

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

COMPARACIÓN DE HORMIGONES ELABORADOS CON DOSIFICACIÓN DE 210 kg/cm^2 CON Y SIN ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

ESTUDIANTE:

GENESIS JANETH FREIRE HERRERA

TUTOR:

ING. MYRIAM MARISOL BAYAS ALTAMIRANO, MG.

Ambato – Ecuador

Febrero /2025

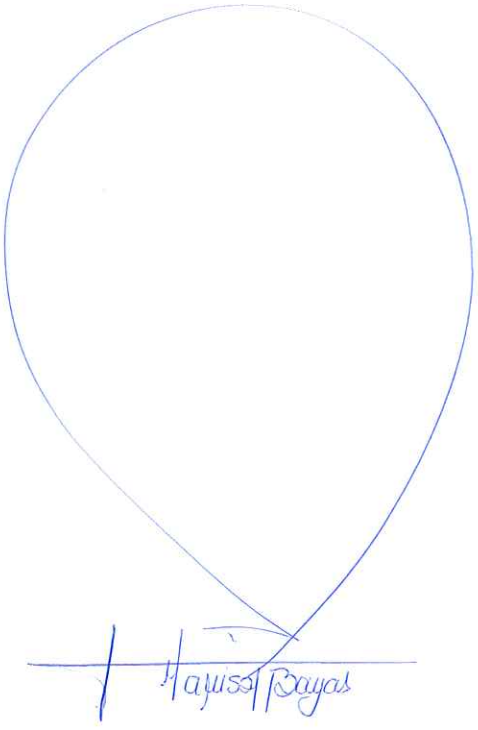
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"COMPARACIÓN DE HORMIGONES ELABORADOS CON DOSIFICACIÓN DE 210 kg/cm^2 CON Y SIN ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO"**, elaborado por la estudiante Genesis Janeth Freire Herrera, portadora de la cédula de ciudadanía número 0504440983, 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, febrero 2025



.....

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Genesis Janeth Freire Herrera,** con C.I. 0504440983 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"COMPARACIÓN DE HORMIGONES ELABORADOS CON DOSIFICACIÓN DE 210 kg/cm^2 CON Y SIN ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Genesis Janeth Freire Herrera

C.I. 0504440983

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, febrero 2025



.....

Freire Herrera Genesis Janeth

C.I. 0504440983

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Genesis Janeth Freire Herrera,** de la carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"COMPARACIÓN DE HORMIGONES ELABORADOS CON DOSIFICACIÓN DE 210 kg/cm^2 CON Y SIN ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO"**.

Ambato, febrero, 2025

Para constancia firman:

.....

Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

.....

Ing. Danny Germán Muyulema Muyulema, Mg.

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Hace cinco años, una joven emprendió un nuevo sueño, sin muchas expectativas de lo que vendría, pero jamás imaginó que, gracias a esa iniciativa, hoy se sentiría una mujer realizada y capaz.

Esta dedicatoria la ofrezco primero a Dios y a mi Virgencita del Quinche quienes me han brindado salud, vida y sabiduría para alcanzar una de mis metas de vida. A mis padres cuyo apoyo y cariño hizo posible este triunfo; a mi esposo, por su apoyo, amor y comprensión durante el transcurso de mi carrera profesional; a mi hija, que siempre ha sido y será mi motor para seguir adelante, incluso en lo que parece imposible; y a mis abuelitos, que me alentaron a perseguir mis sueños sin descanso.

Genesis Janeth Freire Herrera

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi Virgencita del Quinche, por permitirme un día más de vida y gozar de buena salud y sabiduría para poder escribir esta dedicatoria. Agradezco, por cada una de las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida estudiantil y por haberme dado la fortaleza para saber sobrellevar cada uno de los desafíos que se han presentado a lo largo de esta.

Agradezco a mis padres, Juan Freire y Janeth Herrera, que han sido mis pilares para poder formar la persona que soy hoy en día y que sin su esfuerzo y tenacidad no hubiera sido posible este triunfo.

Jonathan, mi amor, gracias por ser mi compañero inseparable en este viaje. Desde el primer día de clases hasta hoy, cuando con orgullo puedo decir que soy ingeniera. Te agradezco por tu compañía, durante las noches de desvelo, por las tazas de café que me reconfortaban el alma cuando parecía no poder más, por las palabras de aliento que siempre me impartiste cuando parecía que todo iba mal. Gracias por permitirme compartir contigo cada sueño, cada logro, cada sacrificio, por creer en mí siempre y por hacerme sentir capaz de conquistar el mundo.

Annethsita, mijita, recuerdo cuando te conocí por primera vez, me sentía asustada pero muy feliz de conocerte, en ese momento no maximicé todo lo que tenía que hacer para sacarte adelante, pero el tiempo me hizo entender que yo tenía que ser lo mejor para ti. Desde, que empecé la carrera mi mayor anhelo fue que te sintieras orgullosa de mí y que siempre tuvieras una mamá presente en tu vida. Mi Anneth, yo sé que el camino fue un poco tenaz con nosotras, pero desde hace siete años, hemos perseverado para poder llegar hasta aquí y poder agradecerte cada meta alcanzada. Tú siempre fuiste mi sueño y cuando naciste, lo hiciste realidad, también soñaba con tener una profesión, aunque no estaba segura de lo que iba a estudiar, pero con tus sonrisas y tus ocurrencias, me ayudaste a lograrlo. Las palabras me faltarían para darte las gracias, pero llévate siempre que te voy a vivir agradecida toda la vida. ¡Lo logramos juntas y te aseguro, mi vida, que esto es solo el principio de una hermosa aventura! Por ti, Annethsita.

Agradezco a mis hermanas, Daniela Freire y Micaela Freire, por desearme lo mejor durante el trascurso de la carrera, jamás olviden que siempre estaré aquí para ustedes.

Agradezco a mis abuelitos, Papi Segundo, Mami Loli, Papi Mario y Mami Fabi, que han estado al pendiente de mí siempre, les agradezco por sus palabras de aliento, por su preocupación cuando viajaba a Ambato, por tenerme en sus oraciones y por siempre desearme lo mejor durante la carrera.

Agradezco a mi tutora, Ing. Marisol Bayas, Mg, por su invaluable guía y apoyo durante la elaboración de mi tesis. Su paciencia infinita y su capacidad para transmitir conocimientos de forma clara y concisa me permitieron comprender los conceptos más complejos. Gracias a su guía, pude desarrollar un trabajo de investigación sólido y original.

Genesis Janeth Freire Herrera

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO ix
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiv
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xv
RESUMEN EJECUTIVO xvi
ABSTRACT xviii
CAPITULO I. - MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 3
III. OBJETIVOS 7
A. OBJETIVO GENERAL 7
B. OBJETIVOS ESPECIFÍCOS 7
CAPITULO II. – METODOLOGÍA 8
I. EQUIPOS Y MATERIALES 8
II. MÉTODOS 9
A. FASE I 9
B. FASE II 12
C. FASE III 24
CAPITULO III. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 25
A. FASE I 25
B. FASE II 26
C. FASE III 47
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 53
A. HIPÓTESIS 53

B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 53
CAPITULO IV. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54
I. CONCLUSIONES 54
II. RECOMENDACIONES 56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
ANEXOS 61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Recolección de muestras 10
Fig. 2. Secado de muestras 10
Fig. 3.Molienda de muestras 11
Fig. 4. Calcinación de muestras en horno a gas a 250° C 11
Fig. 5. Obtención de ceniza de cáscara de huevo 11
Fig. 6. Contenido de humedad 12
Fig. 7. Densidad Suelta de Agregados 13
Fig. 8. Densidad compactada de agregados 14
Fig. 9. Densidad aparente compactada de la mezcla 14
Fig. 10. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 15
Fig. 11. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 16
Fig. 12. Densidad real del cemento 17
Fig. 13. Granulometría de agregado fino 18
Fig. 14. Granulometría de agregado grueso 19
Fig. 15. Elaboración de probetas de hormigón 23
Fig. 16. Curado de probetas de hormigón 23
Fig. 17 Curado de probetas en plástico 23
Fig. 18. Resistencia a compresión en probetas cilíndricas de hormigón 24
Fig. 19 Porcentaje óptimo vs. Densidad aparente de la Mezcla 29
Fig. 20. Curva granulométrica de agregado grueso "Mina Mollepamba" 36
Fig. 21. Curva granulométrica de agregado grueso "Mina Alvarado Ortiz" 37
Fig. 22. Curva granulométrica de agregado fino "Mina Alvarado Ortiz" 38
Fig. 23 Densidad promedio de probetas de hormigón (Estado Fresco) 43
Fig. 24. Densidad promedio de probetas de hormigón (Estado Endurecido) 44
Fig. 25 Resistencia a compresión promedio a los 7 días 47
Fig. 26 Resistencia a compresión (7 días) 48
Fig. 27 Resistencia a compresión promedio a los 14 días 49
Fig. 28 Resistencia a compresión promedio a los (14 días) 49
Fig. 29 Resistencia a compresión promedio a los 28 días 50
Fig. 30 Resistencia a compresión (28 días) 51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I
LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PARA AGREGADO FINO (2002)[34] 18
TABLA II.
REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA ÁRIDOS GRUESOS (2002) [35] 19
TABLA III.
NOMENCLATURA UTILIZADA POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓTPIMA (2021)[36] 20
TABLA IV.
RELACIÓN AGUA/CEMENTO (2021)[36] 20
TABLA V.
CANTIDAD DE PASTA EN FUNCIÓN DE ASENTAMIENTO (2021) [36] 21
TABLA VI.
NÚMERO DE MUESTRAS (2010) [37] 22
TABLA VII.
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO ... 26
TABLA VIII.
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO 27
TABLA IX.
COMPARACIÓN DE DENSIDADES SUELTAS Y COMPACTADAS CALCULADAS CORRESPONDIENTES AL AGREGADO GRUESO 28
TABLA X.
DENSIDADES APARENTES CALCULADAS CORRESPONDIENTES AL AGREGADO FINO 29
TABLA XI.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO 31
TABLA XII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO 33
TABLA XIII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO 35
TABLA XIV.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM^2 . 39
TABLA XV.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM2 CON CORRECCIÓN DE HUMEDAD 40
TABLA XVI.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (5 %) 41
TABLA XVII.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (15 %) 41
TABLA XVIII.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (30 %) 42

TABLA XIX.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (7 DÍAS) 45
TABLA XX.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (14 DÍAS) 46
TABLA XXI.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (28 DÍAS) 46
TABLA XXII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA 62
TABLA XXIII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA 63
TABLA XXIV.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO_ MINA ALVARADO ORTIZ 64
TABLA XXV.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO_ MINA ALVARADO ORTIZ 65
TABLA XXVI.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO_ MINA ALVARADO ORTIZ 66
TABLA XXVII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO_ MINA ALVARADO ORTIZ 67
TABLA XXVIII.
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA 68
TABLA XXIX.
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS 69
TABLA XXX.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA 70
TABLA XXXI.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO _ MINA ALVARADO ORTIZ 71
TABLA XXXII.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO _ MINA ALVARADO ORTIZ 72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo. 1 Recolección de cáscaras de huevo 73
Anexo. 2 Secado de cáscaras de huevo 73
Anexo. 3 Molienda de cáscaras de huevo 73
Anexo. 4 Calcinación del polvo de cáscara de huevo 73
Anexo. 5 Obtención de la ceniza de cáscara de huevo 73
Anexo. 6 Pesaje de los agregados para obtención de contenido de humedad en agregados ... 74
Anexo. 7 Ensayo de contenido de humedad 74
Anexo. 8 Preparación de muestras (agregado grueso) 74
Anexo. 9 Preparación de muestra (agregado fino) 74
Anexo. 10 Obtención de la densidad compactada a partir del método de varillado 74
Anexo. 11 Obtención de densidad suelta a partir del método de paladas 74
Anexo. 12 Obtención de la densidad compactada de la mezcla 75
Anexo. 13 Obtención de la densidad compactada de la mezcla 75
Anexo. 14 Obtención de estado SSS para agregado grueso 75
Anexo. 15 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado grueso 75
Anexo. 16 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado grueso 75
Anexo. 17 Obtención de estado SSS en agregado fino 76
Anexo. 18 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado fino 76
Anexo. 19 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado fino 76
Anexo. 20 Obtención de la densidad real del cemento 76
Anexo. 21 Obtención de la granulometría para agregado grueso 76
Anexo. 22 Obtención de granulometría para agregado grueso 77
Anexo. 23 Elaboración de hormigón 77
Anexo. 24 Colocación del hormigón en una bandeja 77
Anexo. 25 Colocación del hormigón en el cono de Abrams 77
Anexo. 26 Elaboración del ensayo de asentamiento 77
Anexo. 27 Medición del asentamiento de las mezclas 77
Anexo. 28 Compactación de cilindros 78
Anexo. 29 Elaboración de probetas de hormigón 78
Anexo. 30 Desencofrado de probetas de hormigón 78
Anexo. 31 Curado de probetas de hormigón 78
Anexo. 32 Curado de probetas de hormigón en plástico 79
Anexo. 33 Ensayo de resistencia a compresión 79
Anexo. 34 Desalojo de desperdicios 79

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

A	Cantidad de arena
C	Cantidad de cemento
CAA	Capacidad de absorción de la arena
CaCO3	Sal de calcio del ácido carbónico
CaO	Óxido de calcio
CAR	Capacidad de absorción del ripio
CCA	Ceniza de Concha de abanico
CCAZ	Ceniza de cascarilla de arroz
CCH	Ceniza de cáscara de huevo
CO_2	Dióxido de carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CP	Cantidad de pasta
CP (%)	Cantidad de pasta (%)
DOM	Densidad óptima de la Mezcla
DRA	Densidad real de la Arena
DRC	Densidad real del Cemento
DRM	Densidad real de la Mezcla
DRR	Densidad real del Ripio
DSA	Densidad aparente suelta de la arena
DSR	Densidad aparente suelta del ripio
MFA	Módulo de finura de la arena
NO_x	Óxidos de nitrógeno
ONU	Organización de las Naciones Unidas
POA	Porcentaje óptimo de Arena
POR	Porcentaje óptimo de Ripio
POV	Porcentaje óptimo de Vacíos
R	Cantidad de Ripio
SO_2	Dióxido de Azufre
SSS	Estado saturado superficialmente seco
W	Cantidad de agua
W/C	Relación agua/cemento

RESUMEN EJECUTIVO

Los residuos agroindustriales hoy en día, son una problemática mundial, debido a la gran cantidad de residuos que se generan y su mala disposición final. El siguiente trabajo experimental, trató sobre la elaboración de hormigones con una dosificación de 210 kilogramos sobre centímetro cuadrado, con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo.

Para ello, se recolectaron cáscaras de huevo durante un mes, las cuales fueron secadas, molidas y calcinadas. Una vez obtenida la ceniza, se procedió a la caracterización detallada de todos los materiales involucrados en la dosificación por medio del Método de Densidad Óptima, incluyendo el contenido de humedad, densidad, granulometría y absorción. Con esta información, se diseñaron mezclas de hormigón con diferentes porcentajes de sustitución de agregado fino por ceniza de cáscara de huevo (5, 15 y 30 por ciento).

Una vez realizados los ensayos de resistencia a compresión, revelaron un comportamiento diferenciado según la edad de curado y la proporción incorporada de ceniza de cáscara de huevo. Inicialmente, a los 7 días, se constató un incremento del 5.23 por ciento en la resistencia a compresión con una sustitución de agregado fino por ceniza del 5 por ciento, lo que sugiere que una baja concentración de este material puede potenciar el desarrollo temprano de la resistencia del hormigón. Sin embargo, las formulaciones con mayores adiciones de ceniza (15 y 30 por ciento) no exhibieron esta mejora inicial, mostrando una disminución del 13.81 y 22.82 por ciento, respectivamente. Posteriormente, a los 14 días, las muestras con adiciones del 5 y 30 por ciento experimentaron una reducción del 12.03 y 20.99 por ciento en la resistencia en comparación con la muestra patrón. En contraste, las probetas con una inclusión del 15 por ciento no manifestaron una declinación significativa, manteniéndose dentro del rango objetivo para un hormigón de 210 kilogramos sobre centímetro cuadrado. Finalmente, el ensayo de resistencia a compresión aplicado a los 28 días de edad, reveló que las probetas con una sustitución del 15 por ciento presentaron un notable aumento del 13.96 por ciento en la resistencia en comparación con la muestra patrón. En contraste, las probetas con una sustitución del 5 por ciento mostraron una resistencia que se mantuvo dentro del rango objetivo, indicando que esta proporción no afecta negativamente la resistencia, aunque tampoco genera un aumento significativo. Sin embargo, la sustitución del 30 por ciento resultó contraproducente, evidenciándose una disminución del 24. 58 por ciento en la resistencia.

Estos resultados demuestran el potencial de la ceniza de cáscara de huevo como sustituto parcial para mejorar las propiedades del hormigón además impulsan a continuar investigando y promoviendo prácticas eco – sostenibles en la industria de la construcción.

Palabras clave: residuos agroindustriales, cáscara de huevo, probetas de hormigón, resistencia a compresión, sostenibilidad

ABSTRACT

Agro-industrial waste is a worldwide problem today due to the large amount of waste generated and its poor final disposal. The following experimental work dealt with the production of concrete with a dosage of 210 kilograms per square centimeter, with and without the addition of eggshell ash.

To do this, eggshells were collected for a month, which were dried, ground and calcined. Once the ash was obtained, a detailed characterization of all the materials involved in the dosage was carried out using the Optimum Density Method, including moisture content, density, granulometry and absorption. With this information, concrete mixtures were designed with different percentages of fine aggregate replacement by eggshell ash (5, 15 and 30 percent).

Once the compressive strength tests were carried out, they revealed a differentiated behavior depending on the curing age and the proportion of eggshell ash incorporated. Initially, at 7 days, a 5.23 percent increase in compressive strength was observed with a 5 percent ash substitution, suggesting that a low concentration of this material can enhance the early development of concrete strength. However, the formulations with higher ash additions (15 and 30 percent) did not exhibit this initial improvement, showing a decrease of 13.81 and 22.82 percent, respectively. Subsequently, at 14 days, the samples with 5 and 30 percent additions experienced a 12.03 and 20.99 percent reduction in strength compared to the standard sample. In contrast, the specimens with a 15 percent inclusion did not show a significant decline, remaining within the target range for a 210 kilograms per square centimeter concrete. Finally, the compressive strength test applied at 28 days of age revealed that the specimens with a 15 percent replacement showed a notable increase of 13.96 percent in strength compared to the standard sample. In contrast, the specimens with a 5 percent replacement showed a strength that remained within the target range, indicating that this proportion does not negatively affect strength, although it does not generate a significant increase either. However, the 30 percent replacement was counterproductive, showing a 24.58 percent decrease in strength.

These results demonstrate the potential of eggshell ash as a partial substitute to improve the properties of concrete and encourage continued research and promotion of eco-sustainable practices in the construction industry.

Keywords: agro-industrial waste, eggshell, concrete specimens, compressive strength, sustainability

CAPITULO I. - MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

La economía de un país está intrínsecamente ligada a la infraestructura existente. Sin embargo, esta interdependencia no es suficiente para abordar de manera efectiva el impacto ambiental que conlleva. La creciente demanda de infraestructura impulsa la producción de hormigón, lo que a su vez incrementa las emisiones de (CO_2) derivadas de la producción de cemento [1]. A pesar de esto el cemento portland, es uno de los componentes altamente cotizados dentro de la industria de la construcción, debido a las propiedades que este ofrece en el medio, como durabilidad, resistencia y manejabilidad [2] . Sin embargo, su proceso de producción libera grandes cantidades de (CO_2) a la atmósfera. Esta situación se ha agravado en las últimas décadas, convirtiendo a la producción de cemento en una de las principales fuentes de emisiones antropogénicas de (CO_2) a nivel mundial [1]. Esto se pudo evidenciar en los años de 1950, cuando la producción de cemento experimentó un crecimiento de hasta treinta veces más que en años anteriores. Para 1990, esta tendencia se había cuadruplicado. Convirtiendo así a la industria cementera como el tercer mayor emisor de emisiones antropogénicas a nivel mundial [3].

Es necesario resaltar que las altas emisiones de (CO_2), son generadas por la combinación de dos de las tres principales fuentes de emisiones antropogénicas de (CO_2) a nivel mundial, como son: la descomposición de carbonatos y oxidación de combustibles fósiles [3]. Procesos que se encuentran presentes, durante la producción del Clinker, componente principal del cemento Portland; donde la descarbonatación térmica de la piedra caliza (CaCO3), libera una molécula de (CO_2) por cada molécula de (CaO) formada, y la incineración de combustibles fósiles para alcanzar la temperatura de calcinación [4].

Por otra parte, y tomando en cuenta la realidad de la producción del cemento y la importancia del hormigón en la industria de la construcción, se ha planteado el desafío de reducir la producción de emisiones de (CO_2) [5] mediante el desarrollo sostenible. En este sentido, se busca reemplazar de forma parcial el cemento en las mezclas de hormigón tradicional, con diferentes desechos industriales, como cenizas volantes y humos de sílice[6]. Además, gracias

a las propiedades puzolánicas de estos materiales poco convencionales se potencian las propiedades mecánicas del hormigón, lo que permite obtener materiales de construcción más duraderos y eficientes, al tiempo que se promueve una economía circular y se reduce el impacto ambiental de la industria [7].

Del mismo modo, la adición de residuos agroindustriales permite reducir el contenido de cemento portland a las mezclas de hormigón [8], como la ceniza de la cáscara de huevo o la ceniza de bagazo de caña de azúcar. Por tal razón, se optó por el tema del trabajo experimental, con el único objetivo de contribuir e incentivar a las prácticas eco – sostenibles en la industria de la construcción, mediante el uso de residuos agroindustriales como las cáscaras de huevo, considerando el elevado volumen de generación de cáscaras de huevos en países como India (1.61 millones de toneladas) [9] y Malacia (85000 toneladas en 2017) [10].

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El hormigón, gracias a sus excepcionales propiedades mecánicas, ha sido considerado como el material preferido por los ingenieros civiles. Su capacidad para soportar cargas elevadas, resistir el paso del tiempo y adaptarse a diversas formas y tamaños lo han convertido en el material de construcción más utilizado a nivel mundial, consolidando su posición en la industria desde hace décadas [11].

Desafortunadamente, al ser uno de los materiales más cotizados debido a sus propiedades físicas y mecánicas; la demanda de extracción de materia prima para producir cemento ha aumentado considerablemente convirtiéndose en una de las mayores fuentes de contaminación ambiental después de la incineración de combustibles fósiles y movimiento de tierras. La gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero como él (CO_2), NOx, SO $_{2,}$ cloruros y fluoruros, emisiones de COV y metales pesados que se generan durante la producción del material cementante pueden producir variaciones en el clima como afectaciones a la calidad del aire y la salud de los seres vivos [12].

Por lo tanto, se ha intensificado la investigación en materiales alternativos al cemento tradicional, con el objetivo de reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental. Esto ha permitido que, con el transcurso de los años, los proyectistas exploren materiales poco convencionales e innovadores, que cuenten con propiedades aceptables para ser ocupadas en la industria de la construcción [13]. Sin embargo, esto no justifica la búsqueda de materiales con procesos de obtención contaminantes. Por el contrario, se promueve el uso de residuos agroindustriales como materia prima alternativa, contribuyendo a la sostenibilidad del sector de la construcción[8].

Por otra parte, el modelo económico lineal, caracterizado por la extracción de recursos naturales, la fabricación de productos y su posterior descarte, ha sido el principal motor de la crisis ambiental actual. Este modelo, basado en el ciclo; “Extraer, Fabricar, Consumir, Desechar”, ha sido el principal impulsor de la acumulación de residuos y la degradación ambiental a nivel global[14]. Además, a nivel mundial, se estima que se desecha una tercera parte de los alimentos para el consumo humano, generando residuos desde su cultivo hasta su comercialización [15]. De igual forma, según datos de la ONU, se generan anualmente 11.200 millones de toneladas de residuos sólidos a nivel mundial [14], una cifra alarmante que, según

proyecciones del Banco Mundial, podría alcanzar los 3.400 millones de toneladas para 2050 si no se adoptan medidas urgentes [16].

Por estas razones, los residuos agroindustriales, a pesar de ser considerados menos peligrosos o contaminantes, pueden representar una amenaza tanto para el medio ambiente como para la salud pública, debido a su incorrecta disposición. Entre los riesgos más comunes se encuentran las altas emisiones de (CO_2), la contaminación de cuerpos de agua, la propagación de malos olores y la atracción de plagas como roedores e insectos. Además, la acumulación de estos residuos en vertederos puede liberar lixiviados contaminantes que infiltran el suelo y contaminan aguas subterráneas [15].

Por ejemplo, en la India, la inadecuada gestión de los 1.61 millones de cáscaras de huevo que se generan anualmente resulta en la liberación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, lo que exacerba los problemas de contaminación atmosférica y cambio climático [9]. Esta situación no es exclusiva de la India, ya que, en países como Malasia, se desecharon 85 000 toneladas de cáscaras de huevo en 2017 [10], mientras que en Ecuador según el Diario el Comercio y Conave, la producción del huevo ecuatoriano aumenta un 4% anualmente, permitiendo así que un habitante consuma más de 200 huevos al año, generando una gran cantidad de residuos que, en su mayoría, no son gestionados adecuadamente [17] , [18].

Por estas razones, países de Sudamérica como Colombia han considerado la posibilidad de aprovechar los desechos, buscando promover el reciclaje y desarrollar materiales de construcción sostenibles. Desafortunadamente, y a pesar de existir investigaciones que demostraron la viabilidad de utilizar residuos agroindustriales para producir materiales de construcción de alta resistencia, como hormigones, no se ha logrado avanzar a gran escala [15], [19].

Es importante destacar que un hormigón de alta resistencia, se define como aquel que supera los 40 MPa. Este tipo de hormigón, es considerado, como material de alto rendimiento. Gracias a sus propiedades mecánicas excepcionales, permite la construcción de estructuras más esbeltas y eficientes, maximizando el aprovechamiento de los espacios y ofreciendo un mayor retorno de inversión a los propietarios [19],[20].

Es por ello, que numerosos estudios han demostrado que la incorporación de residuos agroindustriales en las mezclas de hormigón, como sustituto parcial del cemento, reduce significativamente la demanda de este material y, por ende, disminuye el impacto ambiental asociado a su producción. Esta alternativa no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino

que también ofrece beneficios económicos al reducir los costos de producción[21]. Además, la industria agroalimentaria genera una gran variedad de residuos, como cáscaras de huevo, bagazo de caña de azúcar , cascarilla de arroz, que pueden ser aprovechados en la construcción. En particular, los residuos agroindustriales que surgen de la cáscara de arroz, el bagazo de caña de azúcar, son ocupados para sustituir cierto porcentaje de material cementante en la mezcla de hormigón tradicional [22].

Es necesario resaltar que las cenizas de cáscaras de huevo contienen una alta concentración de (CaO), convirtiendolas en un aditivo valioso para la producción de hormigón. Dado que este compuesto es fundamental en la formación de los compuestos cementantes y contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del hormigón [23].

En consecuencia, investigaciones han demostrado que la adición de un porcentaje entre 0.5% a 2.0% de estas cenizas pueden aumentar su resistencia a compresión hasta en un 25%[23].

Algo similar currió con Venkata. R, et al. [19], donde sus resultados reforzaron la idea de que la ceniza de cáscara de huevo puede ser un sustituto eficaz del cemento. Al reemplazar el 5% del cemento por este material, los investigadores observaron un aumento significativo en la resistencia a la compresión, alcanzando un máximo del 19,76% a los 28 días. Además, se evidenció una mejora continua en la resistencia a medida que el hormigón curaba, con un incremeneto del 21% a los 7 días. [19].

De la misma forma Aizpurúa, et al. [23] , evaluaron el potencial de las cenizas de cáscara de huevo y cascarilla de arroz , así como de polímeros , para mejorar la resistencia a compresión y ductilidad de hormigones de alta resistencia debido a su fragilidad ya que este tipo de hormigones son descartados para su uso, por ser propensos a fallar de forma abrupta. Los resultados mostraron que la proporción óptima para sustituir parcialmente el cemento por ceniza de cáscara de huevo corresponde a 1.5%. Sin embargo, la adición de cenizas de cascarilla de arroz tuvo un efecto negativo en esta propiedad. Por otro lado, el polímero utilizado no logró mejorar la adherencia con la pasta de cemento, lo que resultó en una disminución de la resistencia a compresión [23].

Por su parte, Mohd Arif [24], et al., encaminaron su investigación en determinar el porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de cáscara de huevo, evaluando la trabajabilidad de las mezclas. Los resultados indicaron que la sustitución de la ceniza de cáscara de huevo en porcentajes de 5%, 10% y 15% no afecto significativamente la trabajabilidad de la mezcla. Sin embargo, se observó que el porcentaje óptimo para obtener una mayor resistencia a la

compresión fue del 10 %, tanto a los 7 como a los 28 días de curado. Además, se noto una disminución en la trabajabilidad de la mezcla conforme se aumentaba el porcentaje de reemplazo [24].

Continuando con la línea de investigación sobre la utilización de residuos agroindustriales en la construcción, Tiong, et al. [10], enfocaron su investigación en reducir la cantidad de cáscaras de huevo, la producción del cemento portland, y promover la aplicación de hormigón celular liviano. Para ello, se reemplazo parcialmente el cemento por polvo de cáscaras de huevo en porcentajes de 0%, 2.5%, 5%,7.5% y 10%. Los resultados de este estudio demostraron que la incorporación de polvo de cáscara de huevo en el hormigón hasta un 7.5% no solo disminuye la cantidad de cemento utilizado, sino que también ofrece propiedades interesantes para aplicaciones [10].

De la misma manera, Perez y Rivera [25], buscaron evidenciar los efectos de sustituir de forma parcial el material cementante con ceniza de cáscara de huevo en las propiedades físico – mecánicas de un concreto con resistencia de 210 kg/cm^2. Es así que después de haberse desarrollado cada uno de los procesos correspondientes y bajo norma, los autores identificaron que el mejor porcentaje de sustitución de ceniza de cáscara de huevo para un hormigón de 210 kg/cm^2 de 28 días de edad es de 5%. Dando una resistencia final de 223.64 kg/cm^2 [25].

También, Hurtado y Pariona [26], realizaron su investigación con el objetivo de modificar las propiedades físicas y mecánicas del concreto mediante la adición de cenizas de cáscara de huevos y concha de abanico. Después de haberse realizado 36 probetas para ser ensayadas a compresión y 36 probetas más para ser ensayadas a tracción donde se adicionó las CCH y CCA en porcentajes de 2% CCH y 1% CCA; 4% CCH y 1,5% CCA y 6% CCH y 2.5% CCA, las autoras evidenciaron que al aumentar la adición de CCH y CCA, las propiedades del hormigón se veían afectadas de manera negativa a comparación de los porcentajes menores (2%, 1%), en donde se pudo identificar una mejora positiva en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón [26].

En base a estos antecedentes, se impulsó de forma positiva la elaboración del trabajo experimental, además de ayudar a corroborar la hipótesis planteada y verificar si la sustitución parcial del agregado fino a través de un residuo agroindustrial como la cáscara de huevo, es eficaz para aumentar la resistencia a la compresión.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Comparar la resistencia a la compresión en probetas de hormigón, elaboradas de forma tradicional con y sin ceniza de cáscara de huevo.

B. OBJETIVOS ESPECIFÍCOS

1) Recolectar y preparar el material para su posterior pulverización.

2) Elaborar probetas de hormigón tradicional con y sin ceniza de cáscara de huevo, para ser ensayadas a compresión.

3) Evaluar la efectividad de las probetas, comparando los resultados de los hormigones elaborados con y sin ceniza de cáscara de huevo.

CAPITULO II. – METODOLOGÍA

El presente trabajo experimental se centró en evaluar el efecto de la incorporación de distintos porcentajes de ceniza de cáscara de huevo como sustituto parcial del agregado fino en la resistencia a la compresión del hormigón. Para lograrlo, se implementó un diseño experimental cuantitativo que se desarrolló en tres fases sucesivas. Cada una de estas fases permitió abordar aspectos específicos de la investigación, conduciendo a una evaluación integral del efecto de este sustituto parcial.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

La Fase I, se centró en "recolectar y preparar el material para su posterior pulverización"; para ello se utilizó equipos específicos como un molino de granos ([Tramontina, 2000]) y una cocina a gas ([Indurama, 2011]). Además, los materiales empleados incluyeron las cáscaras de huevo.

Posteriormente, la Fase II, consistió en "elaborar probetas de hormigón tradicional con y sin ceniza de cáscara de huevo, para ser ensayadas a compresión". Para ello, se utilizó diversos equipos del laboratorio de la Carrera de Ingeniería Civil, como moldes, balanzas electrónicas ([SHIMADZU, TX3202L], [JADEVER, JWI-520]), horno eléctrico ([CONTROLS]), un juego de tamices (([HUMBOLDT]), una tamizadora ([CONTROLS, Automatic sieve shaker D407]), un baño de maría ([HUMBOLDT, H - 1390)], un matraz de Le Chatelier ([HUMBOLDT]), un picnómetro ([HUMBOLDT]), una canastilla metálica, una concretera ([motor BOSH, capacidad de un saco]), un cono de Abrams, una máquina a compresión ([SHIMADZU, CONCRETO 2000X]) y cilindros metálicos regulados. Además, los materiales empleados incluyeron agregados finos y gruesos extraídos de la Mina "[Alvarado Ortiz]"; seleccionados por su granulometría adecuada para el tipo de hormigón a producir, además de cemento selvalegre – Tipo IP, gasolina, las cenizas obtenidas previamente en la Fase I, y las probetas de hormigón.

Finalmente, la Fase III, se dedicó a "evaluar la efectividad de las probetas, comparando los resultados de los hormigones elaborados con y sin ceniza de cáscara de huevo", para lo cual, se utilizó una laptop ([HP Pavilion Laptop)] para desarrollar los diagramas de barras agrupadas.

Esta última fase permitió cuantificar el impacto de la incorporación de ceniza en las propiedades mecánicas del hormigón, completando así el proceso experimental.

II. MÉTODOS

Una vez descritos los objetivos, materiales y equipos utilizados en el trabajo experimental, se procedió a detallar los procedimientos realizados durante las tres fases experimentales. Empezando, con la recolección y preparación de las muestras, seguido de los ensayos aplicados a cada uno de los materiales especificados previamente y finalmente, el análisis y comparación de resultados obtenidos como se muestra a continuación:

A. FASE I

La Fase I, se centró en la preparación de la ceniza de cáscara de huevo. Para ello se empleó una combinación de métodos. Por un lado, se realizaron entrevistas con los propietarios de las panaderías (método de recolección primario); lo cual permitió establecer una relación de colaboración y garantizar el suministro continuo de materia prima. Por otro lado, se llevó a cabo una revisión bibliográfica exhaustiva (método de recolección secundario); que proporcionó los conocimientos técnicos necesarios para optimizar el proceso de secado, molienda y calcinación de las cáscaras de huevo.

1) Recolección de muestras

Una vez concertadas las entrevistas con los propietarios de las panaderías “[La Ambateñita]” que se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga entre la Av. Amazonas y C. Tilipulo, “[Dulce Manjar]”, ubicada en la ciudad de Latacunga, en la calle Panzaleo y finalmente “[Panadería Mi Vecina]”, ubicada en la ciudad de Saquisilí, entre la Simón Bolívar y Barrenos, se logró asegurar la colaboración de estos establecimientos para la recolección de cáscaras de huevo. Como resultado de estas conversaciones, se inició la recolección en el mes de septiembre.



Fig. 1. Recolección de muestras

2) Secado de muestras

Finalizada la recolección de muestras en cada uno de los establecimientos, y a partir de la revisión de registros existentes para determinar el adecuado procesamiento de la materia prima, se optó primeramente por un secado de 72 horas al sol [23] .Este proceso tuvo como objetivo reducir significativamente la humedad contenida en las cáscaras de huevo, optimizando las condiciones para su posterior molienda.



Fig. 2. Secado de muestras

3) Molienda de muestras

Una vez culminado el proceso de secado, las cáscaras de huevo fueron trituradas mediante un molino de granos, obteniendo un polvo fino y homogéneo, con las características ideales para su incorporación a la mezcla de hormigón[23]



Fig. 3.Molienda de muestras

4) Calcinación de muestras

Posterior a la molienda, el polvo de cáscara de huevo fue sometido a un tratamiento térmico en un horno de gas a 250°C durante un período de 4 horas [23]. Este proceso de calcinación tuvo como resultado la obtención de la ceniza, la cual fue incorporada a la mezcla de hormigón.



Fig. 4. Calcinación de muestras en horno a gas a 250° C



Fig. 5. Obtención de ceniza de cáscara de huevo

B. FASE II

Una vez concluida la Fase I, se inició la etapa del diseñó y elaboración de probetas de hormigón. Esta fase se basó en una combinación de métodos. Comenzando, con la revisión bibliográfica de normas técnicas (método de recolección secundario) y experimentación (método de recolección primario). La revisión bibliográfica permitió la selección y ejecución de una serie de ensayos normalizados, basados en las normas técnicas NTE INEN, ASTM y NEC, mientras que la experimentación permitió la adición de cenizas de cáscaras de huevo al hormigón, con el fin de cumplir el objetivo dispuesto en esta fase.

1) Contenido De Humedad – NTE INEN 862

La determinación del contenido de humedad en los agregados es esencial para garantizar la trabajabilidad y resistencia del hormigón. Es así, que conforme a la norma NTE INEN 862, se pesó una muestra de agregado grueso y fino en estado natural para posteriormente secarlas en horno a una temperatura constante (110°C ± 5), con el fin de eliminar el agua contenida superficialmente y la que se encuentra en los poros de los agregados[27].



Fig. 6. Contenido de humedad

2) Densidad Aparente Suelta y Densidad Compactada – NTE INEN 858 / ASTM C – 29

Densidad Aparente Suelta

La densidad aparente suelta, que representa la masa por unidad de volumen de un agregado suelto, es un parámetro fundamental en el diseño de mezclas de hormigón. Para determinar este valor, se siguió el ensayo descrito en la norma NTE INEN 858. El ensayo consistió en llenar un molde de volumen conocido con el agregado, utilizando el método de paladas. Una vez eliminado el exceso, se pesó el conjunto y se calculó la densidad aparente dividiendo la masa del agregado entre el volumen del molde [28].



Fig. 7. Densidad Suelta de Agregados

Además, según la norma NTE INEN 694, para que un agregado clasifique como árido de densidad normal, su peso volumétrico debe encontrarse entre 1.120 g/cm^3 y 1.920 g/cm^3 [29].

Densidad Aparente Compactada

La densidad aparente compactada es un parámetro que indica la masa por unidad de volumen de un agregado cuando se somete a una compactación controlada. Para determinar este valor, se siguió el método de compactación por varillado, conforme a la norma NTE INEN 858. El procedimiento consistió en llenar un molde de volumen conocido con el agregado, compactando el material en tres capas mediante 25 golpes de varilla por cada capa. Una vez lleno y compactado el molde, se pesó el conjunto y se calculó la densidad aparente compactada restando la masa del molde vacío y dividiendo el resultando entre el volumen del molde[28].



Fig. 8. Densidad compactada de agregados

Además, según la norma NTE INEN 694 para que un agregado clasifique como árido de densidad normal, su peso volumétrico debe encontrarse entre 1.120 g/cm^3 y 1.920 g/cm^3[29].

3) Densidad Aparente Compactada de la Mezcla – NTE INEN 858 / ASTM C – 29

La densidad aparente compactada de la mezcla se realizó en conformidad con la norma NTE INEN 858. Para ello, se prepararon varias mezclas con un porcentaje de agregado grueso conocido y el complemento de arena. Las cuales fueron compactadas en un molde cilíndrico de dimensiones conocidas mediante 25 golpes de varilla.

Además, la densidad aparente compactada se determinó para cada mezcla, como el cociente entre la masa de la muestra compactada y el volumen del molde [28].



Fig. 9. Densidad aparente compactada de la mezcla

4) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso – NTE INEN 857 / ASTM C – 127

De acuerdo con la norma NTE INEN 857, para determinar la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la capacidad de absorción del agregado grueso. Se sumergió al agregado grueso en agua por un período de 24 ± 4 horas. Después de haberse culminado el tiempo establecido por la norma, se procedió a secar la muestra superficialmente con un pañuelo absorbente, con el fin de alcanzar el estado (SSS) en la muestra[30].

Una vez listo el material para ensayar, se determinó el volumen de la muestra ocupando el método de desplazamiento de agua, acto seguido la muestra ensayada se secó en el horno, para tomar nuevamente su masa. [30].

Además, vale la pena señalar, que la densidad real se calculó como la relación entre la masa saturada de superficie seca y el volumen[30].

Mientras que la capacidad de absorción se obtuvo como el porcentaje de agua retenida respecto a la masa seca [30].

Es importante recalcar que el porcentaje de absorción del agregado grueso debe situarse dentro de 0,20% a 4,00 % [31].

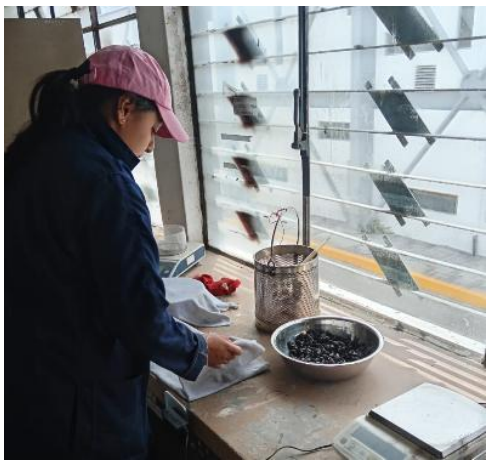


Fig. 10. Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

5) Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino – NTE INEN 856 / ASTM C – 128

De acuerdo con la norma NTE INEN 856, se determinó la densidad real y capacidad de absorción del agregado fino. Para ello, se saturó una muestra seca en agua durante 24 ± 4 horas. Luego de este período, se eliminó el exceso de agua y se llevó la muestra al estado de saturación superficial (SSS) mediante el ensayo de humedad superficial. Posteriormente, se pesó la muestra y se calculó su volumen empleando el método gravimétrico (picnómetro) [31].

Además, para calcular la capacidad de absorción, se utilizó una porción de la muestra en estado (SSS), la cual se secó en horno hasta alcanzar una masa constante [31].

Es importante recalcar que el porcentaje de absorción del agregado fino debe situarse dentro de 0,20% a 2,00 % [31].



Fig. 11. Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

6) Densidad Real del Cemento – NTE INEN 156 / ASTM C – 188

La densidad real del cemento es una propiedad física fundamental, que se determina experimentalmente a través de la norma NTE INEN 156. Para ello, se ocupó el método del frasco de Le Chatelier. Esta técnica consiste en introducir una muestra de cemento de masa conocida en un frasco de Le Chatelier que contiene líquido no reactivo (gasolina), ocasionando que el cemento desplace un volumen de líquido equivalente a su propio volumen.

Para calcular la densidad, se dividió la masa de la muestra entre el volumen de líquido desplazado [32].



Fig. 12. Densidad real del cemento

7) Granulometría – NTE INEN 696 – 872 / ASTM C136

El análisis granulométrico se lo realizó en base a la norma NTE INEN 696. Este análisis consiste en separar una muestra de suelo convenientemente seleccionada en grupos de partículas que tienen el mismo rango de tamaños a partir de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Los resultados obtenidos permitieron determinar la graduación de los agregados, así como el cumplimiento de los requisitos granulométricos establecidos bajo las especificaciones aplicables[33].

Agregado Fino

La calidad de la arena, es un factor determinante en las propiedades del hormigón. Según normativa, para ser considerada como óptima debe cumplir con los siguientes requerimientos granulométricos [34]:

TABLA I

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PARA AGREGADO FINO (2002)[34]

Tamiz NTE INEN	Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa
9,5 mm	3/8”	100
4,75 mm	#4	95 a 100
2,36 mm	#8	80 a 100
1,18 mm	#16	50 a 85
600 µm	#30	25 a 60
300 µm	#50	5 a 30
150 µm	#100	0 a 10
75 µm	#200	0a 3,0

Adicionalmente, el módulo de finura del agregado debe encontrarse dentro del rango de 2,3 a 3,1. Este índice, que representa una medida de la granulometría del agregado, se calcula dividiendo entre 100 la sumatoria de los porcentajes retenidos en los tamices superiores al #100.

Estos requisitos garantizan que la arena proporcione una buena cohesión al hormigón, una adecuada trabajabilidad y una buena resistencia a largo plazo.



Fig. 13. Granulometría de agregado fino

Agregado Grueso

La calidad del ripio, es un factor fundamental para garantizar la durabilidad y resistencia de las estructuras construidas. Según normativa, para ser considerado como un agregado óptimo debe cumplir con los siguientes requerimientos granulométricos[34]:

TABLA II.
REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA ÁRIDOS GRUESOS (2002) [35]

Tamiz NTE INEN	Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa
50,80 mm	2”	-
38,10 mm	1 ½”	100
25,40 mm	1”	90 a 100
19,05 mm	¾”	20 a 55
12,70 mm	½”	0 a 15
9,53 mm	3/8”	0 a 5
4,75 mm	#4	-



Fig. 14. Granulometría de agregado grueso

8) Dosificación

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos preliminares, se procedió con la dosificación del hormigón, utilizando el Método de la Densidad Óptima de la Universidad Central del Ecuador. Este método, basado en la relación agua – cemento, permite determinar la proporción de agua y cemento que garantiza las propiedades mecánicas y durabilidad requeridas para el hormigón.

Es así, que, para dar inicio a la dosificación, se presenta a continuación una tabla donde se encuentra contenida la nomenclatura utilizada por el Método de la Densidad Óptima.

TABLA III.

NOMENCLATURA UTILIZADA POR EL MÉTODO DE LA DENSIDAD ÓTPIMA (2021)[36]

DRC	Densidad real del Cemento
DRA	Densidad real de la Arena
DRR	Densidad real del Ripio
DSA	Densidad aparente suelta de la Arena
DSR	Densidad aparente suelta del Ripio
POA	Porcentaje óptimo de la Arena
POR	Porcentaje óptimo del Ripio
MFA	Módulo de finura de la Arena
DOM	Densidad óptima de la Mezcla
DRM	Densidad real de la Mezcla
CP (%)	Cantidad de pasta (%)
W/C	Relación agua/cemento
POV	Porcentaje óptimo de Vacíos
CP	Cantidad de pasta
C	Cantidad de cemento
W	Cantidad de agua
A	Cantidad de Arena
R	Cantidad de Ripio
CAA	Capacidad de absorción de la Arena
CAR	Capacidad de absorción del Ripio

Una vez conocida la nomenclatura, se seleccionó la relación agua/cemento en función de la resistencia a la compresión de la muestra patrón, en la siguiente tabla:

TABLA IV.

RELACIÓN AGUA/CEMENTO (2021)[36]

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS EN MPA (F'C)	**RELACIÓN AGUA/CEMENTO (W/C)**
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52

25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

A partir de la relación agua / cemento seleccionado, se realizó un análisis detallado de la mezcla. Empezando con el calculó de la densidad real (indica la compacidad de la mezcla) y el porcentaje óptimo de vacíos (ayuda a determinar la cantidad de pasta requerida para lograr una cohesión adecuada). Estos cálculos, junto con el ensayo de asentamiento, permitió ajustar la dosificación de la mezcla para obtener las propiedades mecánicas deseadas.

TABLA V.

CANTIDAD DE PASTA EN FUNCIÓN DE ASENTAMIENTO (2021) [36]

Asentamiento (cm)	**Cantidad de Pasta (%)**
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)

Una vez determinada la cantidad de pasta requerida, se procedió a calcular la dosificación a peso de cada componente (cemento, agua y agregados) para obtener un metro cúbico de hormigón.

Por otra parte, para las dosificaciones de las mezclas con ceniza de 5%, 15% y 30% se realizó el calculó de la cantidad exacta de ceniza de cáscara de huevo que sería adicionada parcialmente a la mezcla.

9) Corrección de humedad

Ya determinadas las dosificaciones a peso de cada mezcla, se procedió a ajustar su humedad, debido al estado SSS en el que se encontraban los agregados al momento de ser ensayados. Para llevar a cabo este ajuste, se empleó la norma NTE INEN 862[27].

10) Elaboración y curado para especímenes de hormigón – NTE INEN 1576

Ya, ajustadas las dosificaciones y previo a la elaboración de las probetas de hormigón. Se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para determinar el número de muestras de hormigón a utilizar. Como resultado, se optó por seguir indicaciones de la norma NEC – SE – HM. Hormigón Armado, la cual establece que se requieren al menos el promedio de dos probetas para realizar los ensayos de resistencia y la aceptación del hormigón [37].

TABLA VI.

NÚMERO DE MUESTRAS (2010) [37]

Tipo		**Días de curado**		
		7 días	**14 días**	**28 días**
Hormigón tradicional	**Número de probetas**	3	3	3
Hormigón CCH 5%		3	3	3
Hormigón CCH 15%		3	3	3
Hormigón CCH 30%		3	3	3
Número de muestras		12	12	12
		36		

Después de haberse determinado la cantidad total de muestras a realizarse en este trabajo experimental, se elaboraron y curaron las probetas de hormigón de acuerdo con la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1576[38].

Para ello, se elaboró los cilindros de hormigón de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, dimensionados en función al tamaño nominal máximo del agregado grueso[38].

Además, tras un proceso de compactación y curado controlado, se realizó ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días de edad del hormigón para evaluar la resistencia del hormigón[38].



Fig. 15. Elaboración de probetas de hormigón



Fig. 16. Curado de probetas de hormigón



Fig. 17 Curado de probetas en plástico

11) Resistencia a la compresión - NTE INE 1573

Para determinar la resistencia a compresión de las probetas, se realizaron ensayos de compresión uniaxial a los 7, 14 y 28 días de edad. Donde, aplicando una carga axial creciente, se registró la carga máxima que cada probeta pudo soportar antes de fallar [39].

Vale la pena señalar, que la resistencia a compresión se calculó como el cociente entre la carga máxima y el área de la sección transversal del espécimen[39].



Fig. 18. Resistencia a compresión en probetas cilíndricas de hormigón

C. FASE III

Finalizada la Fase II, se dio inicio a la Fase III, cuyo objetivo principal fue evaluar el impacto de la adición de ceniza de cáscara de huevo en la resistencia a compresión del hormigón. Para ello, se realizaron ensayos de compresión y se analizaron los resultados mediante diagramas de barras agrupadas. Estos diagramas permitieron evaluar el comportamiento del material además de permitir verificar la hipótesis planteada.

1) Comparación de datos

Una vez ya finalizados los ensayos de compresión, se procedió a organizar los datos obtenidos en diagramas de barras agrupados. Estos gráficos permitieron visualizar de manera

clara la resistencia a compresión alcanzada por cada probeta, considerando las diferentes proporciones de ceniza de cáscara de huevo.

Además, al comparar estos resultados con los de la muestra patrón, se pudo evaluar el efecto de la sustitución parcial del agregado fino por la ceniza, en las propiedades mecánicas del hormigón.

CAPITULO III. – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concluida la fase metodológica, se llegó al corazón de la investigación: el capítulo III, donde se presentó y analizó el conjunto de resultados obtenidos, lo que permitió dar respuesta a la pregunta de investigación principal.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior se presentan y analizan a continuación, siguiendo la misma estructura, con el fin de establecer una conexión clara entre el diseño de la investigación y los hallazgos obtenidos.

A. FASE I

En la Fase I, se recolectaron durante un mes cáscaras de huevo de tres panaderías, obteniendo como resultado 47 kg de ceniza tras su incineración controlada. Estos datos preliminares sugieren un gran potencial para el aprovechamiento de este subproducto en nuestro país, considerando que la producción nacional de huevos supera los 10.4 millones diarios, según cifras de CONAVE en el año 2022[40].

B. FASE II

Continuando con la Fase II, la cual se caracterizó por una serie de ensayos; generó una amplia gama de resultados que permitieron cumplir satisfactoriamente con el segundo objetivo del trabajo experimental.

1) Contenido de humedad

TABLA VII.
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

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

'Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

CONTENIDO DE HÚMEDAD

Origen:	Mina "Alvarado Ortiz"
Fecha:	miércoles, 6 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Norma:	NTE INEN 862:2011

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Datos	Denominación	Unidad	Agregado grueso	
W1	Masa del recipiente	gr	32,5	32,4
W2	Masa recipiente + muestra	gr	192,5	267,5
W3	Masa recipiente + muestra seca	gr	191,4	233,2
Ww=W2-W3	Masa del agua	gr	1,1	34,3
Ws=W3-W1	Masa de la muestra seca o	gr	158,9	200,8
C.H.=(Ww/Ws)*100	Contenido de Húmedad	%	0,01	0,17
C.H.	Contenido de húmedad	%	0,09	

TABLA VIII.
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

CONTENIDO DE HÚMEDAD

Origen:	Mina "Alvarado Ortiz"
Fecha:	viernes, 18 de octubre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Norma:	NTE INEN 862:2011

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HÚMEDAD DEL AGREGADO FINO

Datos	Denominación	Unidad	Agregado fino	
W1	Masa del recipiente	gr	1,6	1,6
W2	Masa recipiente + muestra	gr	61,6	61,6
W3	Masa recipiente + muestra seca	gr	59,8	59,9
Ww=W2-W3	Masa del agua	gr	1,8	1,7
Ws=W3-W1	Masa de la muestra seca o del	gr	58,2	58,3
C.H.=(Ww/Ws)*100	Contenido de Húmedad	%	0,03	0,03
C.H.	Contenido de húmedad	%	0,03	

Interpretación: Después de haberse realizado el ensayo pertinente para determinar el contenido de humedad en los agregados, se determinó los siguientes valores: (0,03% para el agregado fino y 0,09% para el agregado grueso). Esto confirmo que los materiales se encontraban prácticamente secos al momento de su extracción, lo cual es esencial para garantizar una dosificación precisa de la mezcla de hormigón y evitar problemas de segregación o exudación.

2) Densidad aparente suelta y densidad compactada

Ya determinados los contenidos de humedad, se procedió a calcular la densidad aparente de los agregados a partir de la siguiente ecuación:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (1)$$

Donde,

M: Masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m^3
G: Masa del árido más el molde, kg
T: Masa del molde, kg
V: Volumen del molde, m^3

Empezando por el agregado grueso proveniente de la Mina "Mollepamba". Donde, los resultados obtenidos indicaron una densidad aparente suelta de 0,975 g/cm^3 y una densidad aparente compactada de 1,034 g/cm^3.

Esto valores, según la norma NTE INEN 694 [29], clasifican al material como un árido de baja densidad.

En consecuencia, se seleccionó un nuevo agregado proveniente de la Mina "Alvarado Ortiz", cuyas densidades se presentan a continuación:

TABLA IX.
COMPARACIÓN DE DENSIDADES SUELTAS Y COMPACTADAS CALCULADAS CORRESPONDIENTES AL AGREGADO GRUESO

Propiedad	**Agregado Nuevo _ Mina "Alvarado Ortiz"**	**Agregado Inicial _ Mina "Mollepamba"**	**Límite Inferior (NTE INEN 694)**	**Límite Superior (NTE INEN 694)**
Densidad Aparente Suelta (g/cm^3)	1,230	0,975	1,120	1,920
Densidad Aparente Compactada (g/cm^3)	1,320	1,034		

Interpretación: En base a la TABLA XV se obtuvo una densidad aparente suelta de 1,230 g/cm^3 y una densidad aparente compactada de 1,320 g/cm^3. Esto quiere decir, que los valores se encuentran dentro del rango establecido por la norma NTE INEN 694 [30] para áridos de densidad normal (1,120 – 1,920 g/cm^3), por lo que fue seleccionado para su uso en el trabajo experimental.

Por último, se ensayó el agregado fino para determinar su densidad aparente suelta y compactada, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla:

TABLA X.
DENSIDADES APARENTES CALCULADAS CORRESPONDIENTES AL AGREGADO FINO

Propiedad	Agregado fino	Límite Inferior (NTE INEN 694)	Límite Superior (NTE INEN 694)
Densidad Aparente Suelta (g/cm^3)	1,534	1,120	1,920
Densidad Aparente Compactada (g/cm^3)	1,575		

Interpretación: Los resultados obtenidos, presentados en la TABLA X, revelan una densidad aparente suelta de 1,534 g/cm^3 y una densidad aparente compactada de 1,575 g/cm^3. Estos valores, al cumplir con los requisitos de la norma NTE INEN 694 [30] , clasifican al agregado fino como un árido de densidad normal, lo que garantiza su idoneidad para la producción de hormigones.

3) Densidad compactada de la mezcla

Con las densidades aparentes de los agregados ya determinadas, se procedió a analizar la correlación entre la proporción de agregados (fino y grueso) y la densidad compactada de la mezcla. Dicho análisis se representa gráficamente en la Fig. 19.

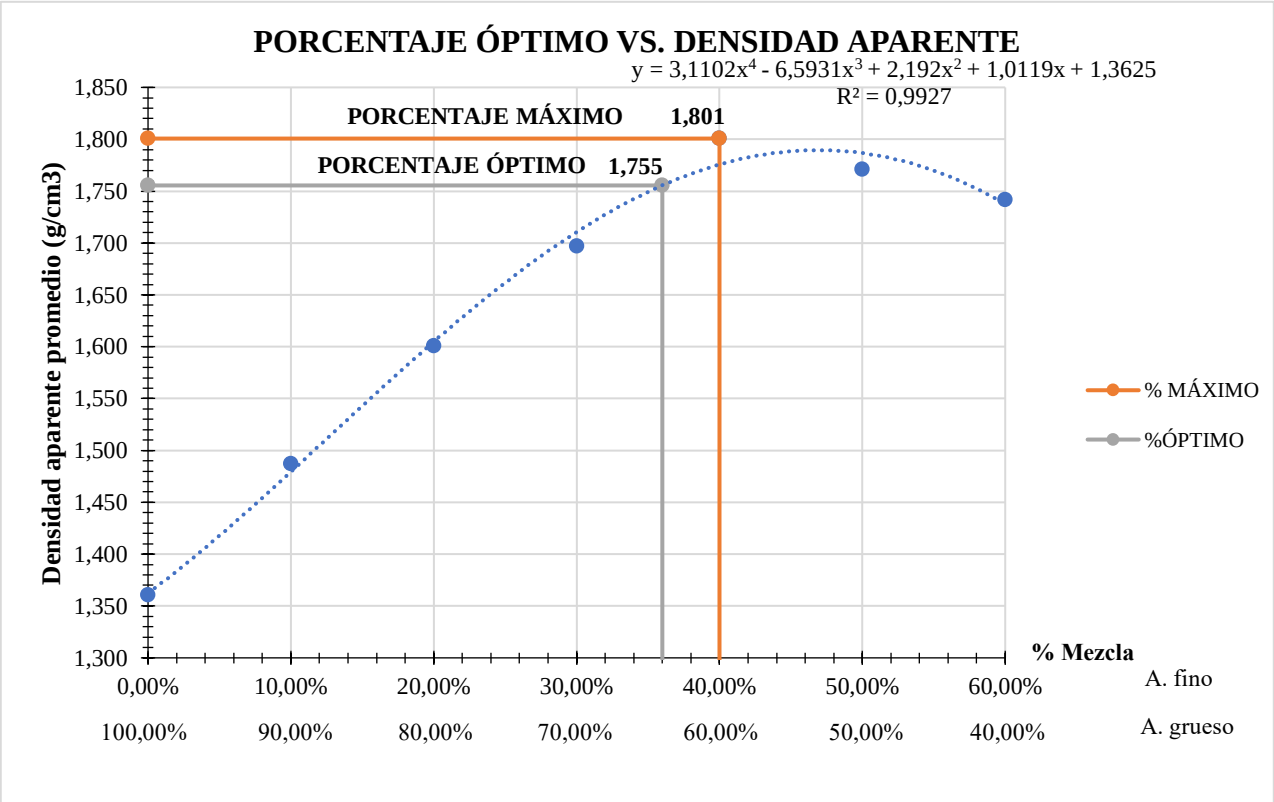


Fig. 19 Porcentaje óptimo vs. Densidad aparente de la Mezcla

Interpretación: A partir de la TABLA XXVI, se estableció una proporción óptima de agregados compuesta por un 36% de agregado fino y un 64% de agregado grueso. Además, a partir de la curva de Porcentaje Óptimo vs. Densidad Aparente (Fig. 19), se determinó que esta proporción corresponde a una densidad compactada máxima de 1,801 g/cm^3 y óptima de 1,742 g/cm^3.

4) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

Para determinar la densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso se utilizó las siguientes ecuaciones, respectivamente:

$$DRR = \frac{B}{\frac{B - C}{DA}} \tag{2}$$

Donde,

DRR: Densidad real del agregado grueso, g/cm^3
B: Masa saturada superficialmente seca (SSS), g
C: Masa en contacto con el agua, g
DA: Densidad del agua, g/cm^3

$$CA = \frac{(A - A_1)}{A_1} * 100 \tag{3}$$

Donde,

CA: Capacidad de absorción, %
A Masa saturada superficialmente seca (SSS), g
A_1 Masa en el aire del ripio en estado seco, g

TABLA XI.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso

Fecha:	miércoles, 6 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Norma:	NTE INEN 857

Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido grueso

Datos	Denominación	Unidad	Valor
M1	1. Masa de la canastilla vacía en el aire	g	1151,5
M2	2. Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	g	3761
B=M2-M1	3. Masa de la muestra SSS en el aire	g	2609,5
M3	4. Masa de la canastilla sumergida en el agua	g	1087
M4	5. Masa de la canastila + muestra SSS sumergida en el agua	g	2750,5
C=M4-M3	6. Masa de la muestra SSS sumergida en el agua	g	1663,5

CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL

DA	7. Densidad del agua	g/cm3	1
VR=(B-C)/DA	8. Volumen real de la muestra	g/cm3	946
DRR=B/VR	9. Densidad real del ripio	g/cm3	2,758

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Datos	Denominación	Unidad	Valor	
M5	7.Masa del recipiente vacío	g	6,804	4,536
M6	8.Masa del recipiente + muestra SSS	g	115,666	124,738
A=M6-M5	9. Masa de la muestra SSS	g	108,862	120,202
M7	10.Masa del recipiente + muestra en estado seco	g	113,567	122,450
A1=M7-M5	11. Masa en el aire del ripio en estado seco	g	106,763	117,914
CA=((A-A1)/A1)*100	12. Capacidad de absorción	%	1,966	1,940
P2=(CA1+CA2)/2	13. Capacidad de absorción promedio	%	1,953	

Interpretación: A partir de los datos consignados en la TABLA XI, se determinó una densidad real de 2,758 g/cm^3 y una capacidad de absorción de 1,953 %. En consecuencia y en

concordancia con los parámetros establecidos en la PCA (Diseño y Control de Mezclas de Concreto)[31], se concluye que el árido analizado corresponde a un material de densidad normal al encontrarse sus valores dentro de los rangos de 2,60 g/cm^3 a 2,80 g/cm^3 para la densidad y de 0,20% a 4,00% para la absorción.

5) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Para determinar la densidad real y capacidad de absorción del agregado fino, se empleó el método gravimétrico con picnómetro. Las ecuaciones correspondientes para el cálculo de cada propiedad se muestran a continuación:

$$DRA = \frac{M}{V_{SSS}} \tag{4}$$

Donde,

DRA: Densidad real del agregado fino, g/cm^3
M: Masa saturada superficialmente seca (SSS), g
V_{SSS}: Volumen de agua desalojada, cm^3

$$CA = \frac{(A - A_1)}{A_1} * 100 \tag{5}$$

Donde,

CA: Capacidad de absorción, %
A Masa saturada superficialmente seca (SSS), g
A_1 Masa en el aire del ripio en estado seco, g

TABLA XII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Densidad, densidad relativa y absorción del árido fino

Fecha:	jueves, 7 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Norma:	NTE INEN 856

Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino

CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL

Datos	Denominación	Unidad	Promedios
M1	1. Masa del picnómetro	g	146
M2	2. Masa del picnómetro + muestra SSS	g	647
M3=M2-M1	3. Masa de la muestra SSS	g	501
M4	4. Masa del picnómetro + muestra SSS+agua	g	956,7
M5=M4-M1	5. Masa agua añadida	g	309,7
M6	6.Masa picnómetro + 500 cc de agua	g	644
M7=M6-M2	7. Masa de 500 cc de agua	g	498
DA=M7/500cm3	8. Densidad de agua	g/cm3	1,00
M8=M7-M5	9. Masa de agua desalojada por la muestra	g	188,3
Vsss=M8/DA	10. Volumen del agua desalojada	cm3	189,056
DRA=M3/Vsss	11. Densidad real de la arena	g/cm3	2,650

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

M9	12. Masa del recipiente	g	32,6	32,4
M10	13. Masa del recipiente + muestra SSS	g	132,9	133,1
M11=M10-M9	14. Masa de la muestra SSS	g	100,3	100,7
M12	15. Masa del recipiente + muestra seca	g	130,8	131,2
M13=M12-M9	16. Masa de la muestra seca	g	98,2	98,8
CA=((M11-M13)/M13)*100	17. Capacidad de absorción	%	2,138	1,923
P2=(CA1+CA2)/2	18. Capacidad de absorción promedio	%	2,031	

Interpretación: A partir de los datos consignados en la TABLA XII, se determinó una densidad real de 2,650 g/cm^3 y una capacidad de absorción de 2,031 %. En consecuencias y en concordancia con los parámetros establecidos en la PCA (Diseño y Control de Mezclas de Concreto)[31], se concluye que el árido analizado corresponde a un material de densidad normal al encontrarse sus valores dentro de los rangos de 2,50 g/cm^3 a 2,70 g/cm^3 para la densidad y de 0,20% a 2,00% para la absorción.

6) Densidad Real del Cemento

Para determinar la densidad real de cemento se utiliza una ecuación basada en el principio de Arquímedes, que relaciona la masa del cemento con el volumen que desplaza al ser sumergido en un líquido, como se muestra a continuación:

$$Dc = \frac{Mc}{V} \tag{6}$$

Donde,

Dc: Densidad del cemento, g/cm^3
Mc: Masa del cemento, g
V: Volumen desplazado, cm^3

TABLA XIII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Densidad Real del Cemento

Tipo:	Cemento Selvalegre - Tipo IP
Fecha:	miércoles, 16 de octubre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Norma:	NTE INEN 156

Cálculo de la Densidad Real del Cemento

Datos	Denominación	Unidad	Valor	
M1	Masa del frasco + gasolina	gr	324,6	323,2
V1	Lectura inicial de la gasolina	cm3	0,8	0,3
M2	Masa del frasco + gasolina+cemento	gr	379	380,4
V2	Lectura final de la gasolina	cm3	18,2	18,2
Mc=M2-M1	Masa del cemento ocupado	gr	54,4	57,2
V=V2-V1	Volumen desplazado	cm3	17,4	17,9
Dc=Mc/V	Densidad del cemento	gr/cm3	3,126	3,196
Densidad Real Promedio		gr/cm3	3,161	

Interpretación: La densidad real del cemento, determinada mediante el método del frasco de Le Chatelier, fue de 3,161 g/cm^3.

7) Granulometría

Finalmente, en el trabajo experimental se realizó un análisis granulométrico por tamizado de una muestra representativa de agregado grueso procedente de la Mina “Mollepamba”, ubicada en el cantón Salcedo.

A continuación, se presenta la curva granulométrica resultante:

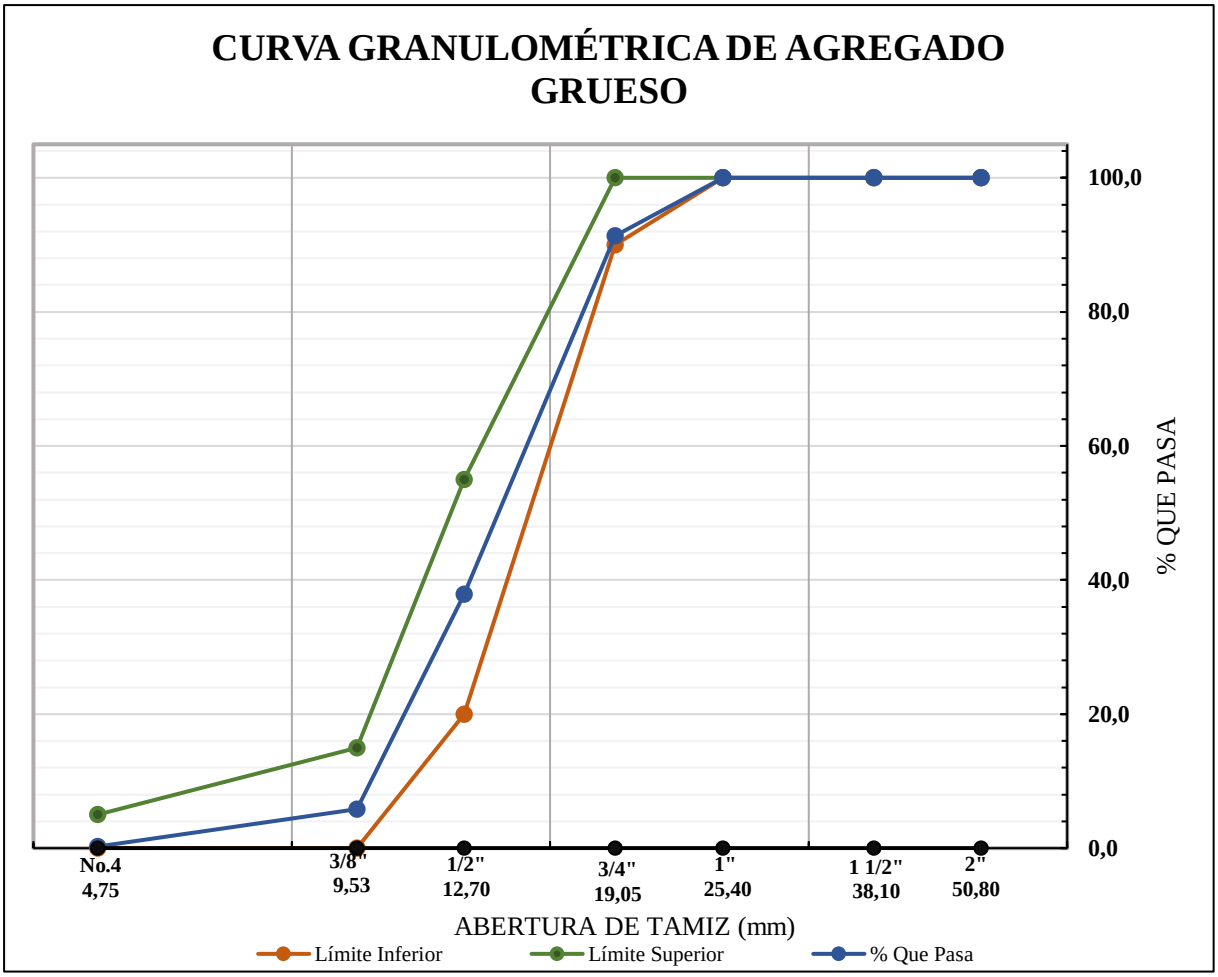


Fig. 20. Curva granulométrica de agregado grueso "Mina Mollepamba"

Interpretación: El análisis granulométrico del agregado grueso proveniente de la Mina "Mollepamba" indica una distribución de partículas adecuada, cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN 872 [35]. Sin embargo, a pesar de esta característica favorable, la baja densidad del agregado limita su uso en la elaboración de hormigones de alta calidad. Por esta razón se optó por evaluar un nuevo agregado, extraído de la Mina "Alvarado Ortiz" ubicada en el cantón Ambato, con el objetivo de obtener una mayor densidad y una distribución granulométrica compatible.

A continuación, se presenta la curva granulométrica resultante:

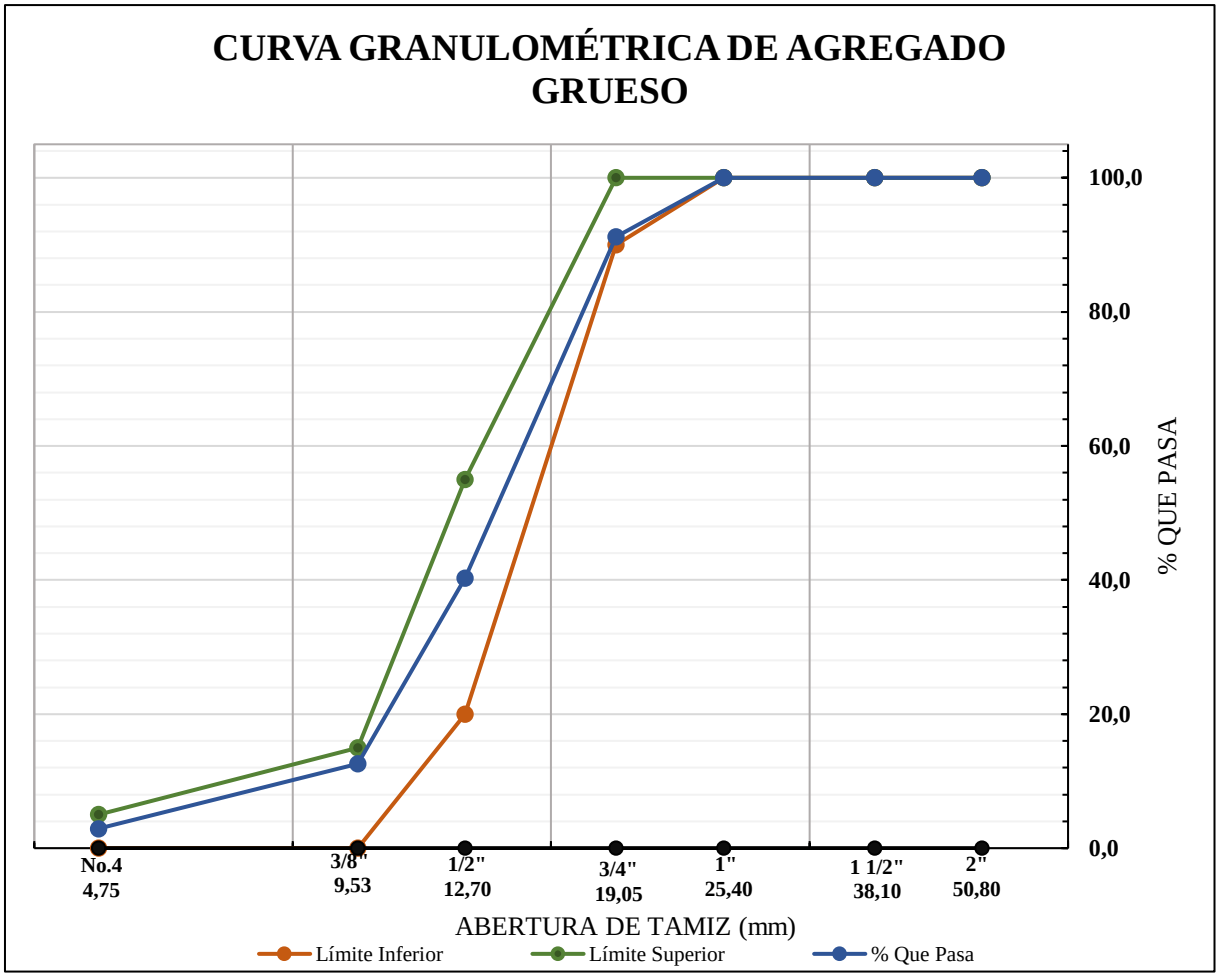


Fig. 21. Curva granulométrica de agregado grueso "Mina Alvarado Ortiz"

Interpretación: El análisis granulométrico revela una graduación que se encuentra dentro de los límites especificados en la norma NTE INEN 872 [35]. Esta distribución garantiza una buena cohesión y trabajabilidad de la mezcla, así como una adecuada resistencia y durabilidad del hormigón endurecido. Además, el tamaño máximo nominal fue de ¾”.

Habiendo analizado la granulometría del agregado grueso y confirmar su adecuación para la elaboración de hormigón, se procedió al análisis del agregado fino. La siguiente figura muestra la curva granulométrica del agregado fino proveniente de la Mina “Alvarado Ortiz”.

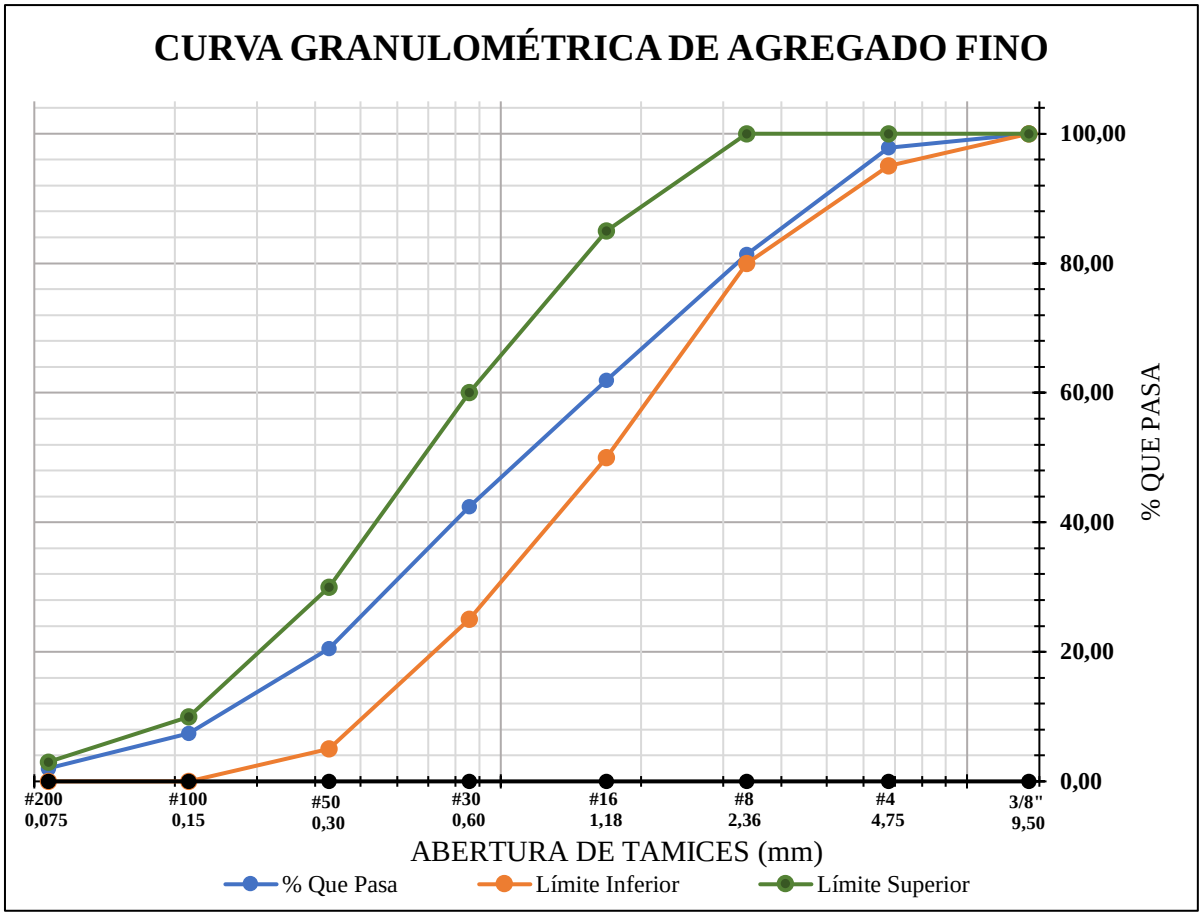


Fig. 22. Curva granulométrica de agregado fino "Mina Alvarado Ortiz"

Interpretación: El análisis granulométrico del agregado fino, se encuentra dentro de los límites permisibles según norma NTE INEN 872 [35].

Por otro lado, el módulo de finura se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\Sigma\%\ retenido\ acum.(4+8+16+30+50+100)}{100} \quad (7)$$

Donde,

MF:	Módulo de finura,
$\Sigma\%\ retenido\ acum.$:	Porcentaje retenido acumulado en los tamices mayores al #100, porcentaje,

Obteniendo un módulo de finura de 2,89.

8) Dosificación

Tras aplicar el Método de Densidad Óptima y obtener lo valores necesarios, se estableció la siguiente dosificación a peso:

TABLA XIV.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM^2

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Dosificación

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Método:	Densidad Óptima
Mina:	Alvarado Ortiz

Cálculo de la Dosificación de 21 Mpa

DATOS DE ENSAYOS			**DATOS DE TABLAS**		
f'c	**210**	**kg/cm2**	**W/C**	0,58	
Asentamiento	**6-9**	**cm**	**CP(%)**	POV+2%+8%(POV)	
DRC	3,161	g/cm3	**Cálculos**		
DRA	2,650	g/cm3	**DRM**	2,719	kg/dm3
DRR	2,758	g/cm3	**POV**	35,457	%
DSA	1,534	g/cm3	**CP(%)**	402,936	dm3
DSR	1,230	g/cm3	**C**	449,527	kg
POA	36	%	**W**	260,726	lts
POR	64	%	**A**	569,599	kg
DOM	1,755	g/cm3	**R**	1053,889	kg

DOSIFICACIÓN AL PESO

Material	Cantidad en kg por cada m3 de hormigón	Dosificación al peso	Cantidad en kg por saco de cemento de 50kg
W	260,726	0,58	29,00
C	449,527	1,00	50,00
A	569,599	1,27	63,36
R	1053,889	2,34	117,22
TOTAL	2333,741	kg/m3 Densidad del Horm.	

A pesar de haber obtenido la dosificación a peso, hay que tomar en cuenta también que las dosificaciones fueron realizadas con agregados que se encontraban en estado SSS, por lo que a continuación se presenta la siguiente dosificación a partir de las correcciones de humedad.

TABLA XV.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM2 CON CORRECCIÓN DE HUMEDAD

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Dosificación

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Método:	Densidad Óptima
Mina:	Alvarado Ortiz

Cálculo de la Dosificación de 21 Mpa

Cantidad Requerida	9	# de cilindros	**VR**	0,01413717	m3
Rendimiento	55,91	%	**VN**	0,02037006	m3

DOSIFICACIÓN AL PESO

Material	Dosificación al Peso	Cantidad en kg para ensayo	CA%	CH%	Corrección de Húmedad CA % - CH%		Cantidad corregida
					%	kg	kg
W	0,58	5,31	-	-	-	0,63	5,94
C	1,00	9,16	-	-	-	-	9,16
A	1,27	11,60	2,031	0,030	2,001	0,23	11,83
R	2,34	21,47	1,953	0,090	1,863	0,40	21,87

Ya concluida la elaboración de la dosificación para un hormigón con una resistencia de 210 kg/cm^2. Se procedió a armar las dosificaciones con los diferentes porcentajes de sustitución parcial de agregado fino por ceniza de cáscara de huevo.

TABLA XVI.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (5 %)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Dosificación

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Método:	Densidad Óptima
Mina:	Alvarado Ortiz

Dosificación al peso con 5% de ceniza de cáscara de huevo

Cantidad Requerida	9	# de cilindros	**VR**	0,01413717	m3
Rendimiento	55,91	%	**VN**	0,02037006	m3

DOSIFICACIÓN AL PESO

Material	Dosificación al Peso	Cantidad en kg para ensayo	CA%	CH%	Corrección de Húmedad CA % - CH%		Cantidad corregida
					%	kg	kg
W	0,58	5,31	-	-	-	0,63	5,94
C	1,00	9,16	-	-	-	-	9,16
A	1,27	11,60	2,031	0,030	2,001	0,23	11,24
CCH - 5%							0,59
R	2,34	21,47	1,953	0,090	1,863	0,40	21,87

TABLA XVII.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (15 %)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Dosificación

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Método:	Densidad Óptima
Mina:	Alvarado Ortiz

Dosificación al peso con 15% de ceniza de cáscara de huevo

Cantidad Requerida	9	# de cilindros	**VR**	0,01413717	m3
Rendimiento	55,91	%	**VN**	0,02037006	m3

DOSIFICACIÓN AL PESO

Material	Dosificación al Peso	Cantidad en kg para ensayo	CA%	CH%	Corrección de Húmedad CA % - CH%		Cantidad corregida
					%	kg	kg
W	0,58	5,31	-	-	-	0,63	5,94
C	1,00	9,16	-	-	-	-	9,16
A	1,27	11,60	2,031	0,030	2,001	0,23	10,06
CCH - 15%							1,78
R	2,34	21,47	1,953	0,090	1,863	0,40	21,87

TABLA XVIII.
DOSIFICACIÓN A PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO FINO POR CENIZA DE CÁSCARA DE HUEVO (30 %)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Dosificación

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Método:	Densidad Óptima
Mina:	Alvarado Ortiz

Dosificación al peso con 30% de ceniza de cáscara de huevo

Cantidad Requerida	9	# de cilindros	**VR**	0,01413717	m3
Rendimiento	55,91	%	**VN**	0,02037006	m3

DOSIFICACIÓN AL PESO

Material	Dosificación al Peso	Cantidad en kg para ensayo	CA%	CH%	Corrección de Húmedad CA % - CH%		Cantidad corregida
					%	kg	kg
W	0,58	5,31	-	-	-	0,63	5,94
C	1,00	9,16	-	-	-	-	9,16
A	1,27	11,60	2,031	0,030	2,001	0,23	8,28
CCH - 30%							3,55
R	2,34	21,47	1,953	0,090	1,863	0,40	21,87

Con las dosificaciones previamente determinadas, se procedió con la elaboración de cada uno de las probetas de hormigón, siguiendo rigurosamente los procedimientos establecidos en la normativa NTE INEN 1576[39]. Esta norma regula aspectos cruciales como el tamaño del cilindro en función del Tamaño Nominal Máximo del Agregado, la elaboración, el curado y el ensayo de probetas de hormigón, garantizando la representatividad y la calidad de los resultados. Además de la elaboración, se realizó un control de la densidad del hormigón en su estado fresco y endurecido, verificando que los valores obtenidos se encontraran dentro de los rangos aceptables.

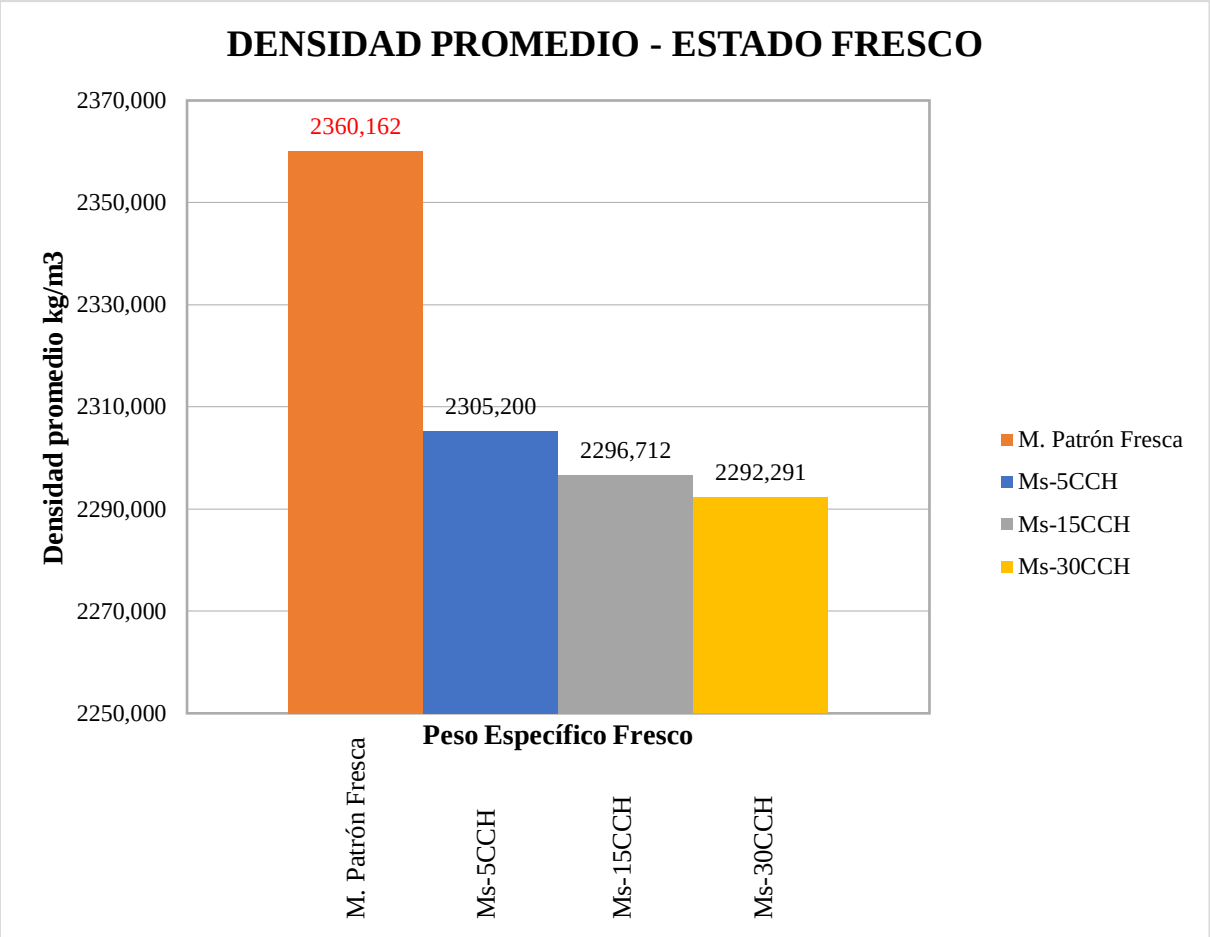


Fig. 23 Densidad promedio de probetas de hormigón (Estado Fresco)

Interpretación: Los resultados mostrados en la Fig. 23 indican que las densidades promedio del hormigón fresco para todas las mezclas (M. Patrón, Ms-5CCH, Ms-15CCH y Ms-30CCH), cumplen con los requerimientos de la norma NEC – Cargas (No sísmicas) [42].Además, las densidades obtenidas fueron 2360,162 kg/m^3, 2305,200 kg/m^3, 2296,712 kg/m^3, 2292,291 kg/m^3, respectivamente. Sin embargo, la ligera disminución observada en la densidad con el incremento del porcentaje de CCH podría atribuirse a la menor densidad de la ceniza en comparación con el cemento Portland.

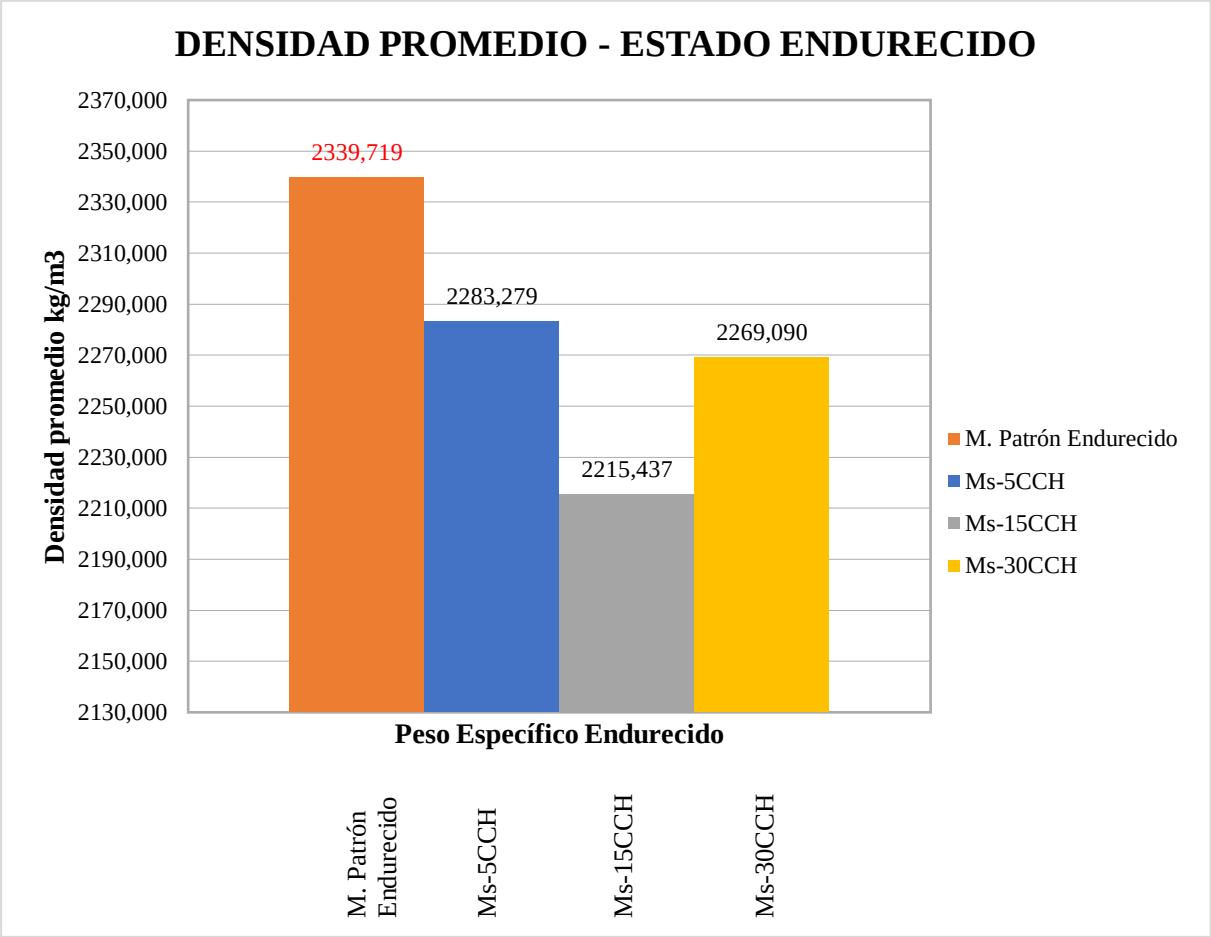


Fig. 24. Densidad promedio de probetas de hormigón (Estado Endurecido)

Interpretación: La Fig. 24 presenta las densidades promedio del hormigón fresco para las mezclas evaluadas: M. Patrón (2339,719 kg/m^3), Ms-5CCH (2283,279 kg/m^3), Ms-15CCH (2215,437 kg/m^3) y Ms-30CCH (2269,090 kg/m^3). En base a estos valores, se observó una tendencia a la disminución de la densidad con la adición de CCH, con excepción de la mezcla Ms-30CCH que presenta un ligero incremento respecto a Ms – 15CCH. No obstante, todas las densidades se encuentran dentro del rango establecido por la norma NEC – Cargas (No sísmicas) [42].

9) Resistencia a compresión

El control previo de la densidad del hormigón es fundamental, dado que esta propiedad influye directamente en sus características mecánicas y su durabilidad. Habiendo analizado la densidad del hormigón tanto en estado fresco como endurecido, y una vez completado el

período de curado, se procedió a obtener la resistencia a compresión de cada uno de las probetas elaborados en función de la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{P}{A} \tag{8}$$

Donde,

Rc: Resistencia a compresión, kg/cm^2
P: Carga máxima resistida por el espécimen, kg
A: Área de la sección transversal del espécimen, cm^2

TABLA XIX.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (7 DÍAS)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Resistencia a compresión promedio (7 días)

Elaborado por:			Genesis Janeth Freire Herrera	
Nombre	**Resistencia de los cilindros**	**Diámetro**	**Área**	**Resistencia a compresión**
	kg/cm2	**cm**	**cm2**	**kg/cm2**
M. Patrón	210	10	78,540	146,00
Ms-5CCH		10	78,540	153,64
Ms-15CCH		10	78,540	125,84
Ms-30CCH		10	78,540	112,68

TABLA XX.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (14 DÍAS)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Resistencia a compresión promedio (14 días)

Elaborado por:			Genesis Janeth Freire Herrera	
Nombre	**Resistencia de los cilindros**	**Diámetro**	**Área**	**Resistencia a compresión**
	kg/cm2	**cm**	**cm2**	**kg/cm2**
M. Patrón	210	10	78,540	179,95
Ms-5CCH		10	78,540	158,31
Ms-15CCH		10	78,540	170,61
Ms-30CCH		10	78,540	142,18

TABLA XXI.
RESISTENCIA A COMPRESIÓN PROMEDIO (28 DÍAS)

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Resistencia a compresión promedio (28 días)

Elaborado por:			Genesis Janeth Freire Herrera	
Nombre	**Resistencia de los cilindros**	**Diámetro**	**Área**	**Resistencia a compresión**
	kg/cm2	**cm**	**cm2**	**kg/cm2**
M. Patrón	210	10	78,540	203,72
Ms-5CCH		10	78,540	189,29
Ms-15CCH		10	78,540	232,15
Ms-30CCH		10	78,540	153,64

Interpretación: Las TABLA XIX, TABLA XX y TABLA XXI, contienen los valores de resistencia a compresión según la edad de ensayo. Estos resultados sirven como base para el análisis en profundidad que se presenta en la siguiente fase.

C. FASE III

1) Comparación de datos

A partir de la Fase II, en la que se determinó la resistencia a compresión de cada espécimen elaborado con diferentes dosificaciones de sustitución parcial de agregado fino por ceniza de cáscara de huevo calcinada a 250°C y molida, se obtuvieron los siguientes diagramas de barras:

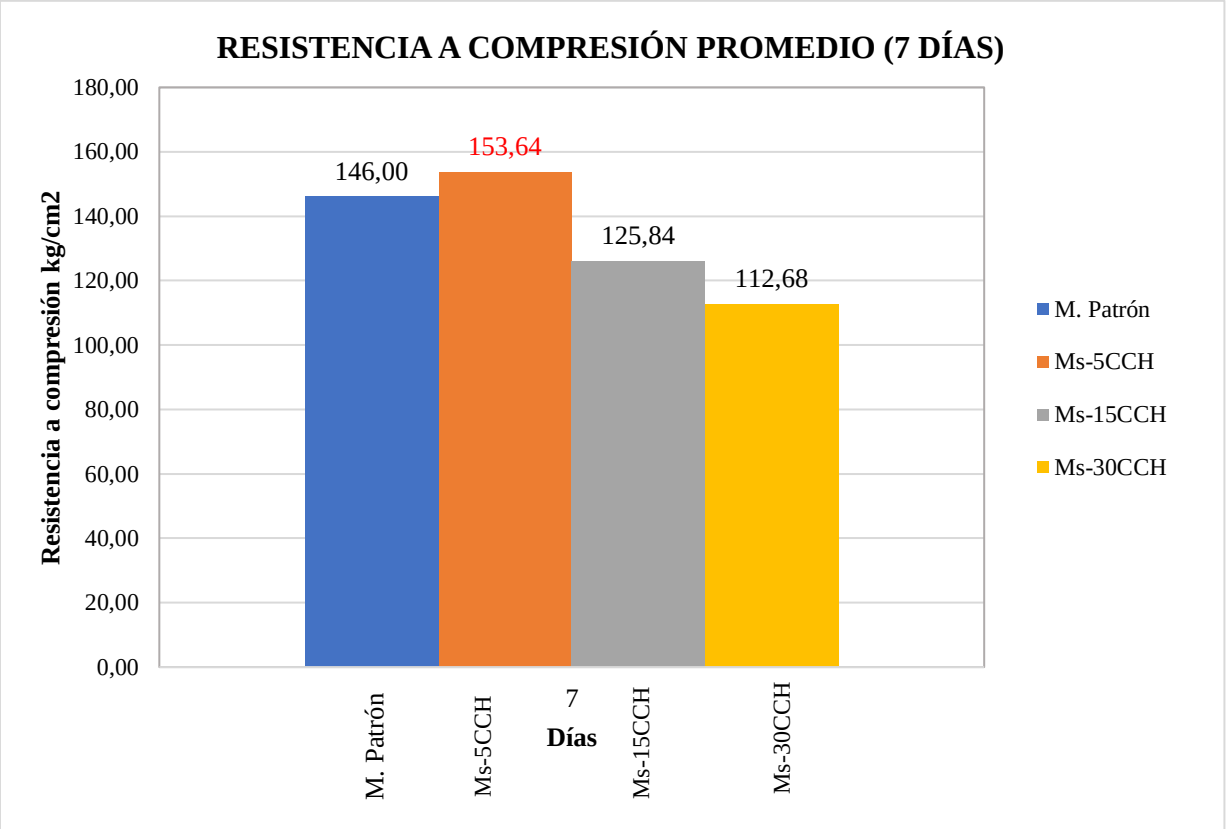


Fig. 25 Resistencia a compresión promedio a los 7 días

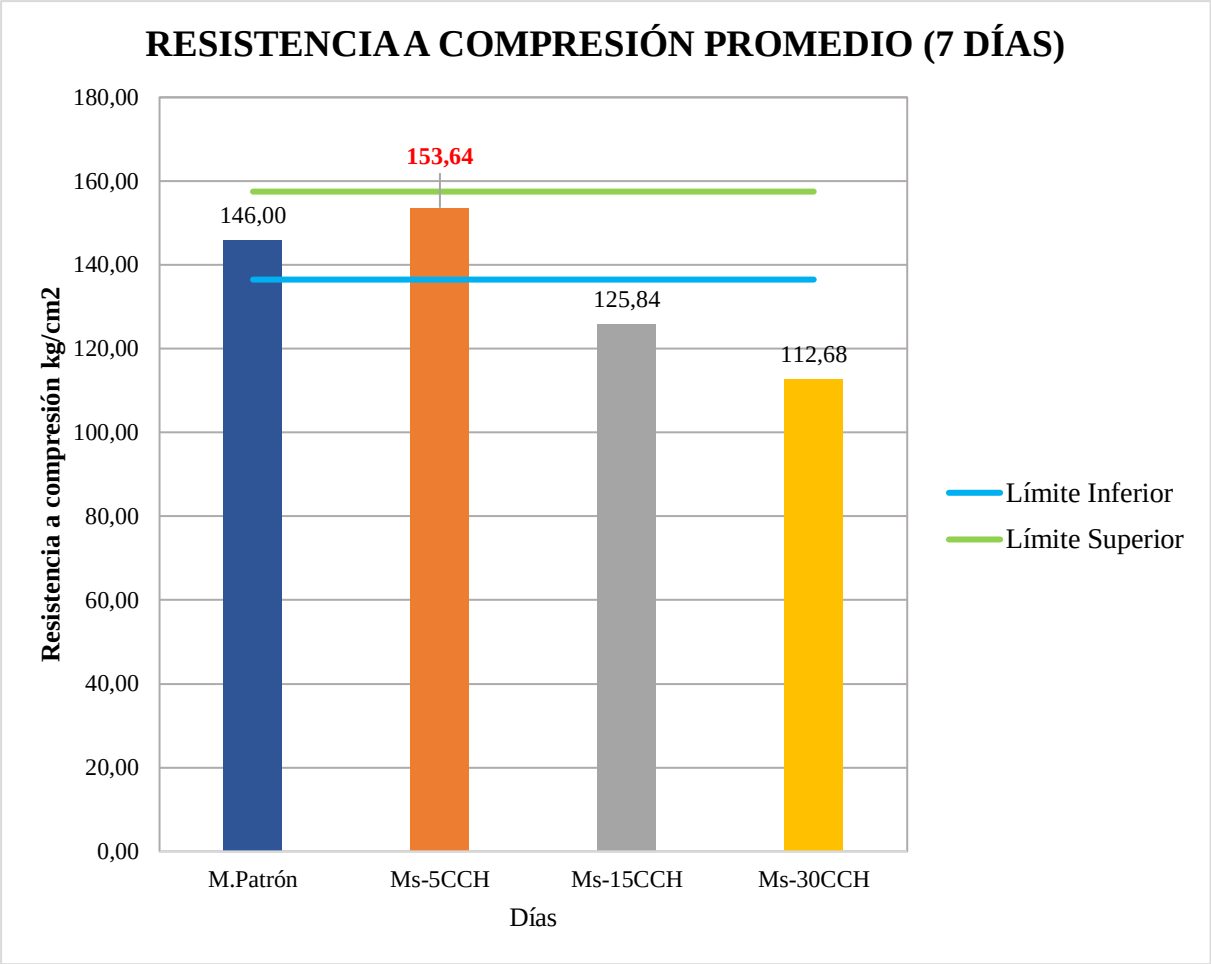


Fig. 26 Resistencia a compresión (7 días)

Interpretación: La Fig. 26 revela el impacto de la adición de ceniza de cáscara de huevo en la resistencia a compresión del hormigón a los 7 días de edad. Permitiendo observar un incremento del 5.23% en la resistencia (153,64 kg/cm^2) en las probetas con una sustitución del 5% de agregado fino por ceniza, lo que sugiere que, en esta proporción, la ceniza de cáscara de huevo puede mejorar la resistencia temprana en comparación con el hormigón tradicional. Sin embargo, las dosificaciones con mayores sustituciones, específicamente del 15% y 30%, mostraron una disminución significativa en la resistencia a compresión del 13.81% y 22.82% respectivamente, indicando que un exceso de ceniza tiene un efecto contraproducente en el desarrollo de la resistencia a corto plazo.

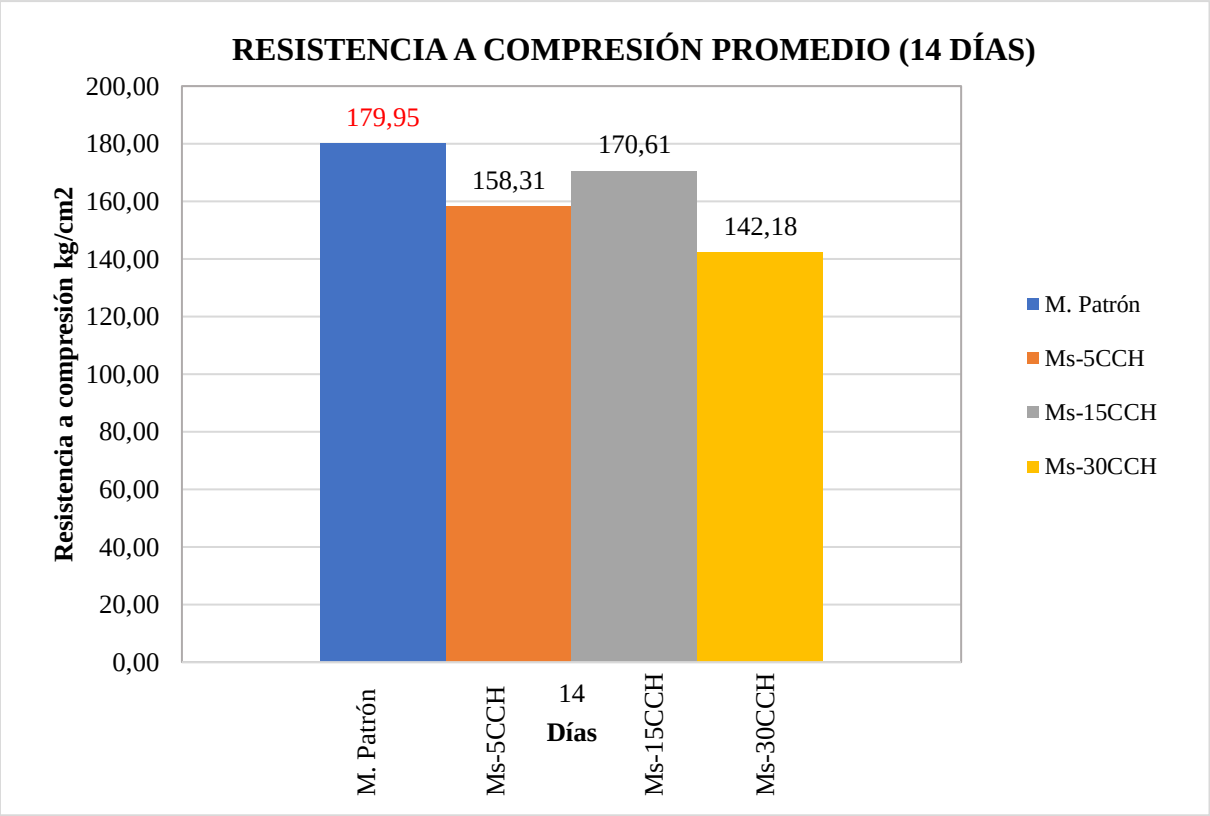


Fig. 27 Resistencia a compresión promedio a los 14 días

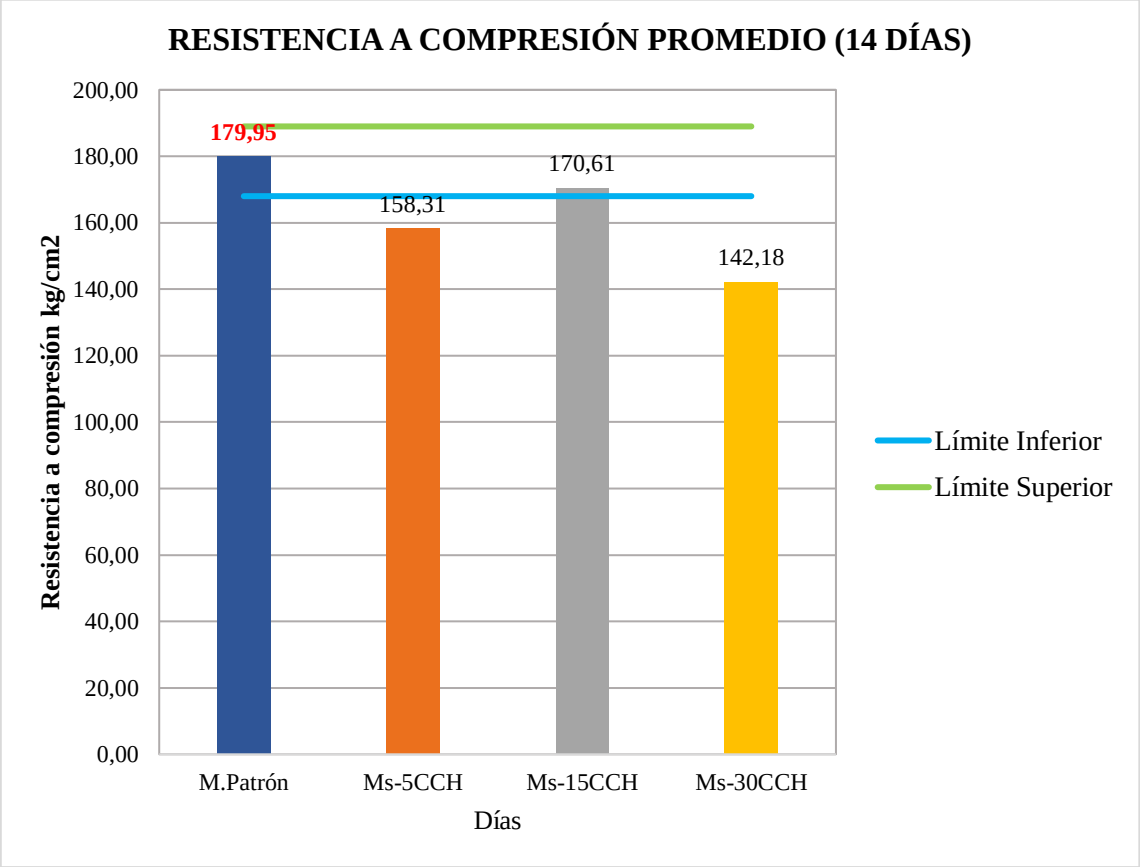


Fig. 28 Resistencia a compresión promedio a los 14 días

Interpretación: La Fig. 28 ilustra el efecto de la adición de ceniza de cáscara de huevo en la resistencia a compresión del hormigón a los 14 días de edad. Permitiendo observar una reducción del 12.03 y 20.99% en las resistencias para las dosificaciones de 5% y 30%, mientras que la mezcla con 15% se mantuvo dentro del rango objetivo de 210 kg/cm^2. Este resultado indica que la proporción del 15% podría ser un punto de partida adecuado para futuras investigaciones enfocadas en la optimización de la dosificación. Además, la disminución en la resistencia con 5% podría deberse a una insuficiente cantidad de material puzolánico para generar una reacción significativa, mientras que la disminución con 30% podría ser atribuida a un exceso de ceniza que interfiere con la correcta hidratación del cemento.

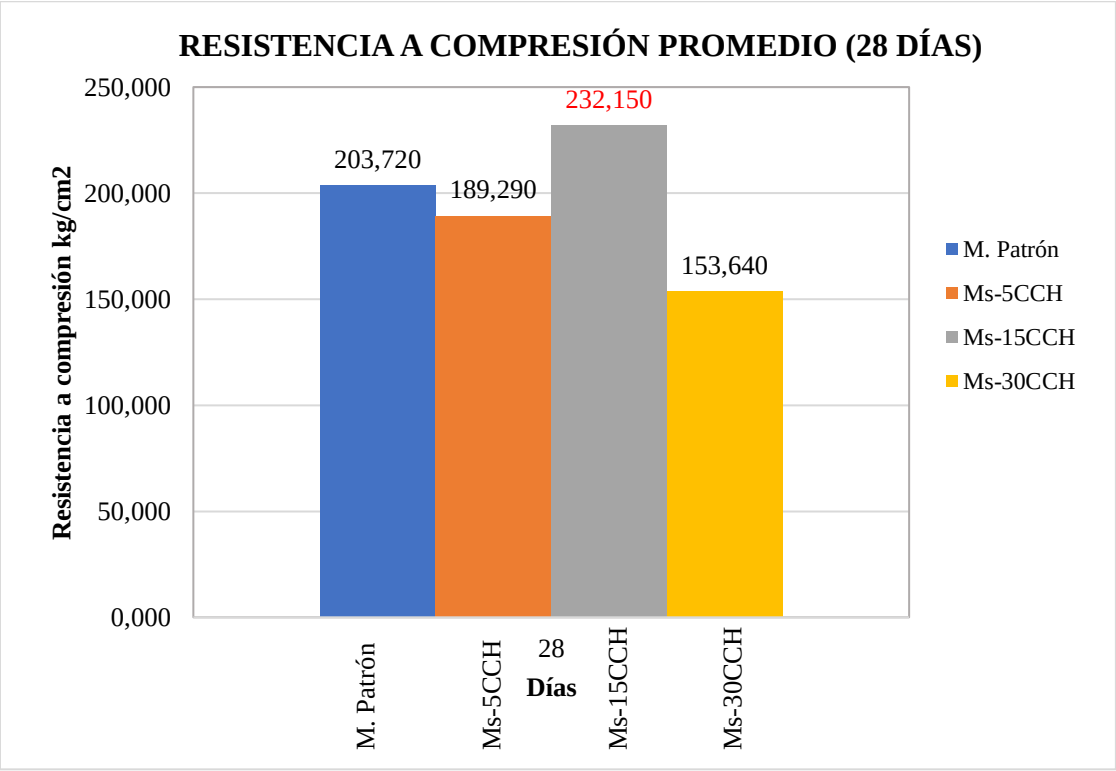


Fig. 29 Resistencia a compresión promedio a los 28 días

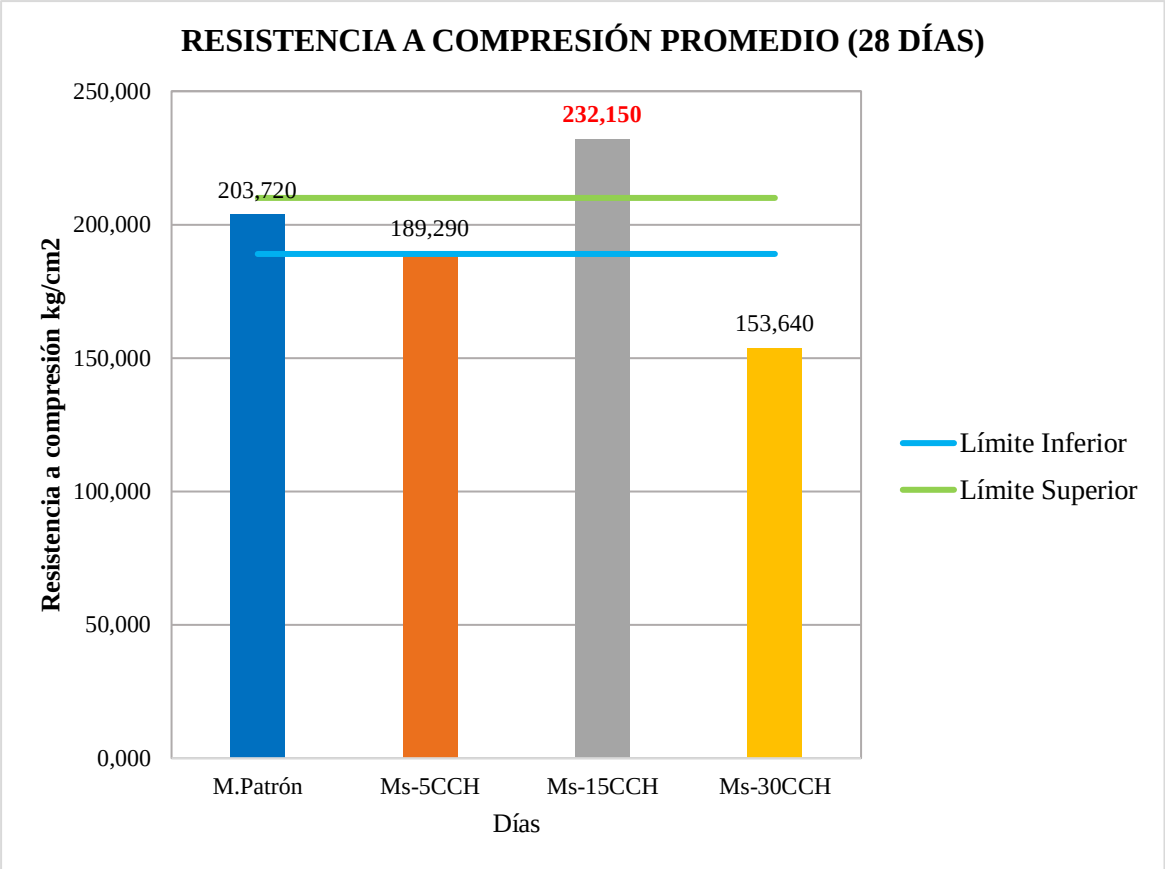


Fig. 30 Resistencia a compresión (28 días)

Interpretación: La Fig. 30 revela el efecto de la adición de ceniza de cáscara de huevo en la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días de edad. Permitiendo observar que la sustitución del 15% de arena por ceniza de cáscara de huevo produce un aumento del 13.96% en la resistencia. Este incremento se atribuye a la presencia de óxido de calcio en la ceniza, que, al reaccionar durante la hidratación del cemento, contribuye a la formación de compuestos que fortalecen la matriz del hormigón. Por otro lado, la mezcla con una sustitución del 5% de agregado fino por ceniza se mantuvo dentro del rango objetivo de resistencia de 210 kg/cm^2 a los 28 días, indicando que esta proporción no afecta negativamente la resistencia, aunque tampoco la incrementa significativamente. Sin embargo, la sustitución del 30% resultó en una disminución del 24.58% en la resistencia. Este resultado sugiere que una proporción excesiva de ceniza interfiere con el proceso de hidratación del cemento.

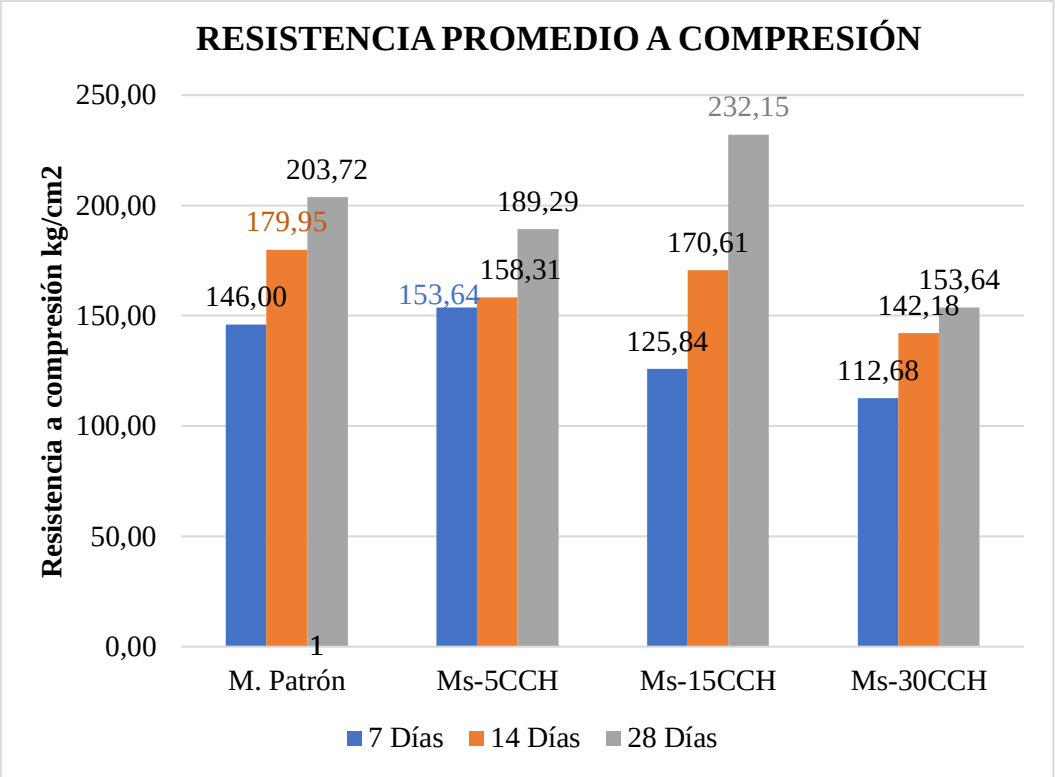


Fig. 31 Resumen de resistencias promedio a compresión

Interpretación: La Fig. 31 presenta el desarrollo de la resistencia a compresión de las diferentes mezclas de hormigón a los 7,14 y 28 días.

A los 7 días, se observa un incremento del 5.23% en la resistencia a compresión de la mezcla Ms-5CCH en comparación con las demás mezclas. Sin embargo, a los 14 días, la muestra Patrón exhibe la mayor resistencia a compresión, superando a las mezclas con sustitución parcial de agregado fino por ceniza (5%, 15% y 30%). Es importante destacar que, a pesar de una leve disminución en la resistencia a los 14 días, la mezcla Ms-15CCH aún se mantiene dentro del rango permisible para hormigones de 210 kg/cm^2; a diferencia de las otras mezclas con ceniza, que muestran una disminución mayor. Finalmente, las probetas ensayadas a los 28 días con sustitución del 15% de arena por ceniza presentaron un aumento del 13.81% en su resistencia en comparación con la muestra Patrón. Además, se observó que con una sustitución del 5% de agregado fino por ceniza, la resistencia se mantuvo dentro del rango objetivo para un hormigón con resistencia de 210 kg/cm^2, lo que indica que esta proporción no afecta negativamente la resistencia. Sin embargo, con una sustitución del 30%, se evidenció un declive en la resistencia del 24.58%. Este descenso sugiere que dicha proporción al ser excesiva para el hormigón pudo interferir con el proceso de hidratación del cemento.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La adición de la ceniza de cascará de huevo en un 5%, 15% y 30%, ¿podrá mejorar la resistencia a la compresión en relación a un hormigón tradicional con un f'c de 210 kg/cm^2?

B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Sí, los resultados de los ensayos de resistencia a compresión a los 7 días revelaron un comportamiento diferenciado según la dosificación de ceniza de cáscara de huevo. Empezando, con las probetas Ms-5CCH, las cuales mostraron un incremento del 5.23% en la resistencia en comparación con las probetas M. Patrón. Sin embargo, las dosificaciones con mayor sustitución (15% y 30%) experimentaron una disminución en la resistencia a compresión del 13.81% y 22.82% respectivamente. Por otro lado, a los 14 días, los ensayos de las probetas Ms-5CCH y Ms-30CCH mostraron una disminución del 12.03% y 20.99% respectivamente, en comparación con las probetas Ms-15CCH. Este resultado sugiere que la adición de 15% de ceniza de cáscara de huevo no compromete significativamente la resistencia del hormigón, ya que los valores obtenidos se mantienen dentro del rango especificado para hormigones con una resistencia característica de 210 kg/cm^2. Finalmente, las probetas ensayadas a los 28 días con sustitución del 15% de arena por ceniza presentaron un aumento del 13.96% en su resistencia en comparación con la muestra Patrón. Además, se observó que con una sustitución del 5% de agregado fino por ceniza, la resistencia se mantuvo dentro del rango objetivo para un hormigón con resistencia de 210 kg/cm^2, lo que indica que esta proporción no afecta negativamente la resistencia.

CAPITULO IV. – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo marca el cierre del trabajo experimental, donde se presentó las conclusiones más relevantes y se formularon recomendaciones para futuras investigaciones, como invitar a continuar explorando el desarrollo de materiales alternativos al cemento, con el objetivo de promover prácticas de construcción más sostenibles.

I. CONCLUSIONES

a) Los resultados obtenidos a partir del mes de recolección en tres panaderías fueron de 60 kg de cáscaras de huevo, con un rendimiento del 78,3% (47 kg) de polvo tras su procesamiento e incineración controlada sin pérdidas. Esto, sugiere el gran potencial de aprovechamiento de este subproducto, además, este alto rendimiento indica la viabilidad del proceso de transformación, valorizando un residuo y contribuyendo a la economía circular.

b) Para el presente trabajo experimental, se elaboró un total de 36 probetas cilíndricas de hormigón con dimensiones de 10,00 cm de diámetro y 20,00 cm de altura, siguiendo las recomendaciones de la norma NTE INEN 1576. Además, el tamaño de las probetas se determinó en función del Tamaño Nominal Máximo (TNM) del agregado grueso utilizado, que fue de ¾ de pulgada. De estas probetas, 9 correspondieron al grupo de control o M. Patrón, representando el hormigón sin aditivo. Las 27 probetas restantes se destinaron a evaluar el comportamiento del hormigón con la adición de tres porcentajes distintos del material en estudio: 5%, 15% y 30% con 9 probetas por cada porcentaje.

c) Una vez completado el período de curado, se procedió a realizar los ensayos de resistencia a compresión a las edades de 7,14 y 28 días según la norma NTE INEN 1573. Los resultados obtenidos a los 7 días mostraron, que con una sustitución del 5%, hubo un incremento del 5.23% en la resistencia a compresión (alcanzando 153,64 kg/cm^2) en comparación con la muestra patrón (146,00 kg/cm^2). Este aumento sugiere que una baja proporción de ceniza de cáscara de huevo puede favorecer el desarrollo temprano de la resistencia en el hormigón. No obstante, las dosificaciones con mayores sustituciones, específicamente del 15% y 30%, mostraron una disminución en la resistencia a

compresión del 13.81% y 22.82% respectivamente. Esta disminución indica que un exceso de ceniza tiene un efecto negativo en el desarrollo de la resistencia a corto plazo, contrarrestando el beneficio observado con la menor proporción.

Por otro lado, a los 14 días se presenció un comportamiento diferenciado entre las mezclas con diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de huevo. Empezando con las probetas de 5% de ceniza, las mismas que presentaron una disminución del 12.03% (158 kg/cm^2), mientras que las probetas con 30% mostraron una reducción del 20.82% (142 kg/cm^2). En contraste, la mezcla con 15% de ceniza mantuvo la resistencia dentro del rango aceptable para un hormigón de 210 kg/cm^2, alcanzando un valor de 170 kg/cm^2. Se hipotetiza que la adición de 15% de ceniza actúa de forma similar a una puzolana, por lo que obtuvo un comportamiento similar al de un hormigón tradicional. Sin embargo, concentraciones mayores podrían estar afectando negativamente la trabajabilidad de la mezcla y/o la hidratación completa del cemento, lo que explicaría la disminución en la resistencia. Finalmente, las probetas ensayadas a los 28 días de edad con sustitución del 15% mostraron un incremento en sus resistencias del 13.96% (232,15 kg/cm^2) en comparación con la muestra Patrón. Además, se observó que con una sustitución del 5% de agregado fino por ceniza, la resistencia (189,29 kg/cm2) se mantuvo dentro del rango objetivo para un hormigón con resistencia de 210 kg/cm^2, lo que indica que esta proporción no afecta negativamente la resistencia, aunque tampoco la incrementa significativamente. Sin embargo, con una sustitución del 30%, se evidenció un declive en la resistencia (153,64 kg/cm^2) del 24.58%. Este descenso sugiere que dicha proporción al ser excesiva para el hormigón pudo interferir con el proceso de hidratación del cemento.

d) Tras el desencofrado de las probetas de hormigón, se realizó una inspección visual que reveló una diferencia notable en el estado de humedad entre los grupos. Las probetas que contenían un 30% de ceniza de cáscara de huevo presentaban un grado de humedad significativamente mayor en comparación con las probetas de los otros grupos (0%, 5% y 15%). Esta observación inicial sugirió un posible retardo en el fraguado o una mayor retención de agua en la mezcla con mayor contenido de ceniza. Por ello, inicialmente, se decidió aplicar un curado en agua siguiendo una práctica común para el curado de hormigón. Sin embargo, tras solo un día de inmersión, se observó la disgregación de las probetas con 30% de ceniza de cáscara de huevo. Ante esta problemática, se optó por

un método de curado alternativo: el curado con plástico. Si bien el curado con plástico no es tan efectivo como el curado en agua en términos de aporte de humedad externa, se consideró una solución viable para prevenir una mayor disgregación de las probetas y permitir un desarrollo mínimo de resistencia.

II. RECOMENDACIONES

a) Se recomienda a la comunidad académica seguir explorando materiales sostenibles y amigables con el medio ambiente, que puedan mejorar las propiedades físico – mecánicas del hormigón.

b) Se recomienda una segunda fase de este trabajo experimental enfocada en evaluar el efecto de la ceniza de cáscara de huevo como sustituto parcial del agregado fino en la resistencia a la compresión del hormigón. Además, se propone utilizar porcentajes menores de ceniza de cáscara de huevo con respecto a los ocupados en este trabajo experimental, además de variar la temperatura de calcinación de la cáscara de huevo a (300°C – 500°C).

c) Es imperativo establecer una comunicación fluida y colaborativa entre los tesistas y el personal técnico de laboratorio. Además, los técnicos deben actuar como mentores, brindando a los tesistas orientación necesaria para el desarrollo de sus competencias prácticas, pudiendo garantizar así el éxito de sus investigaciones.

d) Para asegurar un progreso significativo en el desarrollo de la tesis, es indispensable dotar a los tesistas de los equipos adecuados para llevar a cabo sus ensayos de laboratorio. Esto permitirá obtener resultados más confiables y completos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] V. Vishwakarma and D. Ramachandran, "Green Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review," *Constr Build Mater*, vol. 162, pp. 96–103, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.11.174.

[2] M. Ravinder, K. Targotra, M. Sourabh Lalotra, and M. S. Bhardwaj, "Experimental Study on Strength and workability of concrete Using Rice Husk Ash and Quarry Dust Concrete," 2019.

[3] R. M. Andrew, "Global CO2 emissions from cement production, 1928-2018," Nov. 20, 2019, *Copernicus GmbH*. doi: 10.5194/essd-11-1675-2019.

[4] I. Energy Agency, "Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems." [Online]. Available: www.iea.org/t&c/

[5] L. Barcelo, J. Kline, G. Walenta, and E. Gartner, "Cement and carbon emissions," *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 47, no. 6, pp. 1055–1065, 2014, doi: 10.1617/s11527-013-0114-5.

[6] G. Mounika, R. Baskar, and J. Sri Kalyana Rama, "Rice husk ash as a potential supplementary cementitious material in concrete solution towards sustainable construction," *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 7, no. 1, Feb. 2022, doi: 10.1007/s41062-021-00643-5.

[7] "Análisis termodinámicos, microestructurales y quimiométricos de la reutilización de cenizas de caña de azúcar en la fabricación de cemento - ScienceDirect." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343721003274

[8] V. D. Katare and M. V. Madurwar, "Design and investigation of sustainable pozzolanic material," *J Clean Prod*, vol. 242, p. 118431, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2019.118431.

[9] S. Sathvik, A. Edwin, A. Basnett, P. Sharma, and J. Carmicheal, "Experiment of partial replacement of egg shell powder and coconut fibre in concrete," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 6 Special Issue 4, pp. 1034–1038, Apr. 2019, doi: 10.35940/ijitee.F1213.0486S419.

[10] H. Y. Tiong, S. K. Lim, Y. L. Lee, M. K. Yew, and J. H. Lim, "Absorption and strength properties of lightweight foamed concrete with egg shell powder as partial replacement material of cement," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/476/1/012021.

[11] T. Błaszczyński and M. Król, "Usage of Green Concrete Technology in Civil Engineering," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2015, pp. 296–301. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.039.

[12] "Impacto ambiental de la industria cementera- Kunak." Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://kunakair.com/es/impacto-ambiental-industria-cementera-calidad-aire/

[13] N. K. Krishna, S. Sandeep, and K. M. Mini, “Study on concrete with partial replacement of cement by rice husk ash,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Oct. 2016. doi: 10.1088/1757-899X/149/1/012109.

[14] “Datos y cifras | Naciones Unidas.” Accessed: Oct. 01, 2024. [Online]. Available: https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures

[15] E. Colombia, L. Victoria, P. Gonzalez, S. P. Montenegro Gómez, P. Andrea, and G. Abad, “Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia.”

[16] S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank, 2018. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0.

[17] “Cada ecuatoriano consume más de 200 huevos al año - El Comercio.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cada-ecuatoriano-consume-mas-200-huevos-ano.html

[18] “Por sexto año consecutivo el Ecuador celebra el Día Nacional del Huevo de Mesa - CONAVE.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://conave.org/por-sexto-aniversario-consecutivo-el-ecuador-celebra-el-dia-nacional-del-huevo-de-mesa/

[19] R. Venkata Krishnaiah, P. Dayakar, and S. J. Mohan, “Effect of egg shell powder on strength behaviour of concrete,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 9 Special Issue 3, pp. 562–564, Jul. 2019, doi: 10.35940/ijitee.I3110.0789S319.

[20] “Efecto de la microsílice sobre el hormigón de alta resistencia.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/293113635_Effect_of_microsilica_on_high_strength_concrete

[21] G. E. Castillo Piscoya, J. C. Chavarry Koosi, J. K. Peralta Panta, and S. P. Muñoz Pérez, “Uso de residuos agroindustriales en las propiedades mecánicas del concreto: Una revisión literaria,” *Revista Ingeniería*, vol. 5, no. 13, pp. 123–142, Sep. 2021, doi: 10.33996/revistaingenieria.v5i13.86.

[22] B. O. Adinna, C. M. O. Nwaiwu, and C. J. Igwagu, “Effect of rice-husk-ash admixture on the strength and workability of concrete,” *Nigerian Journal of Technology*, vol. 38, no. 1, p. 48, Feb. 2019, doi: 10.4314/njt.v38i1.7.

[23] “Vista de Estudio del concreto de alta resistencia con el uso de cenizas de materiales orgánicos y polímeros | I+D Tecnológico.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2071/3040

[24] S. Mohd Arif *et al.*, “Compressive Strength of Concrete containing Eggshell Powder as Partial Cement Replacement,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Feb. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/682/1/012031.

[25] Perez Ruiz and Anthony Rivera, “Influencia de la sustitución del cemento por cenizas de cascarón de huevo triturado en las propiedades físicas y mecanicas del concreto 210 kg/cm2, 2023,” Universidad César Vallejo, Tarapoto, 2023.

[26] Hurtado Abigail and Pariona Mayli, “Adición de cenizas de cascara de huevo y concha de abanico para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto,” Universidad César Vallejo, Lima, 2022.

[27] NTE INEN, “Áridos para Hormigón. Determinación del contenido de humedad.,” Quito, 2011, p. 1.

[28] NTE INEN, “Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos,” Primera., Quito, 2010, p. 4.

[29] NTE INE, “Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología,” Primera., Quito, 2010, p. 5.

[30] NTE INEN, “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso,” Primera., Quito, 2010, p. 3.

[31] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, and J. Tanesi, “Diseño y Control de Mezclas de Concreto.” [Online]. Available: www.cement.org

[32] NTE INEN, “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,” Primera., Quito, 2010, p. 4.

[33] NTE INEN, “Cemento hidráulico. Determinación de la densidad,” Primera., Quito, 2009, p. 3.

[34] NTE INEN, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso,” Primera., Quito, 2011, p. 1.

[35] NTE INEN, “Áridos para hormigón. Requisitos,” Primera., Quito, 2011, p. 2.

[36] “Specification for Concrete Aggregates,” Aug. 01, 2023, *ASTM International, West Conshohocken, PA*. doi: 10.1520/C0033_C0033M-23.

[37] A.Remache, “‘Diseño de un hormigón bio-compuesto de baja densidad utilizando papel bond reciclado,’” UCE, Quito, 2021.

[38] N. E. De and L. A. Construcción, “Estructuras de hormigón armado,” 2014, p. 93.

[39] “NTE INEN 1576 - Hormigón. Elaboración y curado en obra de especímenes - INSTITUTO ECUATORIANO DE - Studocu.” Accessed: Nov. 04, 2024. [Online]. Available: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/hormigon-armado/nte-inen-1576-hormigon-elaboracion-y-curado-en-obra-de-especimenes/47008206

[40] NTE INEN, “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico,” Primera., Quito, 2010, p. 3.

[41] “Cifras actualizadas del sector avícola - CONAVE.” Accessed: Dec. 09, 2024. [Online]. Available: https://conave.org/cifras-actualizadas-del-sector-avicola/

[42] N. E. De and L. A. Construcción, “CARGAS (NO SÍSMICAS).”

ANEXOS

TABLA XXII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

Origen:	Mina "Mollepamba"	
Masa de recipiente:	9,80	kg
Volumen de recipiente:	21697,14	cm3
Volumen de recipiente:	21,70	dm3
Fecha:	miércoles, 23 de octubre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

DETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

Agregado	Agregado + Recipiente (g)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	31,00	21,20	0,977	0,975
	30,90	21,10	0,972	
	30,94	21,14	0,974	

TABLA XXIII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

Origen:	Mina "Mollepamba"	
Masa de recipiente:	9,80	kg
Volumen de recipiente:	21697,14	cm3
Volumen de recipiente:	21,70	dm3
Fecha:	miércoles, 23 de octubre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

ETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUES

Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	32,18	22,38	1,031	1,034
	32,36	22,56	1,040	
	32,18	22,38	1,031	

TABLA XXIV.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO_ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

Origen:	Mina "Alvarado Ortiz"	
Masa de recipiente:	9,98	kg
Volumen de recipiente:	21724,92	cm3
Volumen de recipiente:	21,72	dm3
Fecha:	miércoles, 6 de noviembre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

DETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO

Agregado	Agregado + Recipiente (g)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	36,82	26,84	1,235	1,230
	36,54	26,56	1,223	
	36,76	26,78	1,233	

TABLA XXV.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO_ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

Origen:	Mina "Alvarado Ortiz"	
Masa de recipiente:	9,80	kg
Volumen de recipiente:	21794,84	cm3
Volumen de recipiente:	21,79	dm3
Fecha:	miércoles, 6 de noviembre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

ETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUES

Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	38,82	29,02	1,332	1,320
	38,34	28,54	1,309	
	38,52	28,72	1,318	

TABLA XXVI.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO_ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO

Origen:	Mina "Alvortiz"	
Masa de recipiente:	9,80	kg
Volumen de recipiente:	21623,06	cm3
Volumen de recipiente:	21,62	dm3
Fecha:	jueves, 24 de octubre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

DETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO

Agregado	Agregado + Recipiente (g)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	42,82	33,02	1,527	1,534
	43,02	33,22	1,536	
	43,08	33,28	1,539	

TABLA XXVII.
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO_ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

Origen:	Mina "Alvortiz"	
Masa de recipiente:	9,80	kg
Volumen de recipiente:	21623,06	cm3
Volumen de recipiente:	21,62	dm3
Fecha:	jueves, 24 de octubre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010 /ASTM C 29	

DETERMINACIÓN DE LA DENSDIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso unitario (kg/dm3)	Peso unitario promedio (kg/dm3)
Grueso	43,9	34,10	1,577	1,575
	43,84	34,04	1,574	
	43,86	34,06	1,575	

TABLA XXVIII.
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Fecha:	jueves, 7 de noviembre de 2024	
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera	
Norma:	NTE INEN 858:2010	
Masa del recipiente vacío:	9,98	kg
Volumen del recipiente:	21069,652	cm3
Volumen del recipiente:	21,070	dm3

Cálculo de la Densidad Aparente Compactada de la Mezcla

Mezcla (%)		**Mezcla (kg)**		**Fino añadido**	**Agregado + recipiente (kg)**	**Agregado**	**Densidad aparente de la mezcla (kg/dm3)**	**Densidad aparente promedio (kg/dm3)**
Grueso	**Fino**	**Grueso**	**Fino**	**Fino**	Agregado fino + Agregado grueso			
100,00%	**0,00%**	40,00	0,00	0,00	38,64	28,66	1,360	1,360
					38,64	28,66	1,360	
90,00%	**10,00%**	40,00	4,44	4,44	41,06	31,08	1,475	1,487
					41,56	31,58	1,499	
80,00%	**20,00%**	40,00	10,00	5,56	43,68	33,7	1,599	1,600
					43,72	33,74	1,601	
70,00%	**30,00%**	40,00	17,14	7,14	45,76	35,78	1,698	1,697
					45,7	35,72	1,695	
60,00%	**40,00%**	40,00	26,67	9,53	48,32	38,34	1,820	1,801
					47,52	37,54	1,782	
50,00%	**50,00%**	40,00	40,00	13,33	47,24	37,26	1,768	1,771
					47,34	37,36	1,773	
40,00%	**60,00%**	40,00	60,00	20,00	46,52	36,54	1,734	1,741
					46,82	36,84	1,748	

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	40%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	60%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	36%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	64%
Peso unitario máximo (kg/dm3)	1,801
Peso unitario óptimo (kg/dm3)	1,755

TABLA XXIX.
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Datos obtenidos de los Ensayos

Fecha:	lunes, 18 de noviembre de 2024
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera
Mina:	Alvarado Ortiz

Nomenclatura	Descripción	Unidad	Valor
DRC	Densidad real del cemento	g/cm3	3,161
DRA	Densidad real de la arena	kg/dm3	2,65
DRR	Densidad real del ripio	kg/dm3	2,758
DSA	Densidad suelta de la arena	kg/dm3	1,534
DSR	Densidad suelta del ripio	kg/dm3	1,23
DCA	Densidad compacta de la arena	kg/dm3	1,575
DCR	Densidad compacta del ripio	kg/dm3	1,32
POA	Porcentaje óptimo de la arena	%	36
POR	Porcentaje óptimo del ripio	%	64
DOM	Densidad óptima de la mezcla	kg/dm3	1,755
CAA	Capacidad de absorción de la arena	%	2,001
CAR	Capacidad de absorción del ripio	%	1,953
CHA	Contenido de humedad de la arena	%	0,03
CHR	Contenido de humedad del ripio	%	0,09
MFA	Módulo de finura de la arena		2,89

TABLA XXX.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO _ MINA MOLLEPAMBA

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Análisis Granulométrico de Agregado Grueso

Origen:	Mina "Mollepamba"				
Fecha:	miércoles, 16 de octubre de 2024				
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera				
Norma:	NTE INEN 696:2010 / ASTM C 136				
Muestra (gr):	5000	**Pérdida de muestra:**	0,99		

Tamiz pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que pasa (%)**	**Límite Inferior (%) NTE INEN 872**	**Límite Superior (%) NTE INEN 872**	**CONTROL**	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	PASA
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	PASA
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	
3/4"	19,05	429,00	429,00	8,63	91,37	90	100	PASA	PASA
1/2"	12,70	2660,50	3089,50	62,12	37,88	20	55	PASA	PASA
3/8"	9,53	1596,00	4685,50	94,21	5,79	0	15	PASA	PASA
No.4	4,75	276,00	4961,50	99,76	0,24	0	5	PASA	PASA
Bandeja		12,00	4973,50	100,00	0,00	-	-	-	-
		4973,50							
Tamaño Nominal Máximo		3/4"							

TABLA XXXI.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO _ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Análisis Granulométrico de Agregado Grueso

Origen:		Mina "Alvarado Ortiz"							
Fecha:		miércoles, 6 de noviembre de 2024							
Ensayado por:		Genesis Janeth Freire Herrera							
Norma:		NTE INEN 696:2010 / ASTM C 136							
Muestra (gr):		5000		**Pérdida de muestra:**		0,99			
Tamiz pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que pasa (%)**	**Límite Inferior (%) NTE INEN 872**	**Límite Superior (%) NTE INEN 872**	**CONTROL**	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	PASA
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	PASA
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	
3/4"	19,05	435,00	435,00	8,78	91,22	90	100	PASA	PASA
1/2"	12,70	2524,50	2959,50	59,74	40,26	20	55	PASA	PASA
3/8"	9,53	1370,50	4330,00	87,41	12,59	0	15	PASA	PASA
No.4	4,75	479,50	4809,50	97,09	2,91	0	5	PASA	PASA
Bandeja		144,30	4953,80	100,00	0,00	-	-	-	-
		4953,80							
Tamaño Nominal Máximo		3/4"							

TABLA XXXII.
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO _ MINA ALVARADO ORTIZ

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

"Comparación de hormigones elaborados con dosificación de 210 kg/cm2 con y sin adición de ceniza de cáscara de huevo"

Análisis Granulométrico de Agregado Fino

Origen:	Mina "Alvarado Ortiz"				
Fecha:	viernes, 18 de octubre de 2024				
Ensayado por:	Genesis Janeth Freire Herrera				
Norma:	NTE INEN 696:2010 / ASTM C 136				
Muestra (gr):	1000	**Pérdida de muestra:**	0,94		

Tamiz (pulgadas)	**Tamiz (mm)**	**Retenido Parcial (gr)**	**Retenido Acumulado (gr)**	**Porcentaje Retenido Acumulado (%)**	**Porcentaje que pasa (%)**	**Límite Inferior (%) NTE INEN 872**	**Límite Superior (%) NTE INEN 872**	**Control**	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	PASA	
No.4	4,75	20,40	20,40	2,17	97,83	95	100	PASA	PASA
No.8	2,36	154,90	175,30	18,67	81,33	80	100	PASA	PASA
No.16	1,18	182,00	357,30	38,05	61,95	50	85	PASA	PASA
No.30	0,60	183,20	540,50	57,56	42,44	25	60	PASA	PASA
No.50	0,30	205,70	746,20	79,47	20,53	5	30	PASA	PASA
No.100	0,15	123,60	869,80	92,63	7,37	0	10	PASA	PASA
No.200	0,075	50,30	920,10	97,99	2,01	0	3	PASA	PASA
Bandeja		18,90	939,00	100,00	0,00	-	-		
		939,00		288,55					
Módulo de Finura		2,89							



Anexo. 1 Recolección de cáscaras de huevo



Anexo. 2 Secado de cáscaras de huevo



Anexo. 3 Molienda de cáscaras de huevo



Anexo. 4 Calcinación del polvo de cáscara de huevo



Anexo. 5 Obtención de la ceniza de cáscara de huevo



Anexo. 6 Pesaje de los agregados para obtención de contenido de humedad en agregados



Anexo. 7 Ensayo de contenido de humedad



Anexo. 8 Preparación de muestras (agregado grueso)



Anexo. 9 Preparación de muestra (agregado fino)



Anexo. 10 Obtención de la densidad compactada a partir del método de varillado



Anexo. 11 Obtención de densidad suelta a partir del método de paladas



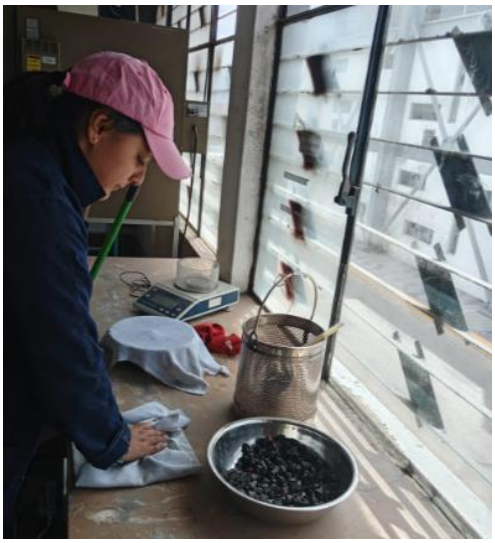
Anexo. 12 Obtención de la densidad compactada de la mezcla



Anexo. 13 Obtención de la densidad compactada de la mezcla



Anexo. 14 Obtención de estado SSS para agregado grueso



Anexo. 15 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado grueso



Anexo. 16 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado grueso



Anexo. 17 Obtención de estado SSS en agregado fino



Anexo. 18 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado fino



Anexo. 19 Obtención de la gravedad específica y capacidad de absorción del agregado fino



Anexo. 20 Obtención de la densidad real del cemento



Anexo. 21 Obtención de la granulometría para agregado grueso



Anexo. 22 Obtención de granulometría para agregado grueso



Anexo. 23 Elaboración de hormigón



Anexo. 24 Colocación del hormigón en una bandeja



Anexo. 25 Colocación del hormigón en el cono de Abrams



Anexo. 26 Elaboración del ensayo de asentamiento



Anexo. 27 Medición del asentamiento de las mezclas



Anexo. 28 Compactación de cilindros



Anexo. 29 Elaboración de probetas de hormigón



Anexo. 30 Desencofrado de probetas de hormigón



Anexo. 31 Curado de probetas de hormigón



Anexo. 32 Curado de probetas de hormigón en plástico



Anexo. 33 Ensayo de resistencia a compresión



Anexo. 34 Desalojo de desperdicios