375.80	
1	5	12.32	15.30	30.38	0.0056	2207.44	2258.46
2		12.53	15.29	29.80	0.0055	2289.67	
3		12.33	15.04	30.48	0.0054	2278.25	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En las Tablas 30, 31 y 32, se obtuvieron las densidades en estado fresco del hormigón. Los 5 valores de hormigón + vidrio granular se encuentran dentro de los rangos de hormigón normal u ordinario que va desde 2000 kg/m³ a 2600 kg/m³, así mismo los valores del hormigón sin vidrio granular son 2339.29 kg/m³, 2328.97 kg/m³ y 2337.80 kg/m³, siendo estos últimos los valores más elevados.

Tabla 33. Propiedades del hormigón fresco.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”						
ORIGEN: Laboratorio FICM						
FECHA: 7/03/2022	ENSA YADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER					
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO F´C=210 kg/cm²						
PROPIEDADES	PORCENTAJE DE VIDRIO GRANULAR					
DENOMINACIÓN	0%	1%	2%	3%	4%	5%
TRABAJABILIDAD	B	B	B	B	B	MB
ASENTAMIENTO (cm)	6.9	7	7	7.3	7.7	8.4
HOMOGENEIDAD	MB	MB	MB	MB	MB	MB

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Nomenclatura:

B = Buena

MB = Muy Buena

Análisis de resultados: En la Tabla 33 se determinó que a medida que se añadía el vidrio granular a la mezcla, esta se tornaba cada vez más manejable por lo que al llegar al 5% de vidrio se obtuvo una muy buena trabajabilidad, las demás muestras tienen una calificación B (Buena), con respecto al asentamiento se midió desde los 6.9 cm hasta 8.4 cm, estas cifras están dentro del rango de diseño que es de 6 a 9 cm, asimismo la mezcla tiene una buena homogeneidad.

3.1.3 Ensayos realizados al hormigón en estado endurecido.

Tabla 34. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 7 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: INEN 1573		
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 7 Días de Edad; $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$							
Número de Cilindro	% vidrio	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	0	174.48	254.56	25957.89	148.77	144.62	RI=136.5
2		178.98	254.89	25991.06	145.21		PR=147
3		177.07	242.89	24768.30	139.88		RS=157.5
1	1	177.54	234.98	23961.29	134.96	138.11	RI=136.5
2		177.30	242.65	24743.82	139.56		PR=147
3		179.29	245.84	25068.70	139.82		RS=157.5
1	2	180.53	245.00	24983.04	138.39	139.86	RI=136.5
2		178.20	235.89	24054.08	134.98		PR=147
3		179.08	256.78	26184.27	146.22		RS=157.5
1	3	177.28	248.55	25345.04	142.97	144.84	RI=136.5
2		175.05	255.84	26088.41	149.04		PR=147
3		179.36	250.68	25562.24	142.52		RS=157.5
1	4	176.41	280.52	28605.07	162.15	158.85	RI=136.5
2		175.14	270.55	27588.42	157.52		PR=147
3		174.74	268.85	27415.06	156.89		RS=157.5
1	5	176.97	276.37	28181.80	159.24	164.18	RI=136.5
2		176.01	280.42	28594.88	162.46		PR=147
3		178.65	299.31	30521.04	170.84		RS=157.5

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En la Tabla 34 se aprecia que el valor más alto de la resistencia a compresión pertenece al dosificado con el 5% de vidrio granular en la mezcla de hormigón con un promedio de 164.18 kg/cm^2 , a los 7 días de su elaboración, en cuanto a las probetas de control alcanzan un valor promedio de 144.62 kg/cm^2 , a su vez se observa el incremento de la resistencia en los datos restantes del 1% al 4 %.

Se toma en consideración que todos los valores desde 0% hasta el 3% se encuentran dentro de los límites para un hormigón 210 kg/cm² a los 7 días de edad, exceptuando los valores de las mezclas de hormigón vidrio granular al 4% y 5% que da un valor mayor al límite superior.

Rango Inferior = 65% (136.5 kg/cm²)

Promedio = 70% (147 kg/cm²)

Rango Superior = 75% (157.5 kg/cm²)

Tabla 35. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 14 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: INEN 1573		
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 14 Días de Edad; f _c =210 kg/cm ²							
Número de Cilindro	% vidrio	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	0	182.22	321.32	32765.94	179.81	179.00	RI=168
2		180.55	301.83	30778.47	145.21		PR=178.5
3		174.58	319.69	32598.79	139.88		RS=189
1	1	182.39	269.35	27466.54	134.96	162.78	RI=168
2		182.80	299.35	30525.61	139.56		PR=178.5
3		182.56	305.68	31171.09	139.82		RS=189
1	2	178.96	285.66	29129.00	138.39	163.10	RI=168
2		183.06	289.26	29496.66	134.98		PR=178.5
3		183.49	297.66	30352.66	146.22		RS=189
1	3	176.06	306.20	31223.29	142.97	171.24	RI=168
2		176.93	282.55	28811.68	149.04		PR=178.5
3		182.68	310.89	31701.95	142.52		RS=189
1	4	176.43	314.18	32037.48	162.15	180.29	RI=168
2		181.58	316.22	32245.19	157.52		PR=178.5
3		179.53	319.91	32621.64	156.89		RS=189
1	5	177.66	355.51	36251.64	159.24	203.81	RI=168
2		176.29	352.75	35970.66	162.46		PR=178.5
3		183.76	366.41	37363.21	170.84		RS=189

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En la Tabla 35 se visualiza que el valor más alto de la resistencia a compresión pertenece al dosificado con el 5% de vidrio granular en la mezcla de hormigón con un promedio de 203.81 kg/cm^2 , a los 14 días de su elaboración alcanzando una resistencia semejante a un hormigón de 28 días de edad, en cuanto a las probetas de control alcanzan un valor promedio de 179.00 kg/cm^2 , a su vez se observa el incremento de la resistencia en los datos restantes del 1% es valor más bajo al 4%.

Se considera que todos los valores desde 0% hasta el 4% se encuentran dentro de los límites para un hormigón 210 kg/cm^2 a los 14 días de edad, exceptuando el valor de la mezcla de hormigón vidrio granular al 5% mismo que es mayor al límite superior.

Rango Inferior = 80% (168 kg/cm^2)

Promedio = 85% (178.5 kg/cm^2)

Rango Superior = 90% (189 kg/cm^2)

Tabla 36. Resistencia a la compresión de cilindros de hormigón con vidrio granular a los 28 días de edad.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
ORIGEN: LABORATORIO FICM					NORMA: INEN 1573		
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
Resistencia a la Compresión del Hormigón a los 28 Días de Edad; $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$							
Número de Cilindro	% vidrio	Área (cm)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Esf. Compresión (Kg/cm ²)	Rangos (kg/cm ²)
1	0	180.08	357.15	36419.63	202.25	201.50	RI=199.5
2		175.63	350.15	35705.80	203.30		PR=210
3		182.20	355.49	36249.37	198.95		RS=220.5
1	1	181.41	322.77	32912.95	181.43	186.13	RI=199.5
2		181.91	345.12	35192.90	193.46		PR=210
3		175.87	316.48	32271.79	183.50		RS=220.5
1	2	174.72	345.24	35204.47	201.49	192.84	RI=199.5
2		182.56	335.45	34206.59	187.37		PR=210
3		182.51	339.46	34615.09	189.66		RS=220.5
1	3	181.96	348.12	35498.81	195.09	201.80	RI=199.5
2		180.67	355.66	36266.95	200.73		PR=210
3		177.66	365.12	37232.35	209.57		RS=220.5
1	4	174.83	369.12	37640.24	215.29	212.26	RI=199.5
2		182.06	365.15	37234.64	204.52		PR=210
3		176.31	375.15	38254.20	216.97		RS=220.5
1	5	183.76	395.15	40293.64	219.28	218.77	RI=199.5
2		183.64	388.33	39598.16	215.63		PR=210
3		177.54	385.46	39305.67	221.39		RS=220.5

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: La Tabla 36 muestra que el valor más alto de la resistencia a compresión pertenece al dosificado con el 5% de vidrio granular en la mezcla de hormigón con un promedio de 218.77 kg/cm^2 , a los 28 días de su elaboración, en cuanto a las probetas de control alcanzan un valor promedio de 201.5 kg/cm^2 .


Se toma en cuenta que los valores de 1% y 2% están por debajo del límite inferior, a partir de la mezcla sin vidrio, 3%, 4% y 5% se encuentran dentro de los límites para un hormigón 210 kg/cm^2 a los 28 días de edad,

$$\text{Rango Inferior} = 95\% (199.5 \text{ kg/cm}^2)$$

Promedio = 100% (210 kg/cm²)

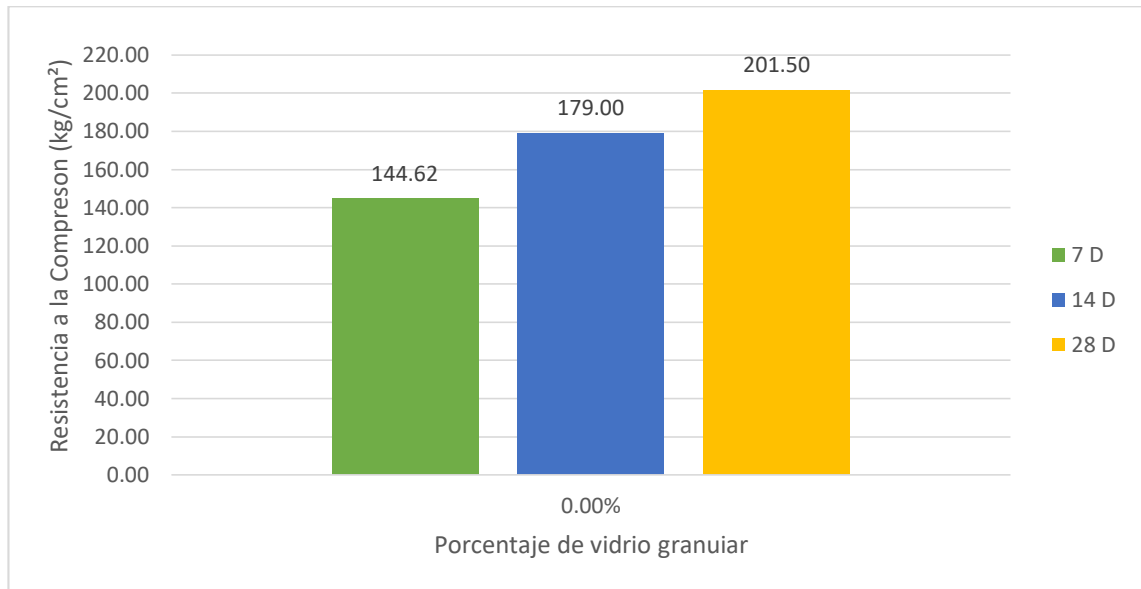
Rango Superior = 105% (220.5 kg/cm²)

Tabla 37. Precio del Hormigón y vidrio granular.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”							
PRECIO VIDRIO UTILIZADO							
MATERIAL		Material Utilizado	C/U (\$)	kg-saco	P. Unitario (\$)	Total (\$)	
VIDRIO GRANULAR	# Probetas					Total (\$)	Precio Final (\$)
1.0%	3	0.33	4.00	50.00	0.08	0.025	
2.0%		0.67				0.054	
3.0%		1.00				0.080	
4.0%		1.33				0.106	
5.0%		1.67				0.134	
PRECIO POR CADA 3 CILINDROS DE HORMIGÓN							
MATERIAL		Material Utilizado	C/U (\$)	kg-saco	P. Unitario (\$)	Total (\$)	Precio Final (\$)
DENOMINACIÓN	UNIDAD						
CEMENTO	kg	4.49	8.00	50.00	0.16	0.72	1.63
AGUA	Lt	2.7	0.00	0.00	0.00	0.00	
RIPIO	kg	18.45	1.64	50.00	0.03	0.61	
ARENA	kg	10.38	1.50	50.00	0.03	0.31	
PRECIO POR CADA 3 CILINDROS DE HORMIGÓN-VIDRIO GRANULAR							
VIDRIO GRANULAR		0.0%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%
PRECIO VIDRIO (\$)		0.00	0.025	0.054	0.08	0.106	0.134
PRECIO HORMIGÓN N. (\$)		1.63					
PRECIO HORMIGÓN+VIDRIO(\$)		1.63	1.655	1.683	1.71	1.736	1.764

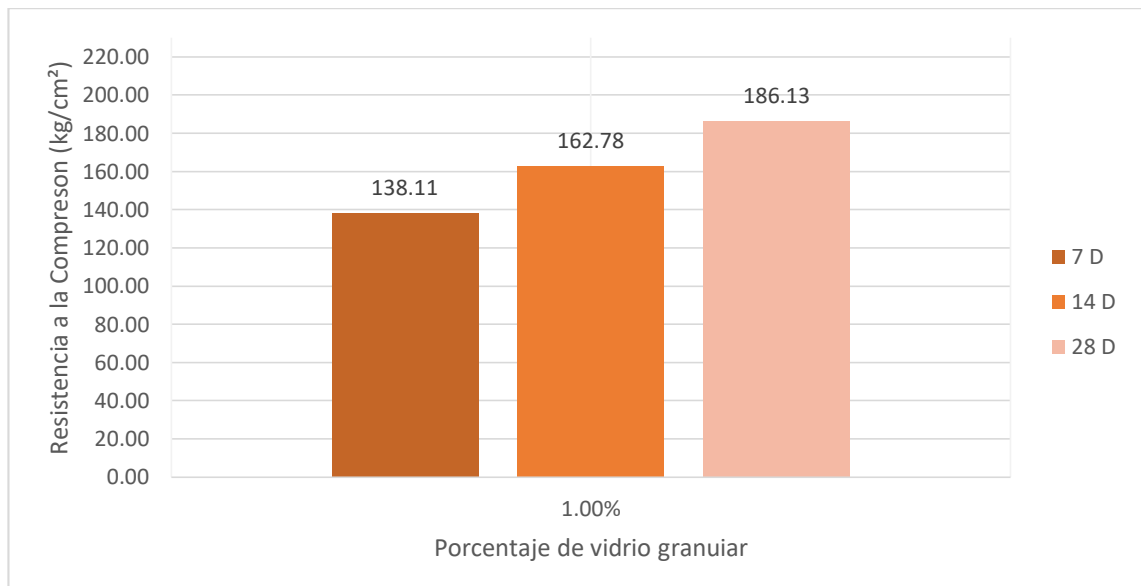
Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 10. Resistencia a la compresión del hormigón con 0% de vidrio granular.



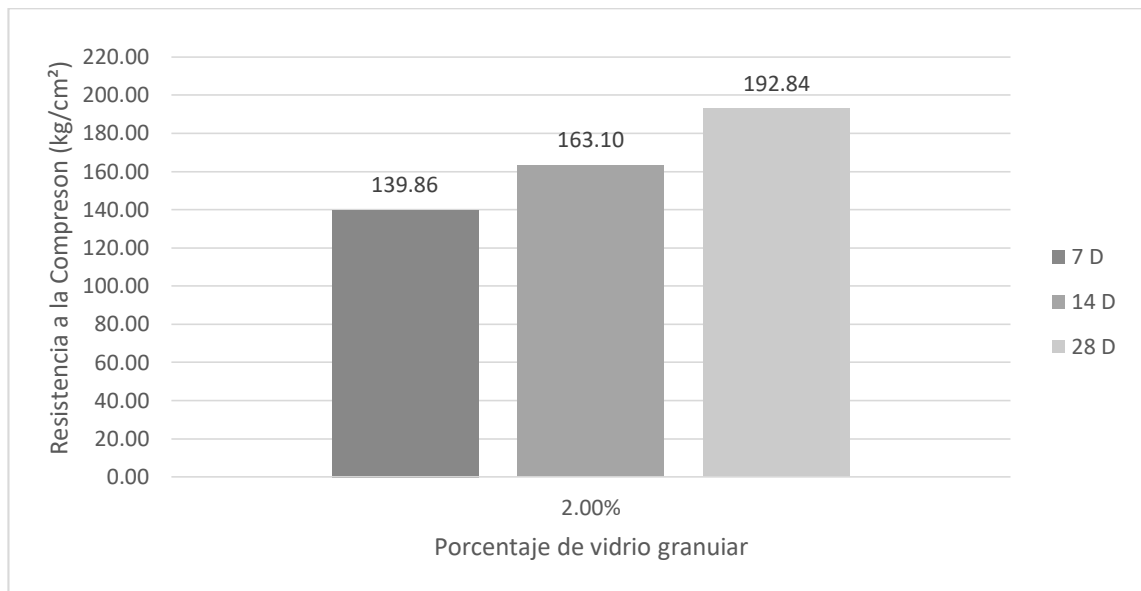
Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 11. Resistencia a la compresión del hormigón con 1% de vidrio granular.



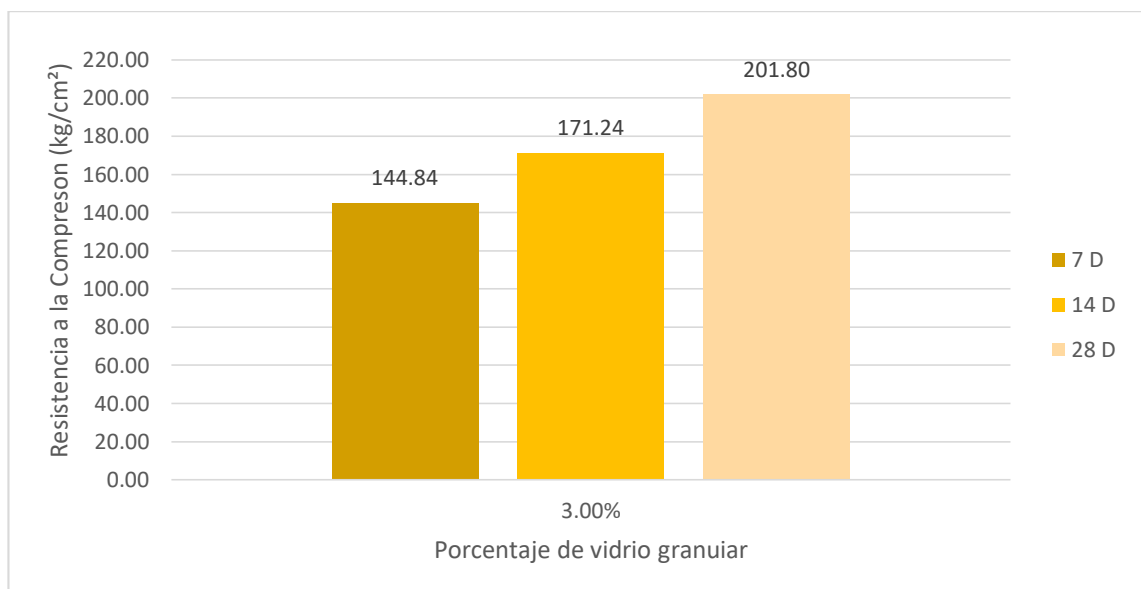
Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 12. Resistencia a la compresión del hormigón con 2% de vidrio granular.



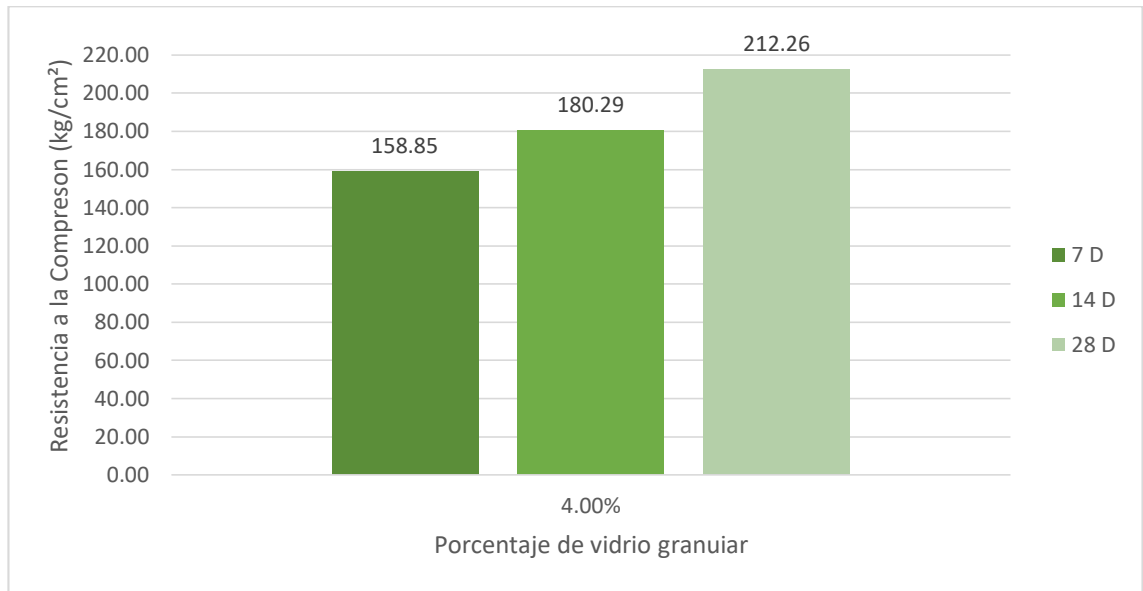
Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 13. Resistencia a la compresión del hormigón con 3% de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 14. Resistencia a la compresión del hormigón con 4% de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Gráfico 15. Resistencia a la compresión del hormigón con 5% de vidrio granular.

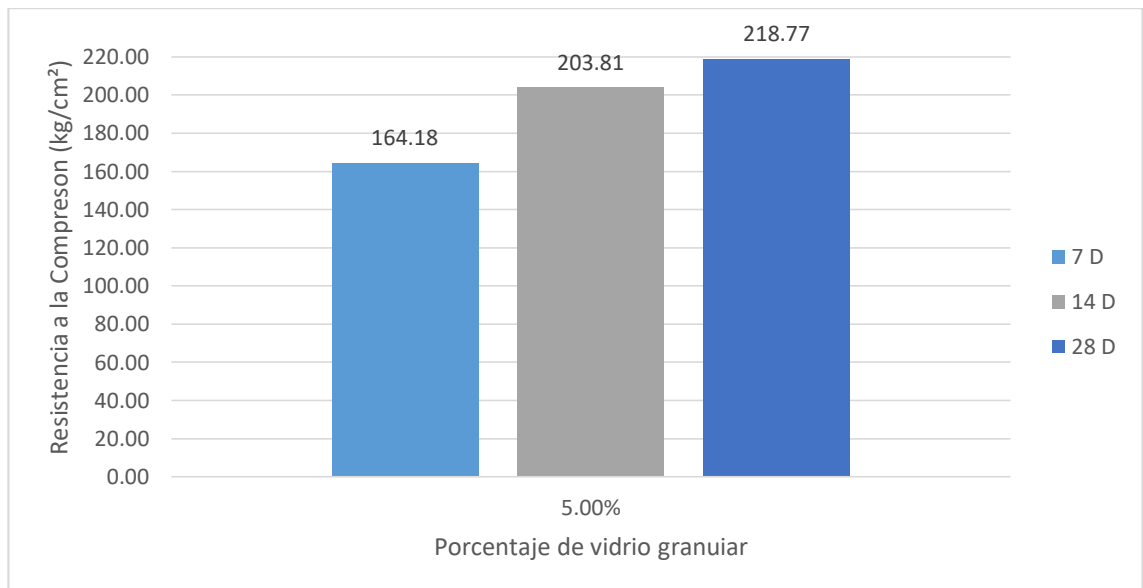
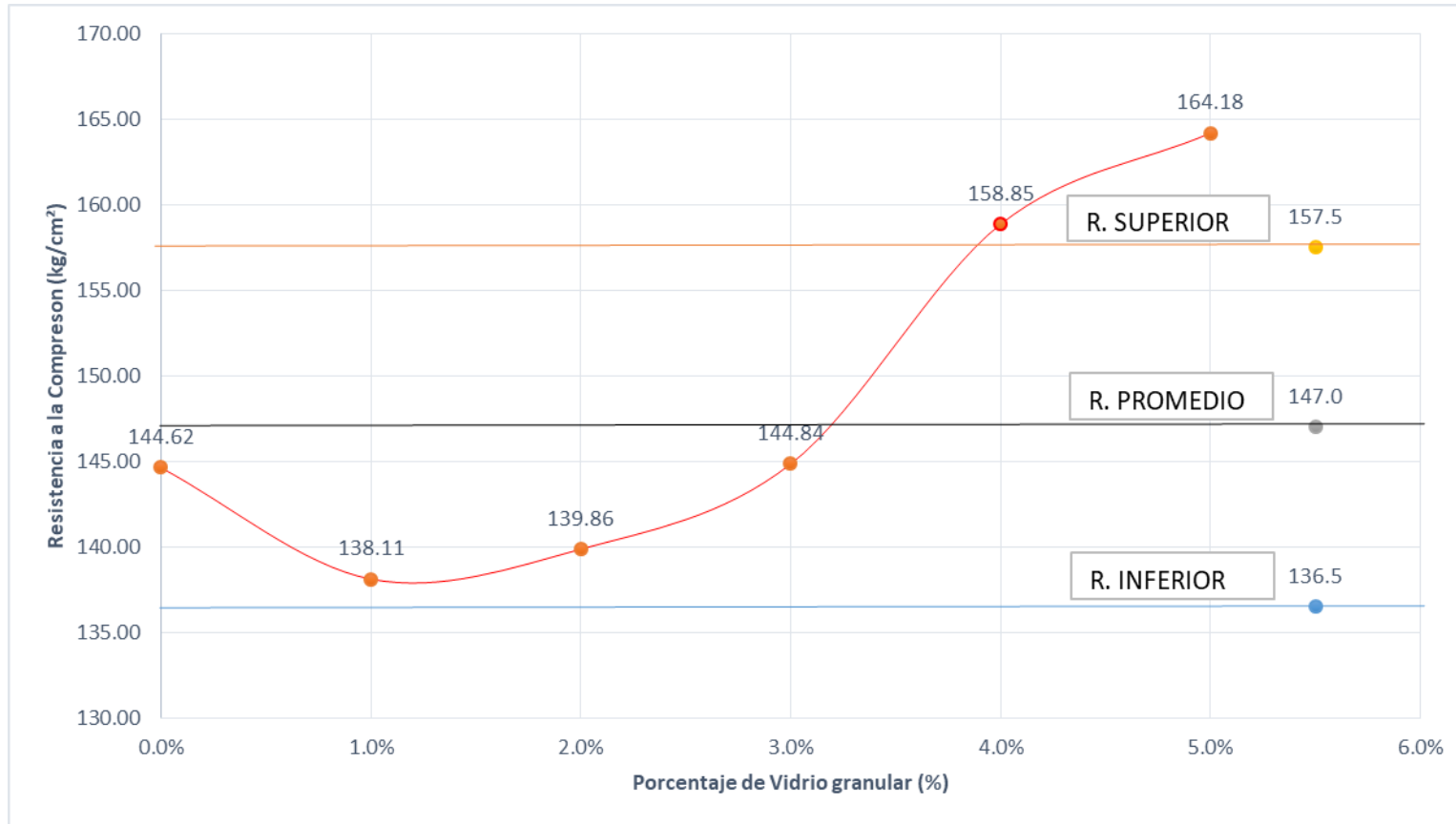


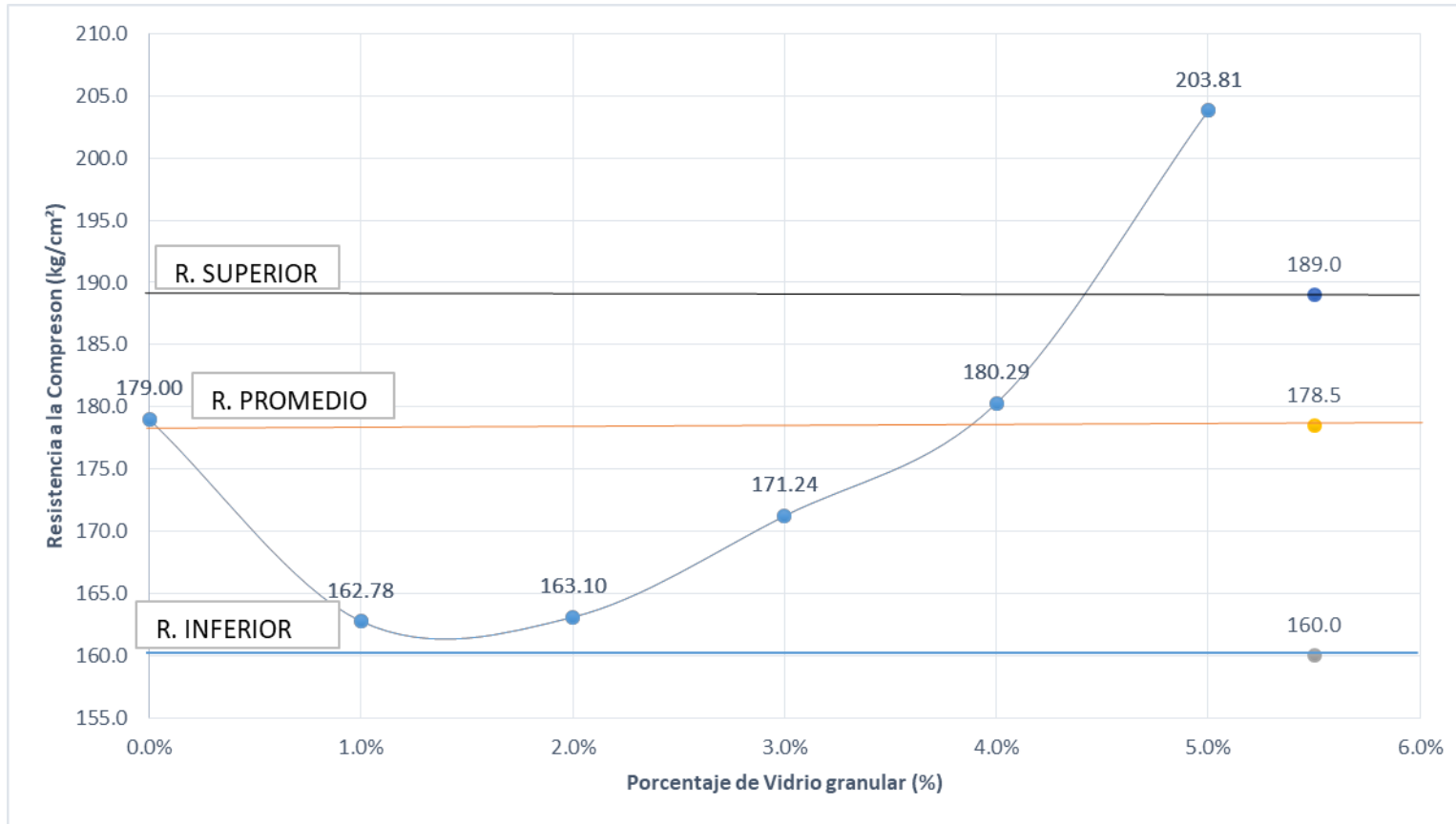
Gráfico 16. Resistencia a la compresión del hormigón a los 7 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En el ensayo a compresión de las probetas de la mezcla hormigón - vidrio granular, a los 7 días de edad, en el Gráfico 16, se identifica que la muestra que contiene 5% de vidrio granular tiene una mayor resistencia con respecto a las otras muestras, además se observa que las probetas que no tienen vidrio también tienen una resistencia considerable, similar a la muestra con 3% de vidrio granular. A partir de las probetas de hormigón con 1% hasta 5%, la resistencia a compresión tiene un incremento desde 138.11 kg/cm² a 164.18 kg/cm².

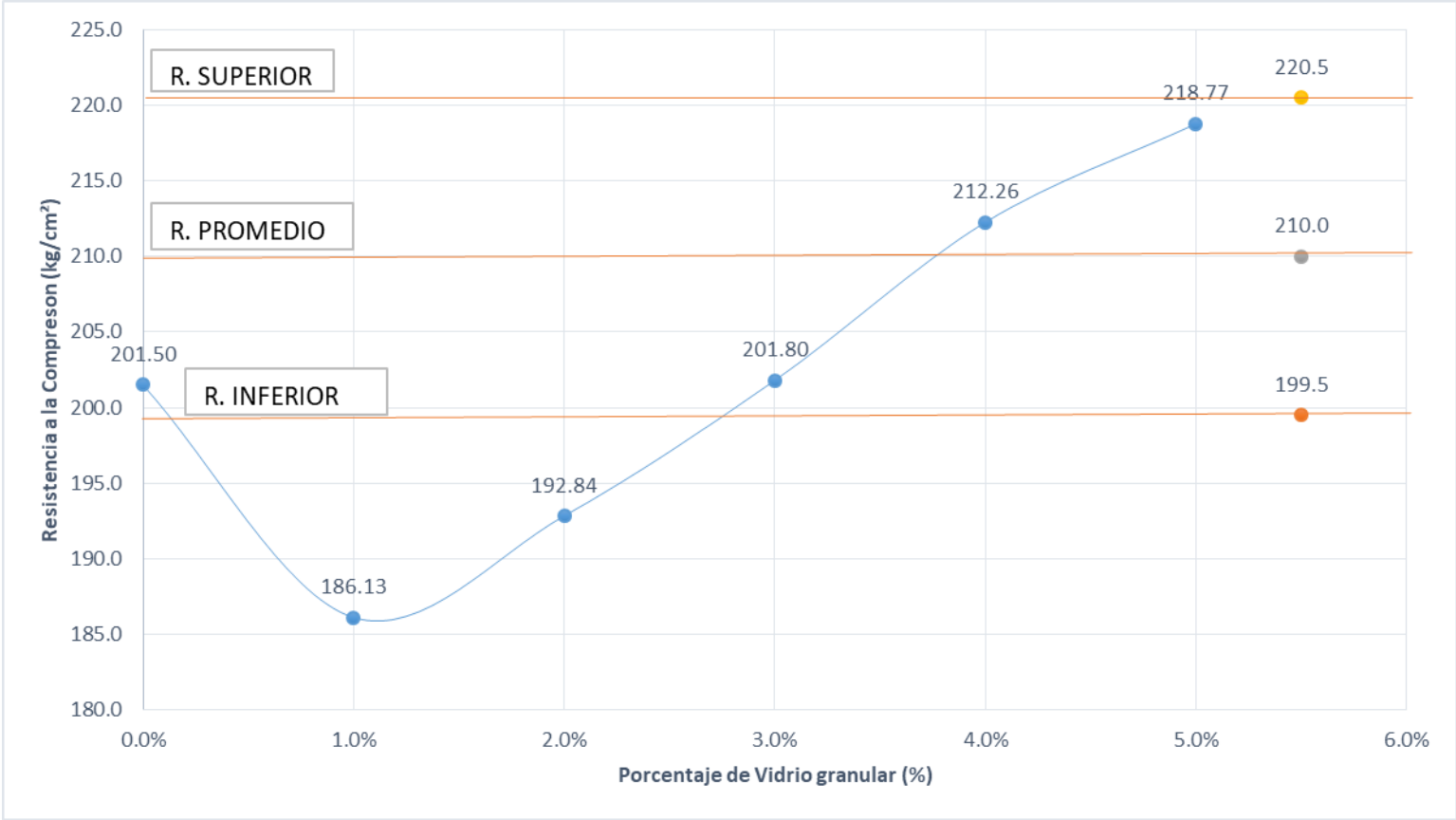
Gráfico 17. Resistencia a la compresión del hormigón a los 14 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En el ensayo a compresión de las probetas de la mezcla hormigón - vidrio granular a los 14 días de edad, en el Gráfico 17, se visualiza que la muestra que contiene 5% de vidrio granular sigue teniendo una mayor resistencia frente a las otras muestras, además se puede observar que las probetas que no tienen vidrio también tienen una resistencia considerable. A partir de las probetas de hormigón con 1% hasta 5%, la resistencia a compresión incrementa desde 162.78 kg/cm² a 203.81 kg/cm².

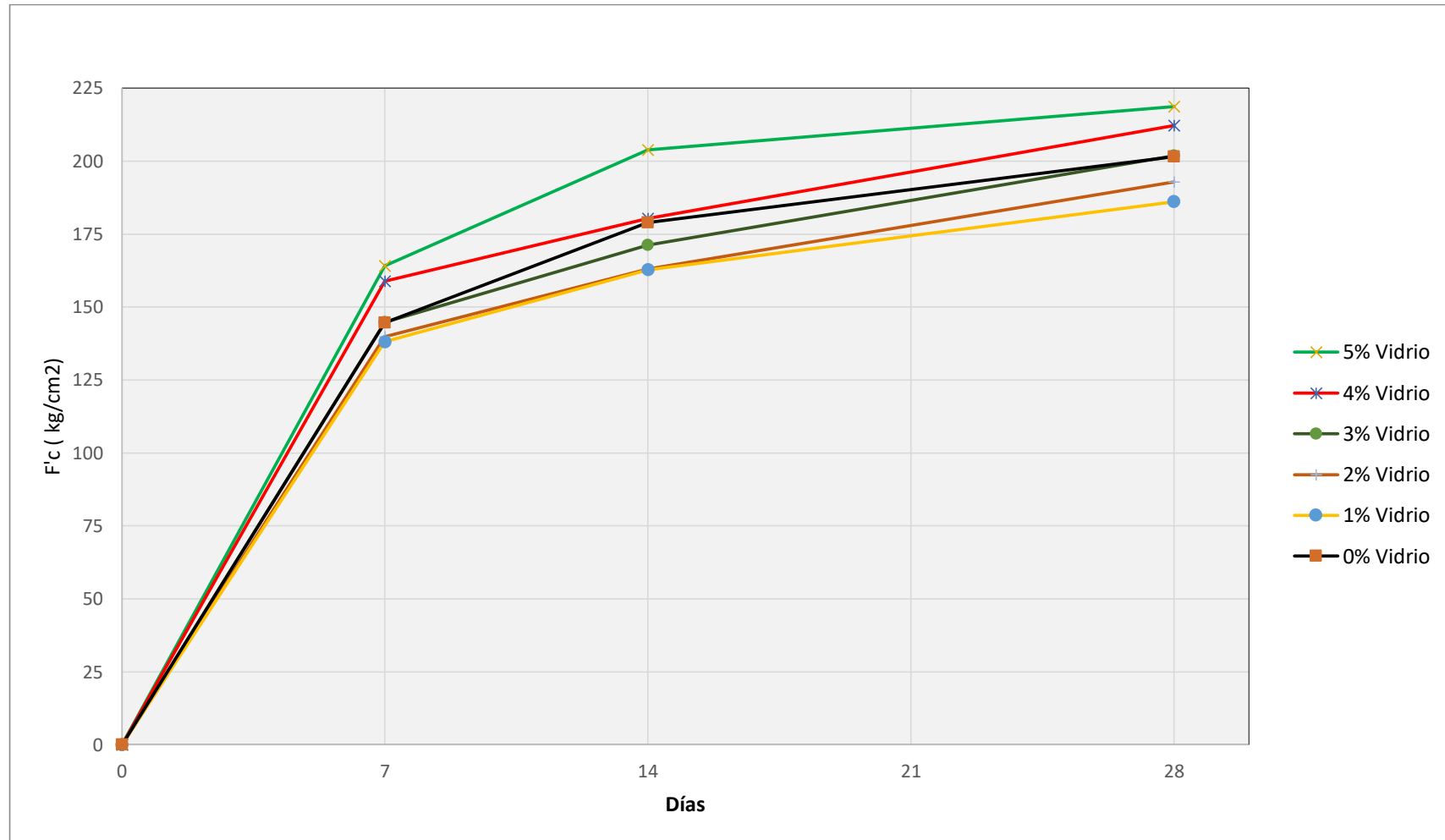
Gráfico 18. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de edad vs. Porcentaje de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En el ensayo a compresión de las probetas de la mezcla hormigón vidrio granular a los 28 días de edad, en el Gráfico 18 se visualiza que la muestra que contiene 5% de vidrio granular es el valor promedio más alto de todos los ensayos frente a los demás porcentajes y tiene una diferencia de 1.23 kg/cm^2 con el límite superior, además se observa que las probetas que no tienen vidrio también tienen una resistencia considerable, que va a la par de la muestra con 3% de vidrio granular. A partir de las probetas de hormigón con 1% hasta 5% se muestra que la resistencia a compresión va en aumento, desde 186.13 kg/cm^2 a 218.77 kg/cm^2 .

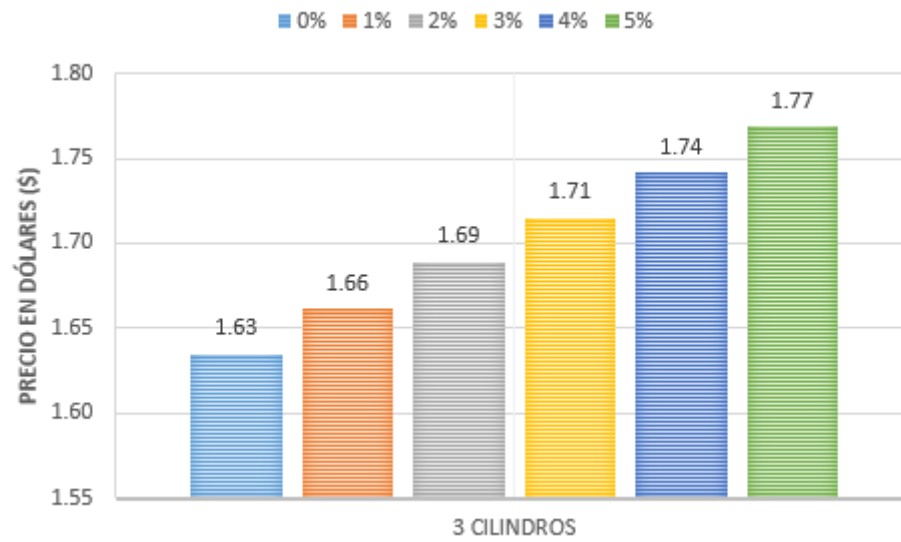
Gráfico 19. Resistencia a la compresión de la mezcla hormigón - vidrio granular de 210 kg/cm².



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: En la Gráfico 19 se visualiza el comportamiento de todas resistencias de las mezclas hormigón - vidrio granular a través de las diferentes edades en que se realizaron los ensayos destructivos. La gráfica indica que el porcentaje correspondiente al 5 % de hormigón vidrio granular es el que tiene mayores valores de resistencia en todas las edades de ensayo, cerca de alcanzar el límite superior, seguido por el 4 %, 3%, 0%, 2% y 1%.

Gráfico 20. Precio de 3 cilindros de hormigón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ vs. Porcentaje de vidrio granular.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Análisis de resultados: en el gráfico 20 se puede apreciar los precios de 3 cilindros de hormigón al 0.0% de vidrio granular dando un valor de \$1.63 dólares, añadiendo los demás porcentajes de vidrio el precio crece de 3 ctvs. con respecto al anterior.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los resultados obtenidos del ensayo destructivo a las probetas con un diseño a la compresión de 210 kg/cm^2 a los 7 días de edad, fueron los valores promedios de 144.62 kg/cm^2 para los cilindros de control, 138.11 kg/cm^2 , 139.86 kg/cm^2 , 144.84 kg/cm^2 , 158.85 kg/cm^2 y 164.18 kg/cm^2 añadiendo el vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón con un porcentaje de 1%, 2%, 3%, 4% y 5% respectivamente. Se determinó que las probetas con el 5% de vidrio granular presentan mayor resistencia a la compresión logrando un 78.18% de la resistencia para la que fue diseñado.
- Los especímenes ensayados a los 14 días de edad presentan valores promedios a la compresión de 179.0 kg/cm^2 para los cilindros de control, 162.78 kg/cm^2 , 163.1 kg/cm^2 , 171.24 kg/cm^2 , 180.29 kg/cm^2 y 203.81 kg/cm^2 para 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón respectivamente. Se determinó que las probetas con el 5% de vidrio granular sigue siendo la mayor resistencia a la compresión logrando un 97.05% de la resistencia de diseño. Los cilindros con 1% y 2% de vidrio granular no alcanzan la resistencia de diseño mínima de 168.0 kg/cm^2 , esto se debe a que son valores promedios de 3 cilindros por lo cual el resultado baja notablemente, también se debe que al momento de retirar el molde y sacar las probetas estas perdieron sección en los bordes.
- Las muestras ensayadas a los 28 días de edad presentan valores promedios a la compresión de 201.5 kg/cm^2 para los cilindros de control, 186.13 kg/cm^2 , 192.84 kg/cm^2 , 201.80 kg/cm^2 , 212.26 kg/cm^2 y 218.77 kg/cm^2 para 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de vidrio granular como aditivo en la mezcla de hormigón respectivamente. Se identificó que las probetas con el 5% de vidrio granular presentan la mayor

resistencia a la compresión logrando un 104.17% de la resistencia de diseño. Los cilindros con 1% y 2% de vidrio granular no alcanzan la resistencia de diseño mínima de 199.5 kg/cm², esto se debe a que son valores promedios de 3 cilindros por lo cual el resultado baja considerablemente.

- El vidrio granular es un aditivo en la mezcla de hormigón, se determinó que la utilización del 5% de este desecho es el porcentaje óptimo en la mezcla de concreto, este porcentaje encabeza los valores de resistencia a compresión a los 7 días con 164.18 kg/cm², a los 14 días de edad con 203.81 kg/cm² y a los 28 días de edad con 218.77 kg/cm², ligeramente bajo del rango superior de 220.5 kg/cm².
- Se cotizó que el precio de tres probetas de hormigón es de \$1.63 dólares americanos con un costo de \$29.34 dólares, para la dosificación de 54 especímenes, la cantidad de vidrio granular utilizado es de 15 kg con un costo de \$1.20 dólares por lo cual al sumar los precios se obtuvo una cifra final de \$30.54 dólares americanos.
- Se observó una relación directamente proporcional entre la trazabilidad del hormigón y la cantidad de vidrio granular, debido a que este componente no absorbe agua en comparación de la arena, mientras que la homogeneidad fue constante durante todo el proceso de mezclado para todas las probetas; por otro lado el asentamiento aumenta a medida que se eleva el porcentaje de vidrio granular manteniéndose dentro del rango de asentamiento para un hormigón de diseño 210 kg/cm², que va de 6 a 9 cm.
- Se determinó mediante ensayos en estado fresco del hormigón, que las densidades están dentro del rango de hormigón normal u ordinario que va desde 2000 kg/m³ a 2600 kg/m³, por lo que no presentaron mayor variación para un hormigón de diseño 210 kg/cm², igualmente el peso de las probetas no varía notablemente, al llegar al 5% de vidrio granular se obtuvo una ligera reducción del peso.

- Finalmente la utilización de vidrio granular se considera despreciable debido a que no existe una diferencia significativa de los valores de resistencia a compresión entre los cilindros elaborados con y sin aditivo. En conclusión el proyecto no es viable para realizarlo en obra ya que presenta gasto innecesario de recursos materiales, mano de obra y tiempo.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda verificar que todos los moldes que se vayan a utilizar tengan las mismas medidas y que no posean defectos como falta de tornillos o que estén golpeados.
- Como el triturado del vidrio fue de forma manual se recomienda realizarlo dentro de una bandeja metálica y cubriéndolo con una lona para evitar que el material se disperse.
- Para la complementación de este proyecto se sugiere la utilización de vidrio granular como reemplazo parcial de la arena con el propósito de evaluar la resistencia a compresión empleando el vidrio como aditivo y como componente parcial.
- Se sugiere utilizar guantes gruesos cuando se esté moliendo el vidrio, esto también evitará accidentes ya que el vidrio puede llegar a producir lesiones en las manos.
- Se sugiere utilizar otros tipos de vidrio como aditivo en la mezcla con la finalidad de evaluar las propiedades de hormigón fresco y endurecido.
- Al momento de desencofrar las probetas de hormigón se recomienda tener especial cuidado para no fisurarlas, golpearlas o que sufran algún daño que afecte su capacidad de resistencia.
- Se recomienda tener un tiempo de espera de 30 minutos entre el sacado del cilindro de la Cámara de curado y el posterior ensayo a compresión esto evitará fallas en el cilindro.

Referencias bibliográficas

- [1] A. Nistal, *et al.* “Historia: Antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia”. *Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*, vol. 10, pp. 1-16, Jun. 2012.
- [2] S. Villamudria. “Modificación de las propiedades del hormigón al ser reforzado con fibra de vidrio AR”. Tesis de Maestría, Universidad de Oviedo, España, 2014.
- [3] J. Reindl. “Reuse/Recycling of glass cullet for non-containers uses”. Internet: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/reutilizacion-reciclaje-de-residuos-de-vidrio-para-usos-distintos-a-envasar>, 2003 [May. 28, 2022].
- [4] I. Alarcón. “Obstáculos para reciclaje de vidrio en el Ecuador”. *El Comercio* (Jul. 09, 2021), sec. Tendencias-Ambiente. Pp.
- [5] V. Flores, *et al.* “Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento de alta temperatura de morteros de cemento”. *Revista Elsevier - Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 57, pp. 257-265, Dic. 2018.
- [6] D. Hidalgo y R. Poveda. “Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado”. Tesis, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2013.
- [7] S. Cou y C. Poon. “Properties of self - compacting concrete prepared with recycled glass aggregate”. *Elsevier Journal – Cement & Concrete Composites*, vol. 31, pp. 107-113, Dec. 2009.
- [8] J. Acuña y E. Flores. “Evaluación del concreto de alta resistencia con aplicaciones de vidrio reciclado para mejorar la resistencia a la compresión, Tarapoto - 2021”. Tesis, Universidad César Vallejo, Perú, 2021.
- [9] B. Ghorbani, *et al.* “Dynamic characterization of recycled glass – recycled concrete blends using experimental analysis and artificial neural network modeling”, *Elsevier Journal – Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, vol. 142, pp. 1-14, Dec. 2020.

- [10] S. Alcarado, *et al.* “Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento”. *Revista Riemat*, vol. 4, pp. 1-7, Dic. 2019.
- [11] D. Peñafiel. “Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino”. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2016.
- [12] E. González. “La importancia de los aditivos en la industria de la construcción”. Internet: <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php/contenido/posibilidadesdelconcreto/802-la-importancia-de-los-aditivos-en-la-industria-de-la-construcción>, Sep. 05, 2017 [May. 28, 2022].
- [13] J. Cano y C. Cruz. “Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón”. Tesis, Universidad Libre Seccional Pereira, Colombia, 2017.
- [14] INEN. “Ecuador proyecta una producción sostenible a través de la Norma Técnica basada en Economía Circular”. Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/ecuador-proyecta-una-produccion-sostenible-a-traves-de-unanormatecnicabasadaeneconomiacircular/#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20se%20presenta,miles%20de%20trabajo>, Ene. 2020 [May. 28, 2022].
- [15] C. Chavarry, *et al.* “Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica”. *Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, vol. 4, pp. 31-41, Feb. 2020.
- [16] RAE. “Hormigón”. Internet: <https://dle.rae.es/hormig%C3%B3n> 2022 [May. 28, 2022].
- [17] Construmática. “Diccionario de Construcción”. Internet: https://www.construmatica.com/construpedia/index.php?title=Categor%C3%ADa:Diccionario_de_Construcci%C3%B3n&pagefrom=Hidrogeolog%C3%ADa#mw-pages Sep. 23, 2021 [May. 28, 2022].
- [18] Z. Li. “Introduction to concrete” in *Advanced Concrete Technology* [On line]. Available: <https://doi.org/10.1002/9780470950067.ch1> [May. 28, 2022].

- [19] CANACEM. “¿Qué es el cemento?” Internet: <https://canacem.org.mx/que-es-el-cemento/> 2022 [May. 28, 2022].
- [20] Constructor civil. “Composición química del cemento Portland” Internet: <https://www.elconstructorcivil.com/2011/01/composicion-quimica-del-cemento.html> Dic. 03, 2010 [May. 28, 2022].
- [21] NTE INEN. “Cemento hidráulico, requisitos de desempeño para cementos hidráulicos” Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf> 2011 [May. 28, 2022].
- [22] Disensa. “Cemento Holcim fuerte tipo GU 50 kg - GU” Internet: <https://disensa.com.ec/producto/cemento-holcim-fuerte-tipo-gu-50kg-gu/> 2022 [May. 28, 2022].
- [23] J. Newman y S. Ban. *Advanced Concrete Technology*. India: Elsevier, 2003, pp. 18.
- [24] J. Kropp. “Concrete” in Encyclopedia of Industrial Chemistry [On line]. Available: https://doi.org/10.1002/14356007.i07_i01 [May. 28, 2022].
- [25] A. Mark y M. Sidney. *Aggregates in concrete*. New York: Taylor and Francis Group, 2005, pp. 1-65.
- [26] S. Medina, “HORMIGÓN”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2014, pp. 30 - 60.
- [27] NTE INEN 872-1. “Áridos para hormigón - Requisitos” Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>, Sep. 2011 [May. 28, 2022].
- [28] ATRIA INNOVATION. “¿Cómo medir la porosidad de los materiales?” Internet: <https://www.atriainnovation.com/como-medir-la-porosidad-de-los-materiales/>, Feb. 16, 2021 [May. 28, 2022].
- [29] NTE INEN 857-1. “Áridos, determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso” Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/857.pdf>, 2010 [May. 28, 2022].

- [30] NTE INEN 856. “Áridos, determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino” Internet: https://nanopdf.com/download/gravedad-especifica-y-absorcion-del-arido-_pdf, 2010 [May. 28, 2022].
- [31] L. Bertolini, *et al.* “Transport Process in Concrete” in Corrosion of Steel in Concrete [On line]. Available: <https://doi.org/10.1002/9783527651696.ch2> [May. 28, 2022].
- [32] L. Bertolini, *et al.* “Cements and Cement Paste” in Corrosion of Steel in Concrete [On line]. Available: <https://doi.org/10.1002/9783527651696.ch1> [May. 28, 2022].
- [33] NTE INEN 2 518. “Morteros para unidades de mampostería. Requisitos” Internet: normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2518.pdf, 2010 [May. 29, 2022].
- [34] NTE INEN 1 855-1. “Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos” Internet: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1855-1-1.pdf, Oct. 2016 [May. 29, 2022].
- [35] Sika. “Sika Informaciones Técnicas - Curado del concreto” Internet: <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/e/Curado%20del%20Concreto.pdf> [May. 29, 2022].
- [36] NTE INEN 1 576. “Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo” Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1576.pdf>, 2011 [May. 29, 2022].
- [37] L. Bertolini, *et al.* “Concrete Technology for Corrosion Prevention” in Corrosion of Steel in Concrete [On line]. Available: <https://doi.org/10.1002/9783527651696.ch12> [May. 29, 2022].
- [38] MIDUVI. “Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, 2015” Internet: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-2-HORMIGON-ARMADO.pdf>, Sep. 2016 [May. 29, 2022].

- [39] A. Hincapié y J. Valencia. “Resistencia a la compresión, núcleos vs. Cilindros”. *Revista Universidad EAFIT*, vol 39, pp. 87-95, 2003.
- [40] NTE INEN 1855-2. “Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos” : https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1855-2.pdf, 2015 [May. 29, 2022].
- [41] NTE INEN 1 573. “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico” Internet: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>, 2010 [May. 29, 2022].
- [42] J. Peris. “La calidad en los aditivos de hormigón”. *Revista de Obras Públicas*, N° 3.466, pp. 27 – 37, Feb. 2006.
- [43] J. Finck. *Additives for High Performance Applications – Chemistry and Applications*. United States of America: Scribener Publishing, 2017, pp. 189 – 216.
- [44] E. Hernández. “Uso de aditivos naturales en materiales de construcción - Una”. *Revista Arquitectura*, vol. 3, pp. 63 – 68, Dic. 2018.
- [45] J. Fernández. *El vidrio*. Madrid: Artegraf S. A. 2003, pp. 49 – 54.
- [46] E. Le Bourhis. *Glass Mechanics and Technology*. France: ISBN, 2014, pp. 41 – 42.
- [47] S. Alvarado, *et al.* “Estudio de la resistencia a la compresión del hormigón utilizando el vidrio finamente molido en reemplazo parcial del cemento”. *Revista Riemat*, vol. 4, pp. 1 – 7, Dic. 2019.
- [48] NTE INEN 3124. “Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio” Internet: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_3124.pdf, 2017 [May. 30, 2022].
- [49] M. V. Garzón Calderón, Investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2010.

- [50] Escuela de Ingeniería Técnica Civil, 2007. [En línea]. Available: [chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https 3A%2F%2Focw.bib.upct.es%2Fpluginfile.php%2F6203%2Fmod_resource%2F content%2F1%2FHormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf&clen=346779&chu nk=true](chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Focw.bib.upct.es%2Fpluginfile.php%2F6203%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FHormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf&clen=346779&chunk=true). [Último acceso: May. 30, 2022].
- [51] Universidad Técnica de Ambato, Resistencias a la compresión más comunes del hormigón, Ambato: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica – Laboratorio de ensayo de materiales.
- [52] Great Sand Dunes Online Curriculum, 2008. [En línea]. Available: [https://www.handsontheland.org/grsa/resources/curriculum/elem_sp/lesson31.htm#:~:text=La%20arena%20es%20definida%20por,son%20tanto%20grandes%2 0como%20peque%C3%B1os](https://www.handsontheland.org/grsa/resources/curriculum/elem_sp/lesson31.htm#:~:text=La%20arena%20es%20definida%20por,son%20tanto%20grandes%20como%20peque%C3%B1os). [Último acceso: May. 30, 2022].

Anexos

A1. Resultados ensayos

Tabla 38. Granulometría del Agregado Fino



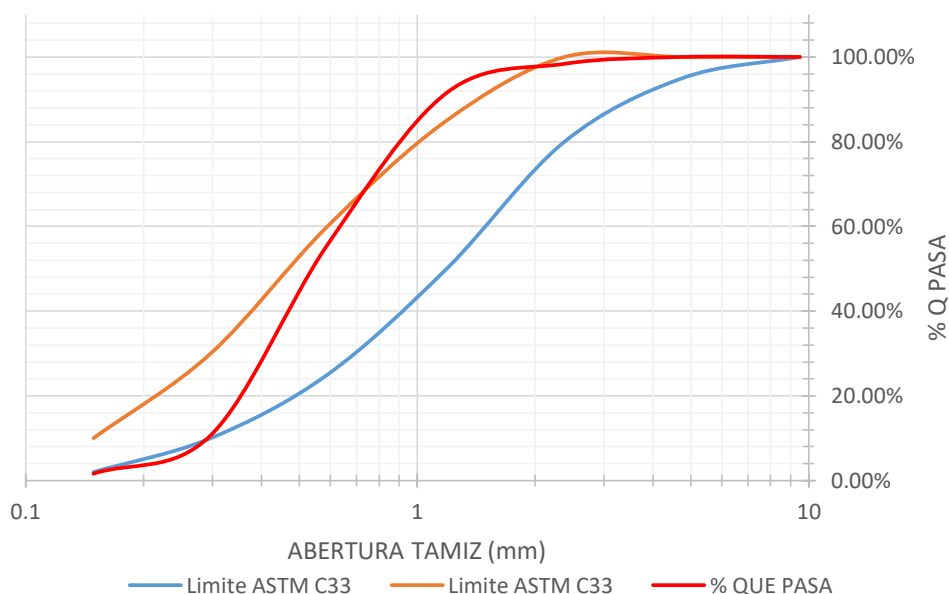
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”								
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO					NORMA: NTE INEN 696 -ASTM C 136			
FECHA: 7/03/2022			ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER					
PESO DE LA MUESTRA(Gr)=		500		PÉRDIDA DE LA MUESTRA (%)		0.8		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO								
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite inferior	Límites superior
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100	100.00%	100.00%
#4	4.76	0	0	0.00%	100.00%	95-100	95.00%	100.00%
#8	2.38	8	8	1.61%	98.39%	80-100	80.00%	100.00%
#16	1.19	34	42	8.47%	91.53%	50-85	50.00%	85.00%
#30	0.59	178	220	44.35%	55.65%	25-60	25.00%	60.00%
#50	0.297	223	443	89.31%	10.69%	10-30	10.00%	30.00%
#100	0.149	45	488	98.39%	1.61%	2-10	2.00%	10.00%
#200	0.075	5	493	99.40%	0.60%	-	-	-
BANDEJA		3	496	100.00%	0.00%	-	-	-
MÓDULO DE FINURA				2.42%				

Gráfico 21. Curva Granulométrica Arena.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 39. Granulometría del Agregado Grueso



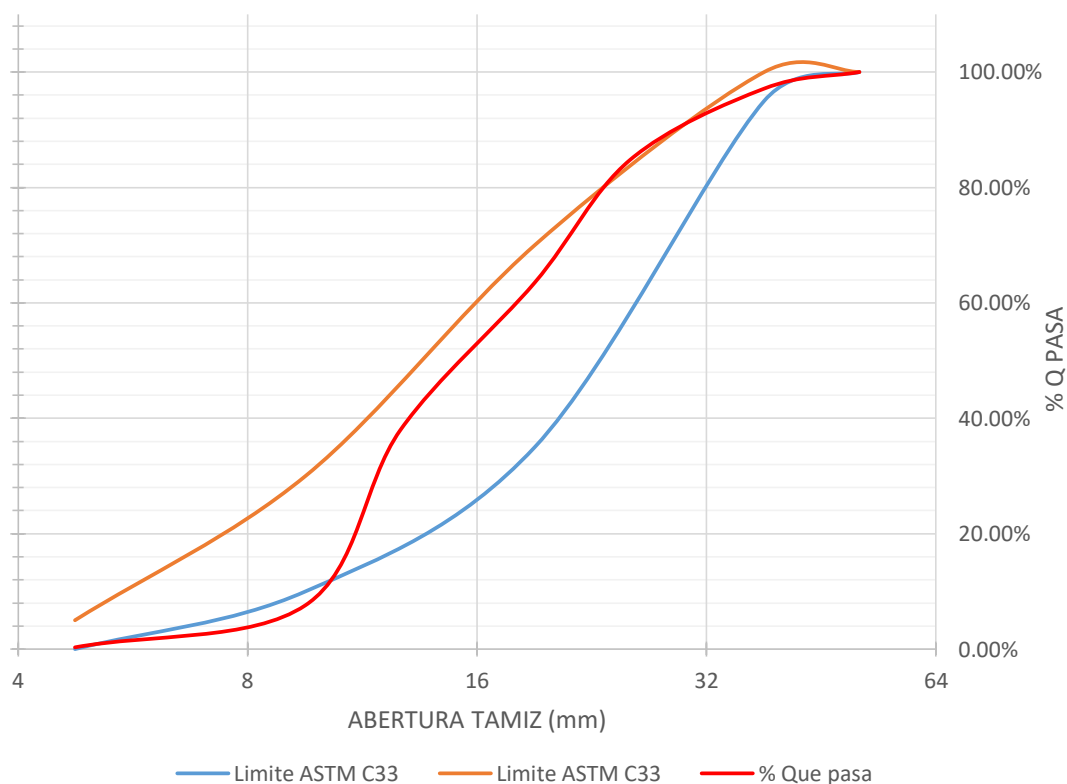


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”								
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO				NORMA: NTE INEN 696 -ASTM C 136				
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER						
PESO DE LA MUESTRA(Gr)=		10000	PÉRDIDA DE LA MUESTRA (%)		0.01			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO								
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite inferior	Límites superior
2"	50.8	0.00	0	0.00%	100.00%	100	100.00%	100.00%
1 ½"	38.1	287.59	287.59	2.88%	97.12%	95 - 100	95.00%	100.00%
1"	25.4	1237.89	1525.47	15.26%	84.74%	-	35.00%	70.00%
¾"	19.05	2127.05	3652.53	36.53%	63.47%	35 - 70	10.00%	30.00%
½"	12.7	2553.57	6206.10	62.07%	37.93%	-	0.00%	5.00%
⅜"	9.53	3042.61	9248.71	92.50%	7.50%	10 - 30		
#4	4.75	720.72	9969.43	99.71%	0.29%	0 - 5		
BANDEJA		29.30	9998.73	100.00%	0.00%	-		
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:			1"					

Gráfico 22. Curva Granulométrica Ripio.





Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 40. Densidad Aparente Compactada del agregado fino y grueso.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIÓ GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”				
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO			NORMA: NTE INEN 857 -ASTM C 127	
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm ³)	20.45	MASA DEL RECIPIENTE=	9.8	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	38.40	28.60	1.40	1.40
	38.50	28.70	1.40	
FINO	41.50	31.70	1.55	1.56
	41.70	31.90	1.56	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 41. Densidad Aparente Suelta del agregado fino y grueso.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIÓ GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”				
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO			NORMA: NTE INEN 857 -ASTM C 127	
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm ³)	20.45	MASA DEL RECIPIENTE=	9.8	
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario	Peso Unitario Promedio (kg/dm ³)
GRUESO	40.70	30.90	1.51	1.52
	40.90	31.10	1.52	
FINO	43.60	33.80	1.65	1.65
	43.50	33.70	1.65	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 42. Densidad Aparente Compactada de la Mezcla



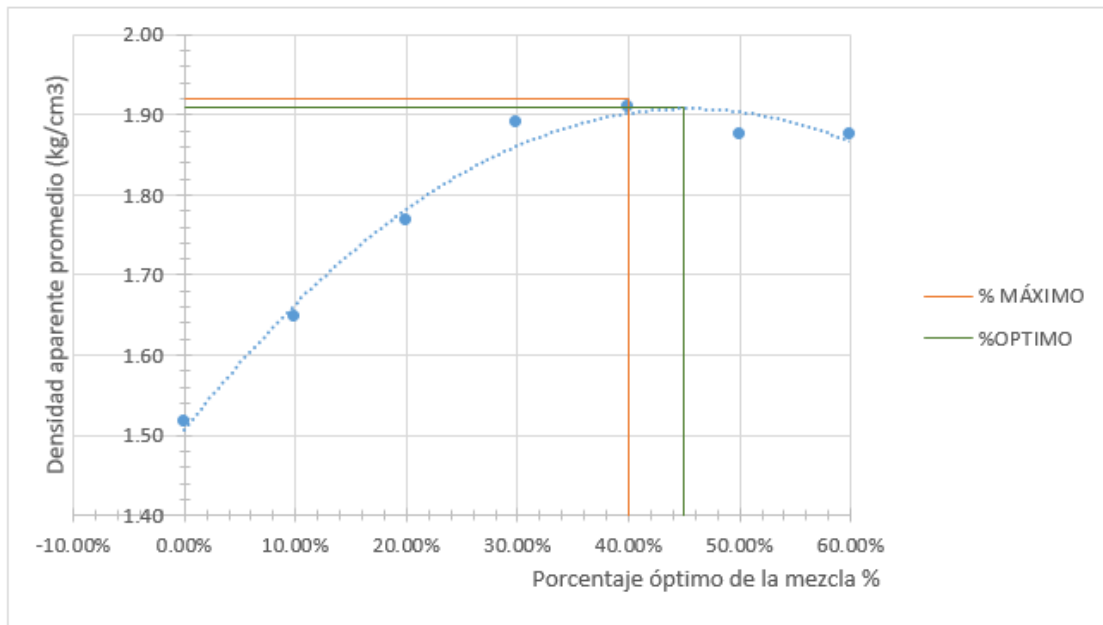
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”								
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO					NORMA: NTE INEN 858 ASTM C 29			
FECHA: 7/03/2022				ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER				
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm ³)			20.45	MASA RECIPIENTE (Kg):		9.8		
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA								
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm ³)	Peso unitario promedio
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	FINO	AGREGADO FINO + GRUESO			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.70	30.90	1.51	1.52
					40.90	31.10	1.52	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.60	33.80	1.65	1.65
					43.40	33.60	1.64	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	45.80	36.00	1.76	1.77
					46.10	36.30	1.78	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	48.30	38.50	1.88	1.89
					48.60	38.80	1.90	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	48.70	38.90	1.90	1.91
					49.00	39.20	1.92	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	48.00	38.20	1.87	1.88
					48.30	38.50	1.88	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	48.20	38.40	1.88	1.88
					48.10	38.30	1.87	
Porcentaje máximo de agregado fino (%)							40.00%	
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)							60.00%	
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)							36.00%	
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)							64.00%	
Peso unitario máximo (gr/cm ³)							1.920	
Peso unitario óptimo (gr/cm ³)							1.910	

Gráfico 23. Porcentaje óptimo vs. Densidad aparente.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 43. Densidad Real y Capacidad de absorción de la Arena

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”			
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO		NORMA: INEN 1573	
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER	
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1466.40
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1249.00
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	7252.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	4720.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	5785.60
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	3471.00
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm ³	2314.60
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm ³	2.500
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M7	Masa del recipiente	gr	24.10
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	170.30
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	146.20
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	164.70
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	140.60
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	3.98
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	3.96



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 44. Densidad Real y Capacidad de absorción del Ripio

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”					
ORIGEN: MINA ANZU, NAPO-TENA, SECTOR PUERTO NAPO				NORMA: INEN 1573	
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M1	Masa del picnómetro	gr	170.00		
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	260.00		
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	724.00		
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	464.00		
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	670.00		
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	500.00		
DA=M6/500cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	1.00		
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	36.00		
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	90.00		
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	36.00		
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm ³	2.500		
CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR		
M7	Masa del recipiente	gr	23.00	26.00	
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	247.00	247.00	
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	224.00	221.00	
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	243.30	243.30	
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	220.30	217.30	
CA=(M9-	Capacidad de absorción	%	1.68	1.70	
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.69		

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 45. Densidad Real del Cemento

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRIO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”				
ORIGEN: CEMENTO CHIMBORAZO		NORMA: INEN 1573		
FECHA: 7/03/2022	ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER			
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	159.60	152.70
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	409.60	334.30
M3	Masa del picnómetro + muestra + gasolina	gr	709.20	652.40
M4=M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	299.60	318.10
M5	Masa picnómetro + 500cc de gasolina	gr	528.40	520.30
M6=M5-M1	Masa de 500cc de gasolina	gr	368.80	367.60
DG=M6/500cm ³	Densidad de la gasolina	gr/cm ³	0.74	0.74
M7=M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	69.20	49.50
M _C =M2-M1	Masa del cemento	gr	250.00	181.60
V _G =M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm ³	93.82	67.33
DRC=M _C /V _G	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2.66	2.70
	Densidad real promedio	gr/cm ³	2.68	

Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 46. Granulometría del vidrio molido



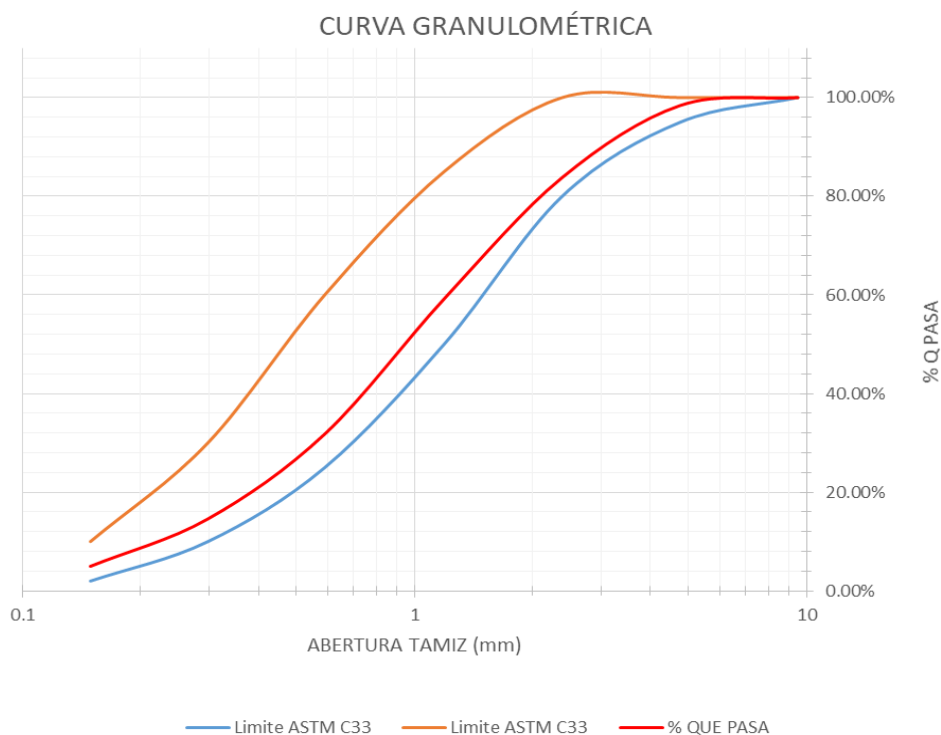
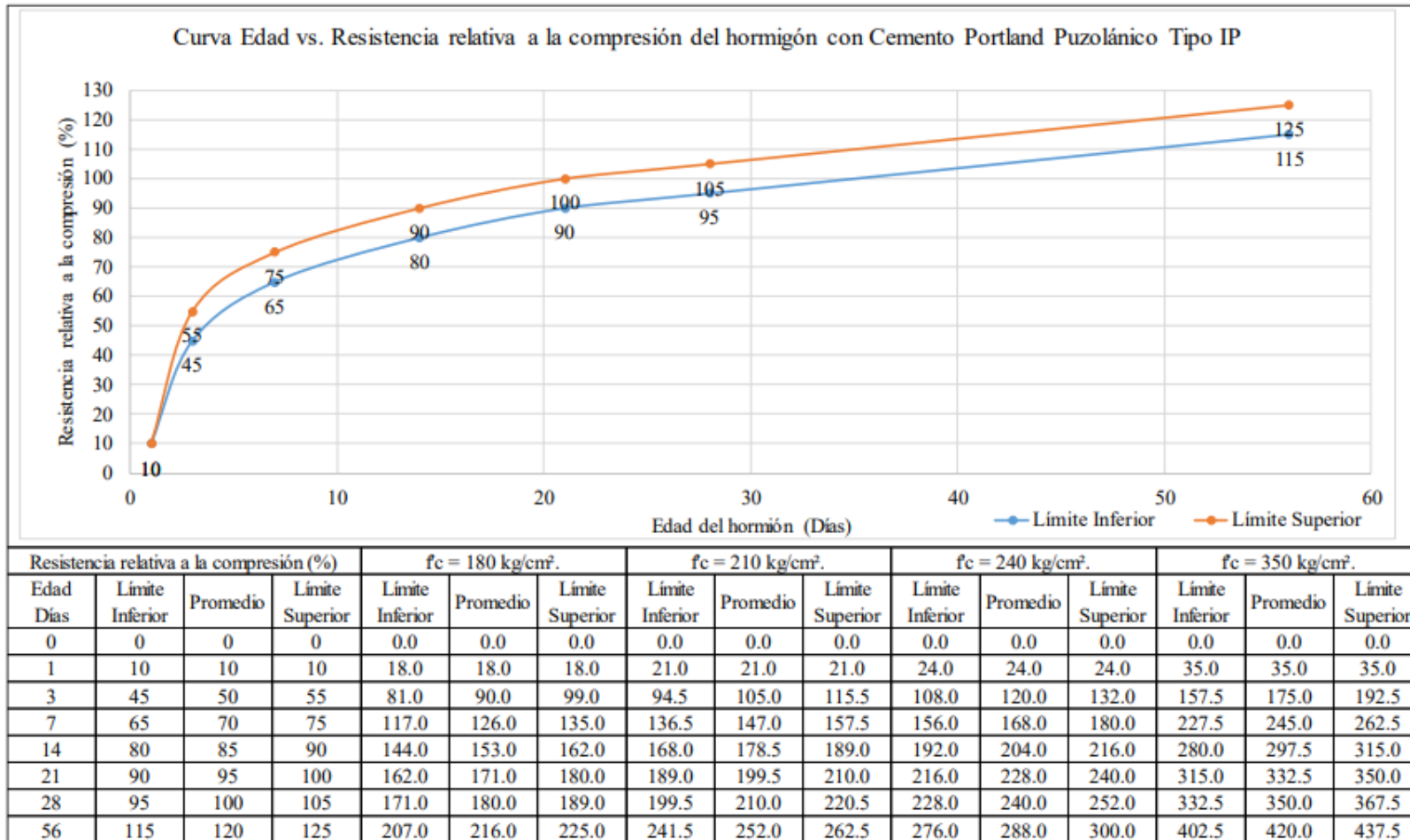
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
“DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE VIDRÍO GRANULAR COMO ADITIVO EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN”								
ORIGEN: BOTELLAS Y VIDRIO TRANSPARENTE RECICLADO			NORMA: NTE INEN 696 -ASTM C 136					
FECHA: 7/03/2022		ENSAYADO POR: CARRANZA CASTRO MILTON ALEXANDER						
PESO DE LA MUESTRA(Gr)=		500	PÉRDIDA DE LA MUESTRA (%)		0			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO								
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	Límite inferior	Límites superior
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100	100.00%	100.00%
#4	4.76	8	8	1.60%	98.40%	95-100	95.00%	100.00%
#8	2.38	73	81	16.20%	83.80%	80-100	80.00%	100.00%
#16	1.19	123	204	40.80%	59.20%	50-85	50.00%	85.00%
#30	0.59	137	341	68.20%	31.80%	25-60	25.00%	60.00%
#50	0.297	86	427	85.40%	14.60%	10-30	10.00%	30.00%
#100	0.149	48	475	95.00%	5.00%	2-10	2.00%	10.00%
#200	0.075	21	496	99.20%	0.80%	-		
BANDEJA		4	500	100.00%	0.00%	-		
MÓDULO DE FINURA				3.07%				

Gráfico 24. Curva Granulométrica Vidrio Molido.



Elaborado por: Milton Alexander Carranza Castro.

Tabla 47. Resistencias a la compresión más comunes del hormigón FICM



Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales – FICM – UTA. [51]

A2. Anexos Fotográficos

<p style="text-align: center;">Fotografía 1</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 2</p> 
<p>Descripción: muestra agregado grueso para posterior tamizado.</p>	<p>Descripción: tamices para agregado grueso.</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 3</p> 	<p style="text-align: center;">Fotografía 4</p> 
<p>Descripción: toma de peso de agregado retenido en él tamiz.</p>	<p>Descripción: toma de peso de agregado retenido en el tamiz.</p>
<p style="text-align: center;">Fotografía 5</p>	<p style="text-align: center;">Fotografía 6</p>



Descripción: tamizado de agregado fino.

Fotografía 7



Descripción: toma de peso de agregado fino retenido en los tamices circulares.

Fotografía 8



Descripción: ensayo de densidad compactada del agregado fino.

Fotografía 9



Descripción: enrasado y listo para pesar en la balanza mecánica.

Fotografía 10



Descripción: toma del peso del cilindro más la arena compactada.

Fotografía 11



Descripción: ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla

Fotografía 12



Descripción: toma del peso del ensayo de densidad aparente compactada de la mezcla.

Fotografía 13







Descripción: ensayos de la densidad del cemento.

Fotografía 14



<p>Descripción: recipiente con vidrio granular listo para la dosificación.</p>	<p>Descripción: equipos que se ocuparon en la dosificación de los cilindros de hormigón más vidrio granular.</p>
<p align="center">Fotografía 15</p>	<p align="center">Fotografía 16</p>
	
<p>Descripción: colocación de los agregados dentro de la mezcladora eléctrica.</p>	<p>Descripción: colocación de vidrio granular en la mezcla de hormigón fresco.</p>
<p align="center">Fotografía 17</p>	<p align="center">Fotografía 18</p>
	
<p>Descripción: vidrio granular listo para mezclar.</p>	<p>Descripción: medición del asentamiento con el Cono de Abrams.</p>
<p align="center">Fotografía 19</p>	<p align="center">Fotografía 20</p>
	

<p>Descripción: varillado del hormigón dentro del molde.</p>	<p>Descripción: eliminación de burbujas por medio del martillo de goma.</p>
<p>Fotografía 21</p>	<p>Fotografía 22</p>
	
<p>Descripción: pesaje de molde de hormigón fresco más vidrio granular.</p>	<p>Descripción: pesaje de molde de hormigón fresco sin vidrio granular.</p>
<p>Fotografía 23</p>	<p>Fotografía 24</p>
	
<p>Descripción: cilindros de hormigón fresco para 7 días de curado.</p>	<p>Descripción: cilindros de hormigón fresco para 14 días de curado.</p>
<p>Fotografía 25</p>	<p>Fotografía 26</p>



Descripción: cilindros de hormigón fresco para 28 días de curado.

Fotografía 27



Descripción: pesaje cilindros con hormigón fraguado antes de desmoldar.

Fotografía 28







Descripción: pesaje de cilindro de hormigón sin molde.

Fotografía 29



Descripción: colocación de especímenes de hormigón fraguado dentro de la cámara de curado.

Fotografía 30

	
<p>Descripción: medición de cilindros de hormigón.</p>	<p>Descripción: colocación del espécimen en la máquina para el ensayo a compresión.</p>
<p>Fotografía 31</p>	<p>Fotografía 32</p>
	
<p>Descripción: ensayo a compresión de cilindros de hormigón más vidrio granular.</p>	<p>Descripción: ruptura d especímenes de hormigón más vidrio granular.</p>
<p>Fotografía 33</p>	<p>Fotografía 34</p>



Descripción: restos del cilindro ensayado.

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Unidad	Unidad
Parametro	Calc. al Empezar	Calc. al Empezar	Calc. al Empezar	Calc. al Empezar
Acep/Rech.				
Unidad	kN	MPa		
Imprimir				
1 1	165	9.34		31.5400
1 1	162	9.17		30.9400
1 1	146	8.26		22.2700
1 1				
Media	157.6667	9.923333		25.7834
Desviacion Estandar	10.2144	0.58072		2.17893
Rango	19.0000	1.08000		3.67000

Descripción: obtención de datos de la computadora de la máquina a compresión.