UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

Trabajo de Titulación, Modalidad trabajo experimental previo a la obtención del Título de Ingeniería Civil, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato

Autora: Valeria Estefania Moreno Meza

Tutor: Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

Ambato – Ecuador

2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL",** elaborado por el estudiante Valeria Estefania Moreno Meza, portador de la cédula de ciudadanía número 1851018802, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo de titulación, bajo la modalidad trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2026



.....

Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

C.C. 1802163038

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Valeria Estefania Moreno Meza,** con C.I. 1851018802 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL"**, 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, enero 2026



.....

Valeria Estefania Moreno Meza

C.C. 1851018802

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, enero 2026



.....

Valeria Estefania Moreno Meza

C.C. 1851018802

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Valeria Estefania Moreno Meza**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL".**

Ambato, enero 2026

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldas, Mg.	Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg.
C.C. 1802229227	C.C. 1803324894
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A la fuerza más pura que me ha sostenido, a la ternura que me ha acompañado en cada paso, a la mujer cuyo amor ha sido mi refugio y mi impulso.

Le dedico este logro a mi madre, Clara, quién ha sido mi mayor fortaleza cuando pensé que ya no tenía ninguna. Por aquellos desvelos silenciosos, sus oraciones constantes, sus manos siempre sostuvieron las mías aun cuando temblaban, una mujer maravillosa que creyó en mi incluso en aquellos momentos en que yo misma dudaba. Este logro alcanzado está ligado a su amor, su paciencia y su forma tan hermosa de acompañarme, amarme y no dejarme rendir.

Y también me lo dedicó a mí.

A la mujer que cayó, lloró y que por un momento quiso abandonar todo, pero que igual se levantó porque entendía que ese sueño que hoy se cumple requería valentía, el camino fue difícil pero hoy abrazo este triunfo con orgullo y con el corazón agradecido.

Valeria Estefania Moreno Meza

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi refugio en cada caída y mi fuerza en cada intento. Por escuchar mis oraciones silenciosas, por abrir caminos cuando yo solo veía barreras y por sostenerme incluso cuando dudaba de mí misma.

A San Antonio de Padua, por acompañar mis pasos, por cada bendición en los momentos exactos y por recordarme que nunca caminé sola, él sabe lo mucho que le pedía que este logro sea haga realidad y por fin lo estoy logrando.

A mi madre, Clara, el amor más grande y firme que la vida me ha regalado. Por enseñarme a luchar incluso cuando me dolía el alma, este triunfo también es de ella porque fue mi raíz y mi impulso.

A mi hermana Patricia, por su cariño, su presencia, sus consejos y su forma tan particular de estar siempre ahí. Por cada sonrisa compartida y por recordarme que lo cotidiano puede ser extraordinario cuando se vive con amor y complicidad.

A mi cuñado, Roberto, por su apoyo, por estar en aquellos momentos en qué más necesite respaldo familiar y por sumar tranquilidad en este camino.

A mis sobrinos Marco y Vivi, por sus risas, su inocencia y por recordarme, sin querer, que la vida siempre tiene motivos para seguir avanzando.

A mis amigos:

Ale, mi amiguita incondicional, gracias por tu compañía en esta maravillosa carrera, por tus palabras de aliento en los días de desánimo.

A Anderson, por su amistad sincera y su compañerismo.

Y al Ing. Freddy, qué más que un amigo fue una guía en aquellos momentos complicados, gracias por tus consejos, y por recordarme que sí era capaz.

A la Universidad Técnica de Ambato, por abrirme las puertas al sueño de formarme como profesional en esta hermosa carrera de Ingeniería Civil y por regalarme experiencias que nunca olvidaré, agradezco profundamente a los docentes de la carrera, por su dedicación, compromiso y valiosas enseñanzas en especial al Ing. Favio Portilla, por su paciencia, su orientación constante y por confiar en mí, a mi tutor, Ing. Carlos Navarro, por su dedicación, por cada corrección que fortaleció este trabajo y por acompañarme con compromiso hasta el final.

A todos ustedes, gracias por ser mi apoyo, mi aliento y mi compañía en uno de los caminos más importantes de mi vida.

Este logro lleva un pedacito de cada uno en su historia.

Valeria Estefania Moreno Meza

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTOS vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO ix
ÍNDICE DE FIGURAS xi
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xv
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xvii
RESUMEN EJECUTIVO xviii
ABSTRACT xix
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACION 1
II. ANTECEDENTES 1
III. OBJETIVOS 3
A. OBJETIVO GENERAL 3
B. OBJETIVOS ESPECIFICOS 3
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 5
I. EQUIPOS Y MATERIALES 5
II. METODOS DE INVESTIGACION 6
A. FASE I 6
B. FASE II 25
C. FASE III 27
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 28
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 28
A. FASE I 28

B. FASE II 39
C. FASE III 47
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 56
A. HIPÓTESIS 56
B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 57
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 58
I. CONCLUSIONES 58
II. RECOMENDACIONES 59
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 60
ANEXOS 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Peso de la probeta graduada con espuma. 8
Fig. 2. Espuma recién generada para el ensayo. 9
Fig. 3. Mezcla del cemento con el agente espumante. 9
Fig. 4. Verificación del tamaño de burbujas. 10
Fig. 5. Muestra de arena seca sacada del horno. 11
Fig. 6. Densidad suelta del agregado fino. 11
Fig. 7. Densidad compacta del agregado grueso. 12
Fig. 8. Densidad compactada de la mezcla. 13
Fig. 9 . Muestra para la capacidad de absorción. 14
Fig. 10. Picnómetro con el agregado fino. 15
Fig. 11. Muestra de gasolina para el ensayo. 16
Fig. 12. Tamizado del agregado fino. 17
Fig. 13. Tamizado del agregado grueso. 18
Fig. 14. muestras cilíndricas para el ensayo. 26
Fig. 15. Ensayo a compression. 26
Fig. 16. Representación del porcentaje máximo y óptimo de los agregados. 32
Fig. 17. Curva granulométrica del agregado fino. 34
Fig. 18 Curva granulométrica del agregado grueso. 35
Fig. 19 Densidad del hormigón (7 días). 48
Fig. 20 Densidad del hormigón (14 días). 49
Fig. 21 Densidad del hormigón (21 días). 49
Fig. 22 Densidad del hormigón (28 días). 50
Fig. 23 Densidad del hormigón a todas las edades. 51
Fig. 24 Resistencia a compresión (7 días). 52
Fig. 25 Densidad del hormigón (14 días). 52
Fig. 26 Densidad del hormigón (21 días). 53
Fig. 27 Densidad del hormigón (28 días). 54
Fig. 28 Densidad a compresión de todas las edades. 54
Fig. 29 Costos y Resistencia del porcentaje óptimo 56

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I
LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PARA AGREGADO FINO (2002) [18]..... 16
TABLA II
REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA ÁRIDOS GRUESOS (2002) [18] 17
TABLA III
RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN [22] 18
TABLA IV
DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES [23] 19
TABLA V
REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE[23] 19
TABLA VI
RELACIÓN AGUA-CEMENTO [23] 20
TABLA VII
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN 21
TABLA VIII
NÚMERO TOTAL DE PROBETAS 25
TABLA IX
DENSIDAD DE LA ESPUMA 29
TABLA X
ESTABILIDAD DE LA ESPUMA 30
TABLA XI
ESTABILIDAD DEL LA ESPUMA 30
TABLA XII
DENSIDAD APATENTE SUELTA Y COMPACTA DE LOS AGREGADOS 31
TABLA XIII
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS 33
TABLA XIV
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO 33

TABLA XV
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM^2 36
TABLA XVI
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (1%)..... 37
TABLA XVII
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (2%)..... 37
TABLA XVIII
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (3%)..... 38
TABLA XIX
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (4%)..... 38
TABLA XX
DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (5%) 39
TABLA XXI
DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (7 DÍAS) ... 40
TABLA XXII
DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (14 DÍAS) . 41
TABLA XXIII
DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (21 DÍAS) . 42
TABLA XXIV
DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (28 DÍAS) . 43
TABLA XXV
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (7 DÍAS)..... 43
TABLA XXVI
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (14 DÍAS)..... 45
TABLA XXVII
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (21 DÍAS)..... 46
TABLA XXVIII
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (28 DÍAS)..... 47

TABLA XXIX
PRESUPUESTO DEL HOMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR..... 55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Contenido de humedad del agregado grueso 64
Anexo 2: Contenido de humedad del agregado fino 64
Anexo 3: Densidad suelta y compacta de los agregados 65
Anexo 4: Densidad compactada de la mezcla 66
Anexo 5: Porcentajes y pesos unitarios de la mezcla 66
Anexo 6: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino 67
Anexo 7: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso 68
Anexo 8: Densidad real del cemento 69
Anexo 9: Análisis granulométrico del agregado grueso 70
Anexo 10: Análisis granulométrico del agregado grueso 71
Anexo 11: APU (Hormigón tradicional) 72
Anexo 12: APU (Hormigón celular 1%) 73
Anexo 13: APU (Hormigón celular 2%) 74
Anexo 14: APU (Hormigón celular 3%) 75
Anexo 15: APU (Hormigón celular 4%) 76
Anexo 16: APU (Hormigón celular 6%) 77
Anexo 17: Cuarteado del material 78
Anexo 18: Gasolina para el ensayo de densidad real 78
Anexo 19: Material en agua para el ensayo de capacidad de absorción 78
Anexo 20: Espuma para ensayo de densidad y estabilidad 78
Anexo 21: Densidad compactada de la mezcla 78
Anexo 22: Baño María para regular la temperatura 78
Anexo 23: Análisis granulométrico de agregado fino 79
Anexo 24: Densidad suelta de la arena 79
Anexo 25: Cantidad de cemento para determinar la densidad real 79
Anexo 26: Densidad suelta del ripio 79
Anexo 27: Densidad compactada de la mezcla 79
Anexo 28: Muestra para determinar la densidad de la arena 79
Anexo 29: Canastilla para determinar la capacidad de absorción del agregado grueso 80
Anexo 30: Compactación para la densidad de la mezcla 80
Anexo 31: Toma de temperatura 80

Anexo 32: Cemento para elaborar las probetas 80
Anexo 33: Densidad real del cemento 80
Anexo 34: Medida del detergente 80
Anexo 35: Mezcla del hormigón celular 81
Anexo 36: Agente espumante 81
Anexo 37:Incorporación de agente espumante a la mezcla 81
Anexo 38: Medida del asentamiento 81
Anexo 39: Hormigón celular luego del ensayo 81
Anexo 40 Probeta con 2% de agente espumante 81
Anexo 41: Ensayo a compresión de la probeta 82
Anexo 42: Modelo de rotura del hormigón 82
Anexo 43: Modo de rotura después del ensayo a compresión 82

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Material
CA	Capacidad de absorción
CH	Contenido de humedad
E%	Estabilidad de la espuma
NTE INEN	Norma Técnica Ecuatoriana
CA(%)	Capacidad de absorción
DRA	Densidad real del agregado fino
DRC	Densidad real del cemento
MF	Módulo de finura
C	Contenido de cemento
w/c	Relación agua- cemento
AG	Agregado grueso.
$\mathbf{V_{AG}}$	Volumen del agregado grueso.
$\mathbf{V_{AG}}$	Densidad del agregado grueso.
MAG	Masa del agregado grueso en estado grueso.
HUM	Estado con humedad.
WAG	Contenido de humedad del agregado grueso.
MAF	Masa del agregado fino en estado seco.
HUM	Estado con humedad.
WAF	Contenido de humedad del agregado fino.
ABSAG	Absorción del agregado grueso.
WAG	Contenido de humedad del agregado grueso.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo desarrolla un análisis comparativo entre el hormigón celular elaborado con diferentes porcentajes de agente espumante (1%, 2%, 3%, 4% y 5%) frente al hormigón tradicional, con la finalidad de evaluar la densidad, resistencia a compresión y costos. La investigación se desarrolla con la necesidad de reducir el peso del hormigón, optimizando los áridos para así reducir el impacto ambiental y económico, ya que la densidad aumenta el consumo de agregados y por ende aumenta el costo en obra.

La metodología se llevó a cabo en tres fases: caracterización de agregados pétreos y dosificación usando el método de la ACI 211.1, continuando con la fabricación y curado de las probetas en base a la norma NTE INEN 1573 y 1576 y finalmente el análisis de resultados obtenidos. Las probetas cilíndricas elaboradas fueros de (100x200 mm, tres para cada porcentaje espumante y sus propiedades fueron analizadas para todas las edades, se realizó mediciones de densidad y resistencia a compresión, tomando el promedio de las tres probetas.

Los resultados muestran una reducción de la densidad al incorporar el agente espumante, sin embargo, no es de forma lineal. El hormigón tradicional presentó los valores más altos de densidad, alcanzando hasta 2310.5 kg/m^3 a los 14 días, mientras que el hormigón celular más liviano fuel el de la mezcla del 3% con un valor de 2251.7 kg/m^3 a los 28 días. En cuanto a la resistencia, el porcentaje óptimo igual fue del 3%, alcanzando una resistencia de 255.95 kg/cm^2 a los 28 días, superando así al hormigón tradicional que solo obtuvo un valor de 213.12 kg/cm^2, los demás porcentajes presentaron resistencias menores, pero igual superando al hormigón tradicional, algo que hay que recalcar es que a medida que sube el porcentaje de espumante se genera mayor porosidad y su resistencia baja, el porcentaje del 3% aumentó un 21% frente al hormigón tradicional. El análisis de costos reflejó una reducción progresiva a medida que aumenta el porcentaje de espumante, el mayor costo es del hormigón tradicional con 138.87 USD/m^3, mientras que el menor fue del 5% con 137.63 USD/m^3.

En conclusión, el hormigón celular con un porcentaje del 3% de agente espumante fue el óptimo, este posee una menor densidad combinado con el aumento de resistencia y es más económico que el hormigón tradicional.

PALABRAS CLAVE: HORMIGÓN CELULAR, HORMIGÓN TRADICIONAL, AGENTE ESPUMANTE, DENSIDAD DEL HORMIGÓN, RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

ABSTRACT

The present work develops a comparative analysis between cellular concrete produced with different percentages of foaming agent (1%, 2%, 3%, 4%, and 5%) and traditional concrete, with the purpose of evaluating density, compressive strength, and costs. The study arises from the need to reduce the weight of concrete, optimizing aggregates to decrease environmental and economic impacts, since higher density increases aggregate consumption and consequently raises construction costs.

The methodology was carried out in three phases: characterization of aggregates and mix design using the ACI 211.1 method, followed by the fabrication and curing of the specimens based on NTE INEN 1573 and 1576 standards, and finally the analysis of the obtained results. Cylindrical specimens (100×200 mm) were prepared—three for each foaming percentage—and their properties were evaluated at all curing ages. Measurements of density and compressive strength were performed, taking the average of the three specimens.

The results show a reduction in density when incorporating the foaming agent; however, this behavior is not linear. Traditional concrete exhibited the highest density values, reaching up to 2310.5 kg/m³ at 14 days, while the lightest cellular concrete mix was the 3% formulation, with a density of 2251.4 kg/m³ at 21 days. Regarding compressive strength, the optimal percentage was also 3%, achieving a strength of 255.95 kg/cm² at 28 days, surpassing traditional concrete, which reached only 213.12 kg/cm². The other mixes exhibited lower strengths, although still exceeding the traditional concrete. It is important to highlight that as the percentage of foaming agent increases, porosity rises and strength decreases; the 3% mix increased its strength by 21% compared to traditional concrete.

The cost analysis revealed a progressive reduction as the foaming agent percentage increased. Traditional concrete showed the highest cost at 138.87 USD/m³, while the lowest cost corresponded to the 5% mix, at 137.63 USD/m³.

In conclusion, cellular concrete with 3% foaming agent was the optimal mixture, as it achieved lower density combined with higher strength and was more economical than traditional concrete.

KEYWORDS: CELLULAR CONCRETE, TRADITIONAL CONCRETE, FOAMING AGENT, CONCRETE DENSITY, COMPRESSIVE STRENGTH.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACION

La investigación responde a la necesidad de identificar soluciones constructivas más sostenibles y eficientes frente a los desafíos actuales del sector, como la reducción del peso estructural, el uso racional de materiales y la disminución del impacto ambiental siendo el hormigón tradicional responsable de alrededor del 7% de las emisiones globales de CO2 debido a la fabricación de cemento Portland, además por producir costos elevados por su alta densidad, la demanda de acero de refuerzo y cimentaciones robustas[1]. El hormigón celular fabricado con agente espumante surge como una alternativa innovadora al hormigón tradicional, al ofrecer ventajas como menor densidad, propiedades aislantes y ahorro de recursos[2]. La elaboración de hormigón celular a base de detergente líquido se proyecta como una alternativa viable, accesible y sobre todo muy económica, reduciendo la densidad del material, mejorando el aislamiento térmico y acústico y sobre todo reduciendo el uso de áridos. Para garantizar su aplicación adecuada, resulta esencial analizar su comportamiento mecánico, especialmente en términos de resistencia a compresión[3]. Sin embargo, existe un enorme vacío acerca del conocimiento técnico sobre el comportamiento que realmente presenta este tipo de espumante por lo cual este estudio busca generar una información a base del experimento que sea confiable para establecer correlaciones precisas entre diferentes dosificaciones de espumante y sus propiedades de densidad y resistencia a compresión además, realizar comparaciones claras entre ambos tipos de hormigón y aportar información técnica que promueva el uso de tecnologías más ligeras y sostenibles en el ámbito constructivo ecuatoriano[3]. Dichos resultados serán beneficiosos para profesionales del mundo de la construcción, empresas constructoras y a la población que quiera implementar técnicas y soluciones económicas y sostenibles, sembrando bases para futuras investigaciones enfocando en áreas como son la durabilidad, un buen comportamiento térmico y algo muy importante que es la dosificación del hormigón celular en el ámbito ecuatoriano.

II. ANTECEDENTES

El análisis comparativo [4] el cual fue desarrollado como tesis en la Universidad Estatal Península de Santa Elena de la República del Ecuador, realizó una comparación entre espumantes comerciales (KV-LITE AFFF, Sika Poro Plus, RV 2000-2) y un jaboncillo de base natural (Sapindus Saponaria) para la fabricación de hormigón celular con una densidad de 400 Kg/m^3. Se evaluó la resistencia y densidad basada en la norma ACI 523.1R.06, dentro de lo

cual con el espumante añadido Kv Lite AFFF JAB se obtuvo una resistencia máxima a compresión de 1.51 MPa con una eficiencia del 64.6% y por el contrario con el espumante RV 200-2 JAB una resistencia de 1.08 MPa. El espumante de jabón natural presentó complicaciones para el desarrollo de una espuma adecuada para la fabricación del hormigón celular por ende su resistencia fue menor.

El artículo [5] tuvo como objetivo determinar la relación que hay entre la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular. Dichos investigadores experimentaron con diferentes relaciones de arena-cemento, seleccionando así la más óptima 1:1.5 con una dosificación de espuma con porcentajes del 20%, 25%, 30% y 35%, además incluyeron un residuo industrial de aceite de palma, para lo cual se obtuvo una densidad de 2.130 kg/m^3 y una resistencia de 28 MPa, siendo a mayor arena, mayor densidad y resistencia, en cuanto a la espuma el porcentaje del 25% fue el más óptimo dando como resultado una densidad de 1.625 kg/m^3 y una resistencia de 7.5 MPa con una relación agua-cemento de 0.50.

En el artículo [5] se realizó un estudio comparativo entre el hormigón celular y el hormigón tradicional, en el cual se fabricó probetas de hormigón celular con densidades de 400 y 1600 kg/m^3, las cuales fueron comparadas con el hormigón tradicional con densidad de 2200-2500 kg/m^3, se midió la resistencia a compresión y se hizo un análisis del comportamiento estructural. Tras realizar este ensayo de obtuvo una resistencia a compresión de alrededor de 1 y 10 MPa a una edad de 28 días, esto dependiendo de la densidad. El hormigón tradicional superó en gran medida dichos valores (>25 MPa), por lo cual se determinó que el hormigón celular es recomendable para elementos no estructurales como bloques, paneles, aislantes, ya que no reemplaza de manera directa al hormigón tradicional.

El artículo de revista [6] realizó un experimento en el cual elaboró bloques de hormigón celular con densidades de alrededor de 1000-1400 kg/m^3, añadiendo aditivos industriales como ceniza volante (fly ash), sílice fume (microsílice) y polvo de mármol que fue un sustituto parcial de la arena, en dicho experimento de evaluó las propiedades físicas y mecánicas como la resistencia a compresión a las edades de 7 y 20 días, conductividades térmicas y la absorción de agua. Los resultados obtenidos arrojaron que con la incorporación de aditivos la resistencia del hormigón celular aumentó de manera significativa con valores de 12-15 MPa a la edad de 28 días, esto es aplicable para estructuras livianas, en cuanto a la conductividad térmica el hormigón celular fue un 40% menor que el hormigón tradicional, de esta manera se confirma su eficiencia como aislante. La resistencia fue mayor en el hormigón tradicional con valores de

25-35 MPa, pero el desempeño en aislamiento fue menor, algo destacable fue que la incorporación de sílica fume ayudó para mejorar la resistencia.

El artículo [7] recopiló más de 40 artículos científicos basado en el hormigón celular para realizar una comparación con el hormigón tradicional, dicho análisis se basó en ver la densidad seca del material, la resistencia que tendrá a compresión a las edades de 7 y 28 días, absorción de agua, porosidad, aplicaciones estructurales y no estructurales, de igual manera se revisó técnicas de producción como la espuma preformada con la mezcla directa. Los resultados obtenidos fueron que el hormigón celular tiene densidades entre 400-1600 kg/m^3 en comparación a las densidades del hormigón tradicional que tiende a valores de 2200-2500 kg/m^3, la resistencia a compresión del hormigón celular está dentro del rango de 1-10 MPa en comparación al hormigón tradicional con valores de 25-40 MPa. La ventaja que más resalta es que mientras más se reduce el peso se mejora el aislamiento térmico/acústico, pero, por otra parte, la desventaja es que tiene una resistencia mecánica muy baja y si no se controla de la mejor manera el agente espumante los resultados suelen ser muy variables.

El artículo científico [8] experimentó fabricando probetas de hormigón celular con densidades de 600, 900 y 1200 kg/m^3, su enfoque netamente fue en la comparación de la resistencia a compresión y la densidad frente al hormigón tradicional con una densidad de 2400 kg/m^3 a las edades de 7 y 28 días. Para una densidad de 600 kg/m^3 del hormigón celular se logró una resistencia muy baja de alrededor de 3-4 MPa, 900 kg/m^3 una resistencia media de 6-8 MPa, 120 kg/m^3 una resistencia aceptable de 10-12 MPa y para el hormigón tradicional de 2400 kg/m^3 la densidad está por encima de los 35 MPa. Se confirmó que la relación directa densidad-resistencia, si se aumenta la densidad del hormigón celular la resistencia aumenta y dicho hormigón es recomendable para elementos livianos y prefabricados.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante en relación con el hormigón tradicional, con el fin de evaluar su vialidad como material alternativo en la construcción.

B. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Caracterizar los agregados pétreos mediante ensayos de laboratorio para obtener sus propiedades físico-mecánicas y realizar la dosificación para diferentes porcentajes de agente espumante: 1%, 2%, 3%, 4% y 5% frente al hormigón tradicional.

2. Determinar la densidad y resistencia a compresión de las muestras cilíndricas de hormigón celular y hormigón tradicional a las edades de 7, 14, 21 y 28 días.
3. Analizar los resultados obtenidos respecto a densidades, resistencias y costos del hormigón tradicional y el hormigón celular con diferentes porcentajes de agente espumante.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El presente trabajo experimental se basa en una metodología que enfoca directamente la comparación de la densidad y resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con un agente espumante presente en el detergente líquido frente al hormigón tradicional. Para lo cual se adoptó un enfoque cuantitativo, debido a que dicho método permite la obtención de datos medibles y objetivos que promueven un análisis estadístico de los resultados obtenidos. Dicho trabajo se centra en tres fases: la primera fase se sustenta en la caracterización de los agregados y la dosificación correspondiente, la segunda se enfoca en la fabricación, curado y los ensayos correspondientes de densidad y compresión de los cilindros y para finalizar con la tercera en la cual se hará el análisis e interpretación de resultados. Cada fase está claramente estructurada basadas en normativas técnicas y procedimientos confiables y bajo control de laboratorio, de esa manera se garantiza transparencia y confiabilidad de los datos obtenidos en el desarrollo del trabajo experimental.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

A continuación, se detalla los equipos y materiales empleados en cada una de las fases antes ya mencionadas para dicho trabajo experimental, conjuntamente con sus características correspondientes.

La fase I se centró en la caracterización de los materiales y la dosificación de las mezclas tanto para el hormigón celular como para el hormigón tradicional, para lo cual se inició con la selección y preparación de materiales, cabe recalcar que los agregados tanto fino como grueso son procedentes la mina “ALVORTIZ”, se usó un cemento Portland Holcim y para lo que respecta a la elaboración del hormigón celular detergente líquido como agente espumante, posterior a ello se procedió a realizar los ensayos pertinentes de laboratorio como son análisis granulométrico, densidad de los agregados y cemento, módulo de finura, pesos específicos y absorción de agregados finos, contenido de humedad de los agregados y gravedad específica y en lo que respecta a la espuma ensayos de densidad, estabilidad, tamaño de burbuja y compatibilidad con el cemento. Para culminar con esta fase se diseñó la dosificación respectiva basada en los resultados de los ensayos obtenidos, para lo cual se usó el método de la ACI.

Para esta fase se utilizó balanzas electrónicas (SHIMADZU), horno eléctrico (CONTROLS), conjunto de tamices (HUMBOLDT), picnómetro (HUMBOLDT), canastilla metálica, batidora, lupa, recipientes y bandejas cuadradas para el almacenamiento de los agregados.

La fase II, consistió en la fabricación, curado y ensayos de la densidad y resistencia de las probetas tanto del hormigón celular como el hormigón tradicional. Esta etapa es fundamental para determinar la influencia del agente espumante, el cual es el detergente líquido en la densidad y resistencia a compresión del hormigón a edades de 7,14, 21 y 28 días. Para ello, se elaboraron 3 probetas cilíndricas por cada uno de los porcentajes planteados en los objetivos para las diferentes edades, de igual manera el mismo número para el hormigón tradicional dando un total de 72 muestras las cuales fueron ensayadas para su respectiva comparación y análisis de resultados.

Los materiales utilizados para esta fase fueron cilindros metálicos de (100 mm x 200 mm), maso de goma, palustre, cono de Abrams, varillas, aceite quemado, probeta graduada, pala, pala de mano, recipientes, batidora y máquina de compresión (SHIMADZU, CONCRETO 2000X con capacidad de hasta 2000 kN).

Para finalizar en la fase III, se realizó el análisis de resultados, este se enfocó en la comparación tanto de los datos obtenidos del hormigón celular como el hormigón tradicional, comparando la densidad, resistencia y los respectivos costos de cada uno y a su vez analizando si el trabajo experimental dio éxito o no. Esta etapa es fundamental para determinar si es viable o no el uso de detergente líquido como agente espumante para la fabricación de hormigón y su uso estructural. Como material fundamental de esta etapa fue una laptop (HP CORE I7) la cual contiene las herramientas necesarias para el procesamiento de datos.

II. METODOS DE INVESTIGACION

Una vez establecido los objetivos, materiales y equipos para el desarrollo del trabajo experimental, se detalla de manera clara y concisa cada uno de los procedimientos de cada método utilizado para las tres fases de estudio mencionadas, iniciando por la primera que se enfocó en la caracterización de agregados pétreos, agente espumante y su respectiva dosificación por el método de la ACI, siguiendo con la elaboración, curado y ensayo de densidad y resistencia a compresión de las muestra cilíndricas, finalizando con la última fase que abarca la interpretación y análisis de resultados, enfocándose principalmente en la densidad, resistencia y los costos de cada hormigón .

A. FASE I

Esta fase se realizó la caracterización cada uno de los agregados pétreos para obtener las propiedades físico-mecánicas al igual que respectivos ensayos del espumante casero que es el detergente líquido y a su vez la respectiva dosificación para la elaboración tanto del hormigón

tradicional como para el hormigón celular con los diferentes porcentajes de espumante. Todo esto se llevó a cabo utilizando métodos que están respaldados por la normativa y que se detalla a continuación.

1. Ensayo de densidad de espuma (ASTM C796)

Este ensayo se basó en la norma ASTM C796, el cual consiste en determinar el peso por unidad de volumen de la espuma generada, esto es fundamental ya que nos ayudará a controlar la incorporación del aire en el hormigón celular. El procedimiento de este ensayo es muy sencillo, consiste en llenar una probeta graduada de aproximadamente un litro con espuma recién elaborada, la espuma generada en una proporción aproximada de 1:20, hay que evitar la presencia de líquido libre y a su vez se pesa (ver Fig. 1). Para determinar la densidad solo basta con dividir el peso de la espuma entre el volumen ocupado, esto es expresado en g/L. Una espuma en buenas condiciones da valores entre 40 y 80 g/L; esto si la densidad es mayor y si la espuma contiene demasiada agua esta llegará al colapso con facilidad, por otro lado, si es muy baja será débil e inestable[9].

$$\rho = \frac{P}{V} \tag{1}$$

Donde:

ρ Densidad (g/L).

P Peso de la espuma (g).

V Volumen ocupado (L).



Fig. 1. Peso de la probeta graduada con espuma.

2. Ensayo de estabilidad de espuma (ASTM C869)

Dicho ensayo se basó en la norma ASTM C869 que permite verificar si la espuma elaborada es capaz de mantener su volumen y estructuras a lo largo del tiempo. Se llenó una probeta graduada como en el ensayo anterior con la espuma que recién se generó (ver Fig.2), en el cual se registró el volumen inicial y se dejó en reposo por aproximadamente 1 hora, luego transcurrido ese tiempo se tomó el volumen final y se comparó con el volumen inicial y de esa manera poder calcular el porcentaje de estabilidad. La espuma será estable si conserva al menos el 90% de su volumen liego transcurrido una hora, esto garantiza que se puede mezclar de manera efectiva y adecuada con el cemento sin alterar sus propiedades[10].

$$\mathrm{E}\ \% = \frac{\mathrm{Vf}}{\mathrm{Vi}}\ x\ 100 \tag{2}$$

Donde:

E% Estabilidad porcentual (%).

Vf Volumen final (mL).

Vi Volumen inicial (mL).



Fig. 2. Espuma recién generada para el ensayo.

3. Ensayo de compatibilidad con cemento (adaptado conforme a la norma ASTM C869)

Este ensayo es de suma importancia para determinar si la espuma generada es compatible al entrar en contacto con el cemento. Su procedimiento es sencillo para lo cual se preparó una pequeña cantidad de pasta con relación agua/cemento de aproximadamente 0,5, a continuación, se mezcla con espuma en proporción 1:1 (ver Fig. 3.), esto se lo realizó agitando de manera suave. Hay que observar que si la espuma colapsa de manera rápida el agente espumante no es compatible con el cemento o a su vez no presenta muy buena estabilidad química, por el contrario, si logra mantenerse por lo menos de 3 a 5 minutos la compatibilidad es la adecuada[10].



Fig. 3. Mezcla del cemento con el agente espumante.

4. Ensayo de uniformidad y desempeño general del agente espumante (ASTM C869)

El objetivo de este ensayo es evaluar la calidad del agente espumante para elaborar el hormigón celular, es necesario verificar la capacidad que tiene para generar una espuma homogénea, estable y sobre todo que tenga burbujas pequeñas y a la vez uniformes. Este se lo realizó diluyendo el detergente en agua en una proporción de aproximadamente 1:20 y generando la espuma, una vez lista con ayuda de una placa de vidrio y una lupa se procedió a examinar la distribución y el tamaño de las burbujas (ver Fig. 4), esto nos garantiza que la espuma tiene o no uniformidad y estabilidad para elaborar un hormigón celular con poros finos, densidad uniforme y buenas propiedades mecánicas[10].



Fig. 4. Verificación del tamaño de burbujas.

5. Contenido De Humedad – NTE INEN 862

El ensayo de contenido de humedad nos permite determinar la cantidad de agua que se encuentra en los agregados, además es de suma importancia para el tema de resistencia y trabajabilidad del hormigón, se hizo en base a la norma NTE INEN 862 [11]. El ensayo se realizó pesando muestras tanto del agregado fino como el agregado grueso en condiciones naturales y se colocó en un horno a 110°C ± 5 para su secado, de esta manera se elimina el agua superficial y la contenida en sus poros, y al final solo se pesó las muestras sacadas del horno, se restó y se estableció en porcentaje (ver Fig. 5) [11].

$$\%\mathrm{CH} = \frac{W - D}{\mathrm{D}}\ x\ 100 \tag{3}$$

Donde:

%H Contenido de humedad (%).

W Masa de la muestra húmeda (gr).

D Masa de la muestra completamente seca (gr).



Fig. 5. Muestra de arena seca sacada del horno.

6. Densidad Aparente Suelta y Compactada – NTE INEN 858 / ASTM C– 29

Densidad Aparente Suelta

La densidad aparente suelta se la define como la relación existente entre la masa y el volumen de un agregado el cual está en estado suelto, este ensayo es crucial para la dosificación de la mezcla del hormigón. Su procedimiento está establecido en la norma NTE INEN 858 [12], este consistió en llenar un recipiente el cual su volumen es conocido con el agregado (ver Fig. 6), usando el método de paladas. Una vez que se retira el material sobrante, se obtuvo la masa del conjunto y se llevó a cabo el cálculo de la densidad aparente solo dividiendo la masa de dicho agregado entre el volumen del recipiente[12].

Algo importante que hay que destacar que la norma NTE INEN 694 menciona que un agregado es clasificado como árido de densidad normal su peso volumétrico esta entre valores de 1.120 g/cm^3 y 1.920 g/cm^3 [13].



Fig. 6. Densidad suelta del agregado fino.

Densidad Aparente Compactada

La densidad aparente compactada se encarga de la cuantificación de la masa por unidad de volumen del agregado, esto realizado mediante una compactación controlada. Este ensayo se rige mediante la norma NTE INEN 858, el proceso consistió en llenar un molde de igual que el anterior de volumen conocido con el agregado, el llenado fue en tres capas, cada capa aplicando 25 golpes, con ayuda de una varilla se procedió a enrasar y pesar para realizar el cálculo de la densidad, restando la masa del molde vacío y a su vez dividir entre su volumen[12].

$$\text{Densidad aparente suelta/compactada} = \frac{M_m}{V_m}\ x\ 100 \quad (4)$$

Donde:

M_m Masa total de la muestra del agregado.

V_m Volumen total ocupado por la muestra del agregado.



Fig. 7. Densidad compacta del agregado grueso.

7. Densidad Aparente Compactada de la Mezcla – NTE INEN 858 / ASTM C – 29

El desarrollo de este ensayo se llevó a cabo en base a la norma NTE INEN 858, el cual consistió en realizar varias combinaciones con proporciones de agregado grueso que se le completa con el agregado fino, dicha mezcla se compacto en un molde cilíndrico de volumen conocido, se compactó con 25 golpes mediante una varilla (ver Fig. 8), y a continuación se procedió a calcular la densidad aparente compactada para cada combinación mediante la

relación entre la masa de la muestra compactada y el volumen conocido del molde cilíndrico[12].



Fig. 8. Densidad compactada de la mezcla.

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

Basándonos en la norma NTE INEN 857, para poder determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) al igual que la capacidad de absorción del agregado grueso, se procedió a sumergir el agregado en agua por aproximadamente 24± 4 horas, una vez pasado ese tiempo se eliminó la humedad superficial de la muestra con ayuda de un paño absorbente, hasta llegar al estado (SSS), saturado superficialmente seco (ver Fig. 9)[14]. Una vez listo el material se determinó el volumen usando el método de desplazamiento de agua, posterior a ello la muestra se sometió a un secado en el horno para determinar su masa. Algo importante que mencionar es que la densidad real es la relación entre la masa en estado SSS y el volumen que le corresponde[14].

$$\mathrm{DRR} = \frac{\mathrm{M_{sss}}}{\frac{\mathrm{M_{sss}} - \mathrm{M_{En\ Agua}}}{\text{Densidad del agua}}} \tag{5}$$

Donde:

DRR Densidad real del agregado grueso (ripio).

$\mathrm{M_{sss}}$ Masa saturada de superficie seca.

$M_{En\ Agua}$ Masa en contacto con el agua.

La capacidad de absorción fue expresada como el porcentaje de agua que se retuvo en relación con la masa seca del material. Dicho porcentaje debe estar dentro del rango de 0.20% a 4,00%[14].

$$CA\ (\%) = \frac{M_{sss} - M_{seco}}{M_{seco}} \quad (6)$$

Donde:

CA (%) Capacidad de absorción .

M_{sss} Masa saturada de superficie seca.

M_{seco} Masa seca.



Fig. 9 . Muestra para la capacidad de absorción.

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

En la norma NTE INEN 856, se establece la densidad real y la capacidad de absorción del agregado fino. Para el desarrollo de este ensayo se saturó una muestra seca del agregado sumergiendo por 24 ± 4 horas, una vez que paso ese tiempo se retiró el excedente de agua y se llevó la muestra al estado (SSS) mediante el ensayo de humedad superficial, luego se determinó la masa de la muestra y se halló el volumen usando el método gravimétrico por medio del picnómetro (ver Fig. 10)[15].

Algo destacable es que para determinar la capacidad de absorción se tomó una fracción de la muestra en el estado SSS, dicha muestra fue secada en el horno hasta tener una masa constante. El intervalo donde debe encontrarse el porcentaje de absorción es 0.20% a 2,00%[15].

$$\mathrm{DRA} = \frac{\mathrm{M_{sss}}}{V_{\mathrm{sss}}} \tag{7}$$

Donde:

DRA Densidad real del agregado fino (arena).

$\mathrm{M_{sss}}$ Masa saturada de superficie seca.

$\mathrm{V_{sss}}$ Volumen del agua.



Fig. 10. Picnómetro con el agregado fino.

10. Densidad Real del Cemento – NTE INEN 156 / ASTM C – 188

Determinar la densidad real del cemento es de gran importancia, ya que es una propiedad física imprescindible la cual se basa según la norma NTE INEN 156 [16]. El procedimiento es relativamente sencillo, para lo cual se usó el frasco de Le Chatelier, por el cual se introdujo una cantidad de cemento en el frasco ya antes mencionado, conjuntamente con gasolina un líquido no reactivo, de esta manera hizo que el cemento desplace un volumen líquido respectivo al volumen propio[16]. Para el cálculo de dicha densidad se realizó así:

$$\mathrm{DRC} = \frac{\mathrm{M}_c}{V_G} \tag{8}$$

Donde:

DRC Densidad real del cemento.

M_C Masa del cemento.

V_G Volumen del líquido no reactivo (gasolina).



Fig. 11. Muestra de gasolina para el ensayo.

11. Granulometría – NTE INEN 696 – 872 / ASTM C136

El ensayo de granulometría se basó en la norma NTE INEN 696, el objetivo de este ensayo es la clasificación del agregado, seleccionando en fracciones de partículas de tamaños idénticos, para lo cual se utilizó una serie de tamices tanto para el agregado fino como para el grueso (ver Fig. 12 y 13). Una vez obtenido los datos, estos nos permitieron determinar la granulometría de los agregados y a su vez verificar si se cumple o no los criterios especificados [17].

Agregado fino

Tener una calidad apropiada de la arena es fundamental ya que influye directamente en las propiedades del hormigón, en base a la normativa vigente una arena es considerada idónea si cumple con los parámetros granulométricos establecidos (ver TABLA I).

TABLA I
LÍMITES GRANULOMÉTRICOS PARA AGREGADO FINO 2002 [18]

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	0 a 3

El módulo de finura establece de qué manera está distribuido granulométricamente el material, si se cumple con todas las directrices la arena aporta con la cohesión adecuada. Según la norma ASTM C125 el módulo de finura debe estar dentro de los límites 2,3 a 3,1[19].

El cálculo de realiza de la siguiente manera:

$$\mathrm{MF} = \frac{\%\text{acumulado } \#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, \frac{3}{8}, \text{etc} \ldots}{100} \quad (8)$$

Donde:

MF Módulo de finura.

$\%_{\text{acumulado}}$ Porcentaje retenido acumulado de los tamices mayores #100.



Fig. 12. Tamizado del agregado fino.

Agregado grueso

La calidad del ripio es fundamental para garantizar resistencia y durabilidad a la estructura, para lo cual debe cumplir con lo establecido en la normativa vigente (ver TABLA II)[20].

TABLA II

REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA ÁRIDOS GRUESOS 2002 [18]

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. 13. Tamizado del agregado grueso.

12. Dosificación

El método ACI 211.1 es un proceso estandarizado para dosificar el hormigón, cuya finalidad es determinar las proporciones adecuadas de cada uno de los componentes, los cuales son, arena, agua, ripio y cemento para cumplir con las propiedades de resistencia, trabajabilidad y durabilidad [21]. Este procedimiento garantizó un diseño lógico y verificable del hormigón, este se adapta a cada una de las condiciones y necesidades de cada proyecto, en este caso utilizó para el hormigón tradicional y el hormigón celular, su proceso es el siguiente:

1) Determinar resistencia de diseño

Se elige la resistencia requerida y se ajusta a la resistencia de diseño (ver TABLA III), según la norma ACI 318-11[22]

TABLA III

RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN [22]

TABLA 1. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
Resistencia especificada a la compresión MPa	**Resistencia especificada a la compresión kgf/cm²**	**Resistencia promedio requerida a la compresión MPa**	**Resistencia promedio requerida a la compresión Kgf/cm²**
$f'c < 21$	$f'c < 210$	$f'cr = f'c + 7.0$	$f'cr = f'c + 70$
$21 \leq f'c \leq 35$	$210 \leq f'c \leq 350$	$f'cr = f'c + 8.3$	$f'cr = f'c + 84$
$f'c > 35$	$f'c > 350$	$f'cr = 1.10f'c + 5.0$	$f'cr = 1.10f'c + 50$

Fuente: ACI 318 - 11

Nota: *f´c* resistencia especificada a la compresión, *f´cr* resistencia promedio requerida a la compresión.

2) Determinar resistencia de diseño

Se toma valores según su uso (ver TABLA IV), según la ACI 211.1-91[23].

TABLA IV

DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES [23]

TABLA 2. DESCENSOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES		
TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Descenso (cm)	
	Mínimo	Máximo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armado	2.50	7.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	2.50	7.50
Vigas y muros de hormigón armado	2.50	10.00
Columnas	2.50	10.00
Pavimentos y losas	2.50	7.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: ACI 211.1-91

3) Tamaño máximo nominal de agregado

Se tomó del análisis granulométrico del agregado grueso (ver ANEXO 10).

4) Cantidad de agua y aire incorporado

Para la selección del contenido de agua y aire los valores se seleccionan en base a los datos anteriores como el asentamiento y el tamaño máximo del agregado (ver TABLA V).

TABLA V

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE[23]

TABLA 3. REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO								
Asentamiento (cm)	Agua(kg/m³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigón	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigón	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición extrema	7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: ACI 211.1 - 91

5) Relación agua/cemento

Se elige en base (ver TABLA VI), normada por la ACI 211.1-91[23]

TABLA VI

RELACIÓN AGUA-CEMENTO [23]

TABLA 4. CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm^2	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: ACI 211.1 - 91

6) Contenido de cemento

Con ayuda de los datos anteriores la cantidad de cemento se determinó mediante la siguiente ecuación

$$C = \frac{W}{w/c} \tag{9}$$

Donde:

C Contenido de cemento.

W Cantidad de agua.

w/c Relación agua-cemento

7) Determinar el contenido de agregado grueso

Con el tamaño nominal máximo y el módulo de finura (ver ANEXO 10 y ANEXO 11), se pudo determinar el contenido del agregado grueso siguiendo el parámetro de la tabla (ver TABLA VII).

TABLA VII

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN

TABLA 5. VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN				
Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1-91

Para la conversión de volumen a peso usamos la siguiente fórmula:

$$\mathrm{AG} = \frac{\mathrm{V_{AG}}}{\mathrm{D_{AG}}} \tag{10}$$

Donde:

AG Agregado grueso.

$\mathrm{V_{AG}}$ Volumen del agregado grueso.

$\mathrm{V_{AG}}$ Densidad del agregado grueso.

8) Determinar el contenido de agregado fino

Dicho contenido se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\mathrm{V_{AF}} = 1 - (\mathrm{V_W} - \mathrm{V_C} - \mathrm{V_{AG}} - \mathrm{V_{aire}}) \tag{11}$$

Donde:

$\mathrm{V_{AG}}$ Volumen del agregado fino.

$\mathrm{V_w}$ Volumen de agua.

V_{AG} Volumen del agregado grueso.

V_{Aire} Volumen del aire.

A continuación, para pasar a peso aplicamos esta fórmula:

$$AF = V_{AF} - D_{AF} \quad (12)$$

Donde:

AF Agregado fino.

V_{AF} Volumen del agregado fino.

D_{AF} Densidad del agregado fino.

9) Ajuste de humedad

Involucra dos parámetros importantes, el peso del agregado húmedo y la cantidad de agua de la mezcla.

Peso del agregado húmedo

$$MAG - HUM = MAG \text{ x } (1 + WAG) \quad (13)$$

Donde:

MAG Masa del agregado grueso en estado grueso.

HUM Estado con humedad.

WAG Contenido de humedad del agregado grueso.

$$MAF - HUM = MAF \text{ x } (1 + WAF) \quad (14)$$

Donde:

MAF Masa del agregado fino en estado seco.

HUM Estado con humedad.

WAF Contenido de humedad del agregado fino.

Cantidad de agua de la mezcla

$$\text{AguaTotal} = \text{Agua} - \text{AguaAG} - \text{AguaAF} \quad (15)$$

Donde:

AguaAG Agua del agregado grueso.

AguaAF Agua del agregado fino.

$$\text{AguaAG} = \text{MAG} - \text{HUM}\,(\text{WAG} - \text{ABSAG}) \quad (16)$$

Donde:

AguaAG Corrección de agua por humedad del agregado grueso.

ABSAG Absorción del agregado grueso.

MAG Masa del agregado grueso en estado seco

HUM Estado con humedad.

WAG Contenido de humedad del agregado grueso.

$$\text{AguaAF} = \text{MAF} - \text{HUM}\,(\text{WAF} - \text{ABSAF})) \quad (17)$$

Donde:

AguaAF Corrección de agua por humedad del agregado fino.

ABSAG Absorción del agregado fino.

MAF Masa del agregado fino en estado seco

HUM Estado con humedad.

WAG Contenido de humedad del agregado grueso.

10) Dosificación al peso

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dosificación al peso} = \frac{\text{Cantidda del material}}{\text{C}} \quad (18)$$

Donde:

C Cantidad de cemento.

11) Cantidades por cada saco de cemento

Se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Material por saco} = 50\ \text{Kg} * \text{dosificación} \quad (19)$$

12) Volumen aparente suelta

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{V} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad aparente}} \quad (20)$$

Donde:

V Volumen aparente suelto.

13) Dosificación en obra

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Parihuelas} = \frac{\text{V}}{\text{V parihuela}} \quad (21)$$

Donde:

V Volumen aparente suelto.

V parihuela Volumen de la parihuela.

14) Cantidades para las probetas

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Material}_{\text{p}} = (\text{Material por m}^3) * \text{V}_{\text{p}} \quad (22)$$

Donde:

$Material_p$ Material para las probetas.

V_p Volumen de las probetas.

B. FASE II

La fase II del proyecto experimental se enfocó en la elaboración, curado y la evaluación de la densidad y resistencia a compresión de las probetas de hormigón celular y hormigón tradicional. Esta fase es crucial para determinar si la presencia del agente espumante dio éxito o no, si este influye o no en la densidad y resistencia con diferentes porcentajes de espumante a varias edades de curado. Las probetas fueron elaboradas bajo requisitos controlados, sometidas a ensayos normalizados, para de esa manera determinar datos precisos y confiables, los cuales se comparó en la fase siguiente [24].

1) Resistencia a la compresión - NTE INE 1573

Para este ensayo se tomó el promedio de tres especímenes cilíndricos de dimensiones 100 x 200 mm, siguiendo lo establecido en la normativa, que menciona el uso de al menos dos cilindros de 150 x 300 mm o tres de 100 x 200 mm [25]. Para lo cual en este trabajo experimental se tomó la segunda opción, tres por cada porcentaje de agente espumante y para cada edad de curado (ver Fig. 14), para garantizar mayor detalle y confiabilidad de lo elaborado (ver TABLA VIII).

TABLA VIII
NÚMERO TOTAL DE PROBETAS

TIPO		**Días de curado**			
		7	14	21	28
Hormigón tradicional (Control)	**Número de probetas**	3	3	3	3
Hormigón celular 1%		3	3	3	3
Hormigón celular 2%		3	3	3	3
Hormigón celular 3%		3	3	3	3
Hormigón celular 4%		3	3	3	3
Hormigón celular 5%		3	3	3	3
Número total de probetas		18	18	18	18
		72			



Fig. 14. muestras cilíndricas para el ensayo.

El procedimiento del ensayo se centró en colocar los cilindros de hormigón en una máquina de compresión (SHIMADZU, CONCRETO 2000X con capacidad de hasta 200 kN) del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato a una velocidad de 0,25 ± 0,05 MPa/s hasta que las probetas lleguen al fallo (ver Fig. 15), siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN 1573[26].

La resistencia a compresión se determinó mediante la división de la carga máxima registrada en el ensayo por el promedio del parea de la sección transversal de la probeta[26].



Fig. 15. Ensayo a compression.

2) Densidad

Para determinar la densidad se tomó el promedio de las masas de las tres probetas y eso dividido para el volumen del cilindro, aplicando las siguientes fórmulas:

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{23}$$

Donde:

ρ densidad del cilindro (kg/m^3).

m masa de cada cilindro (kg).

V volumen del cilindro (m^3).

$$V = \Pi r^2 h \tag{24}$$

Donde:

V Volumen del cilindro (m^3)

r radio del cilindro (m)

h altura del cilindro (m).

C. FASE III

Para finalizar en la fase III se hizo el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos tanto de densidad como resistencia a compresión del hormigón celular y el hormigón tradicional, de igual manera se realizó un análisis de los costos de dichos hormigones, viendo cual es más viable en el mundo de la construcción.

1) Comparación de datos y análisis de resultados

Los datos se organizaron por categoría de mezcla y la respectiva edad de curado, para respaldo de los resultados se elaboraron tablas y gráficos, principalmente se analizó la relación existente entre la densidad y la resistencia a compresión del hormigón, luego se verificó los costos de los mismos. Para terminar, una interpretación acerca del uso del detergente, si este reduce el peso sin afectar la resistencia, al igual que el porcentaje óptimo de espumante para la correcta aplicación estructural.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez culminada la fase metodológica se llega al capítulo III dentro del cual se presentó el análisis y discusión de resultados, tanto del hormigón celular como el hormigón tradicional, dando así respuesta y claridad a cada uno de los objetivos planteados al inicio del trabajo experimental y a su vez dando respuesta a la hipótesis establecida, determinando de la mejor manera si el incorporar un espumante casero dio éxito o a su vez no es viable en el mundo de la construcción.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación en el presente capítulo, se da a conocer el análisis de los resultados obtenidos siguiendo la metodología mencionada en el capítulo anterior, enfocando netamente en la resistencia, densidad y los costos de los hormigones fabricados en este trabajo experimental, manteniendo una estructura clara, coherente y lo más transparente posible para que cualquier lector comprenda y tenga claro de lo realizado en este trabajo y de esa manera pueda establecer una relación entre la metodología y los resultados obtenidos.

A. FASE I

En esta fase se realizó la caracterización de los agregados dando paso al cumplimiento del primer objetivo planteado en el trabajo experimental, para el cumplimiento del mismo se llevó a cabo mediante múltiples ensayos de laboratorio, estos fueron realizados tanto para los agregados pétreos como para el agente espumante con el cual se elaboró el hormigón celular, se llevó a cabo en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, una vez obtenidos los datos de todos los ensayos realizados y a su vez viendo que estos cumplen con cada una de las normativas vigentes se llevó a cabo el respectivo cálculo de la dosificación por el método de la ACI, esto tanto para el hormigón tradicional como para el hormigón celular con los diferentes porcentajes de agente espumante para diferentes edades. Posteriormente se detalla cada uno de los ensayos y la dosificación realizada.

1) Densidad de la espuma

TABLA IX

DENSIDAD DE LA ESPUMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**			
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"			
DENSIDAD DEL ESPUMANTE ASTM C796			
NORMA:	ASTM C796		
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza		
FECHA:	ago-25		
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**
P_p	Peso de la probeta	gr	222.4
P_{p+e}	Peso de la probeta + espuma	gr	276.4
Pe	Peso de la espuma	gr	54
V	Volumen ocupado	L	0.8
ρ_e	Densidad de la espuma	gr/L	67.5

Interpretación: Una vez realizado el ensayo de densidad de la espuma que será incorporada en la elaboración del hormigón celular se obtuvo un resultado de 67.5 gr/L (ver TABLA IX), cuyo valor está dentro del rango de 40gr/L a 80gr/L mencionado en la ASTM C796 [9].

La densidad que se calculó es muy buena y por ende es recomendada para la elaboración del hormigón.

2) Estabilidad de la espuma

TABLA X

ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**			
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"			
ESTABILIDAD DE LA ESPUMA ASTM C869			
NORMA:	ASTM C869		
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza		
FECHA:	ago-25		
DATOS	**DENOMINACIÓN**	**UNIDAD**	**VALOR**
Vi	Volumen inicial	ml	800
Vf	Volumen final	ml	730
E%	Estabilidad de la espuma	%	91.25

Interpretación: El ensayo arrojó un resultado del 91.25 % (ver TABLA X) correspondiente a la estabilidad de la espuma y según la norma ASTM C869 [10] para que una espuma sea recomendable para elaborar hormigón celular debe tener al menos el 90% de su volumen transcurrido el tiempo establecido, dicho tiempo fue una hora cumpliendo con normalidad lo establecido en la normativa.

3) Contenido de humedad

TABLA XI

ESTABILIDAD DEL LA ESPUMA

Propiedad	**Unidad**	**Agregados (Mina ALVORTIZ)**
Contenido de humedad (Agregado fino)	%	5.57
Contenido de humedad (Agregado grueso)	%	2.82

Interpretación: En el contenido de humedad se obtuvo los siguientes resultados: para lo que le corresponde al agregado grueso un valor de 2.82% y para el agregado fino 5.57% (ver TABLA XI), claramente se puede observar que el contenido de humedad de estos agregados es

mínimo. Determinar estos valores son esenciales a la hora de realizar la dosificación, ya que si estos valores fallan o el ensayo esta incorrecto se verá afectada en la resistencia al igual que se puede presentar el fenómeno de segregación o exudación en la mezcla.

4) Densidad aparente suelta y densidad compactada

Una vez determinado los valores del contenido de humedad de los agregados se procedió a realizar la densidad aparente suelta y densidad compactada.

TABLA XII
DENSIDAD APATENTE SUELTA Y COMPACTA DE LOS AGREGADOS

Propiedad	**Unidad**	**Agregado fino (Mina ALVORTIZ)**	**Agregado grueso (Mina ALVORTIZ)**	**Límite Inferior (NTE INEN 694)**	**Límite Superior (NTE INEN 694)**
Densidad aparente suelta	gr/cm^3	1.623	1.450	1.120	1.920
Densidad aparente compacta	gr/cm^3	1.739	1.591		

Interpretación: En la densidad compactada del agregado grueso se obtuvo un peso unitario promedio de 1.591 kg/dm³, mientras que para el agregado fino el valor registrado fue 1.739 kg/dm³, siendo este superior al anterior (ver TABLA XII), demostrando que tiene una mayor compactación y menor porosidad en el agregado fino. Por otra parte, la densidad suelta arrojó valores menores, 1.45 kg/dm³ para el agregado grueso y 1.62 kg/dm³ para el agregado fino (ver TABLA XII), esto nos demuestra que hay menor densificación al no compactar. Para ver de manera detallada el procedimiento (ver Anexo 2).

De manera general se concluye que el agregado fino tiene mayor densidad aparente que el agregado grueso en ambas condiciones, esto se da porque el tamaño de sus partículas es menor y por ende estas se acomodan de la mejor manera y llenan los espacios vacíos.

5) Densidad aparente suelta y densidad compactada de la mezcla

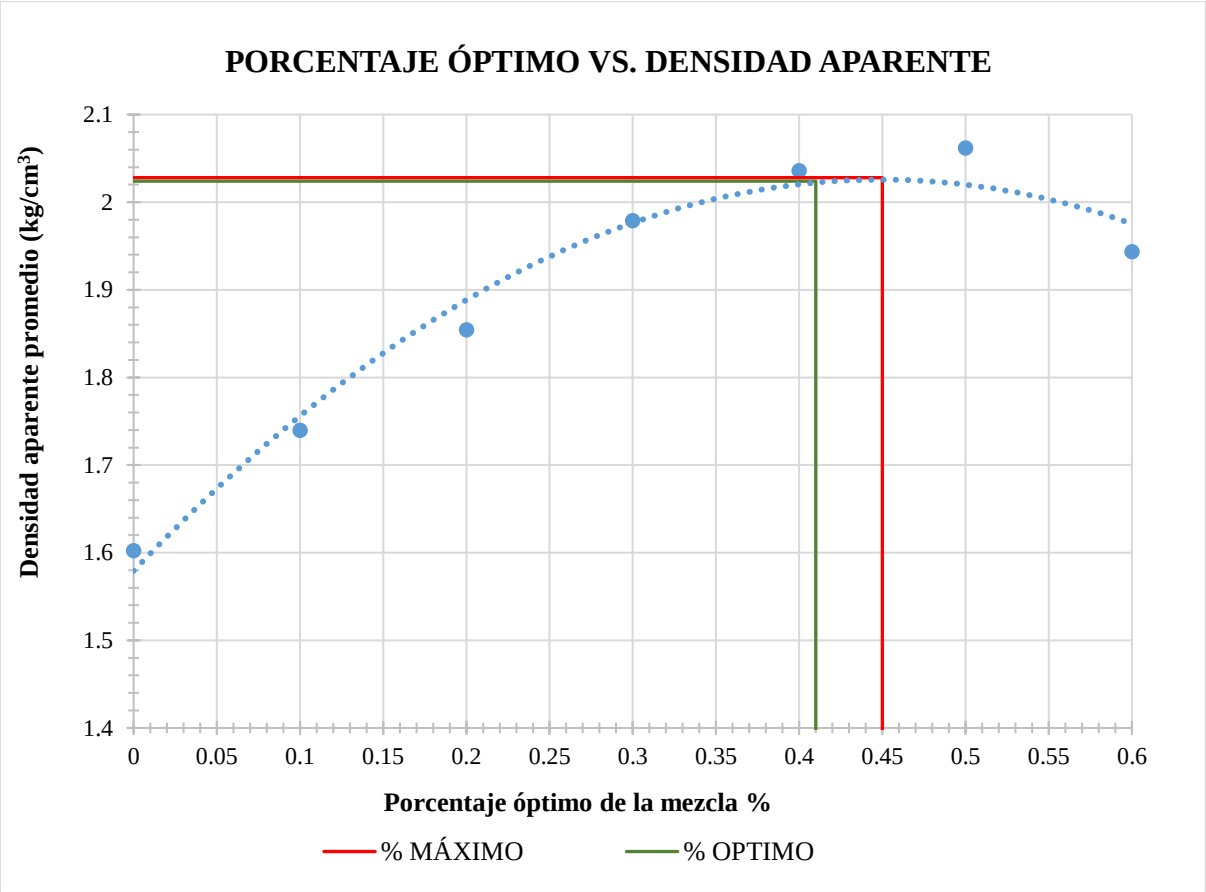


Fig. 16. Representación del porcentaje máximo y óptimo de los agregados.

Interpretación: Los resultados obtenidos muestran la densidad aparente compactada de la mezcla tanto del agregado fino como el agregado grueso en diferentes proporciones (ver Fig. 16) para así poder determinar el porcentaje óptimo de la mezcla. Se evidencia claramente que a medida que aumenta el contenido de agregado fino, la densidad de igual manera incrementa, llegando así a su valor máximo de 2.028 kg/dm³ a un porcentaje de 45 % de agregado fino y 55 % de agregado grueso.

El punto óptimo donde se adquiere una buena compactación y distribución de partículas, eliminando el exceso de vacíos es en una proporción de 41% de agregado fino y 59% de agregado grueso, con una densidad aparente de 1.024 kg/dm^3 (ver Anexo 4 y Anexo 5)

6) Densidad Real y Capacidad de Absorción de los agregados

TABLA XIII

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Propiedad	**Unidad**	**Agregados (Mina ALVORTIZ)**
Densidad real (Arena)	gr/cm^3	2.575
Capacidad de absorción	%	2.15
Densidad real (Ripio)	gr/cm^3	2.733
Capacidad de absorción	%	3.36

Interpretación: Los ensayos realizados demuestran que el agregado fino tiene una densidad real de 2.575 g/cm³, esta está dentro del rango típico de los agregados naturales y posee una capacidad de absorción de 2.15%, esta es considerada baja y es favorable ya que por medio de esta se puede controlar la relación agua/cemento. Para el agregado grueso se obtuvo una densidad real de 2.733 g/cm³ el cual está dentro del rango de los agregados pétreos y una capacidad de absorción de 3.36%, un valor mayor debido a la porosidad que este presenta (ver TABLA XIII). Cada uno de estos parámetros demuestran la calidad de estos agregados para realizar la dosificación y garantizar un buen desempeño del hormigón. (ver Anexo 6 y Anexo 7) para el detalle del cálculo de las densidades y capacidad de absorción.

7) Densidad real del cemento

TABLA XIV

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Propiedad	**Unidad**	**Agregados (Mina ALVORTIZ)**
Densidad real (Cemento)	gr/cm^3	2.97

Interpretación: Este ensayo se realizó con el frasco de Le Chatelier con ayuda de gasolina y se obtuvo como densidad real un promedio de 2.97 gr/cm³ (ver TABLA XIV). Esta densidad

se encuentra dentro del rango (2.9-3.15 gr/cm³) según la norma NTE INEN 156 [16], evidenciando que es un cemento de buena calidad y buena composición. Determinar la densidad del cemento es fundamental para el diseño de la dosificación, pues ayuda a calcular de manera precisa el volumen absoluto que ocupa el cemento y permite establecer las proporciones correctas de los demás componentes. Detalle del proceso (ver Anexo 8).

8) Granulometría

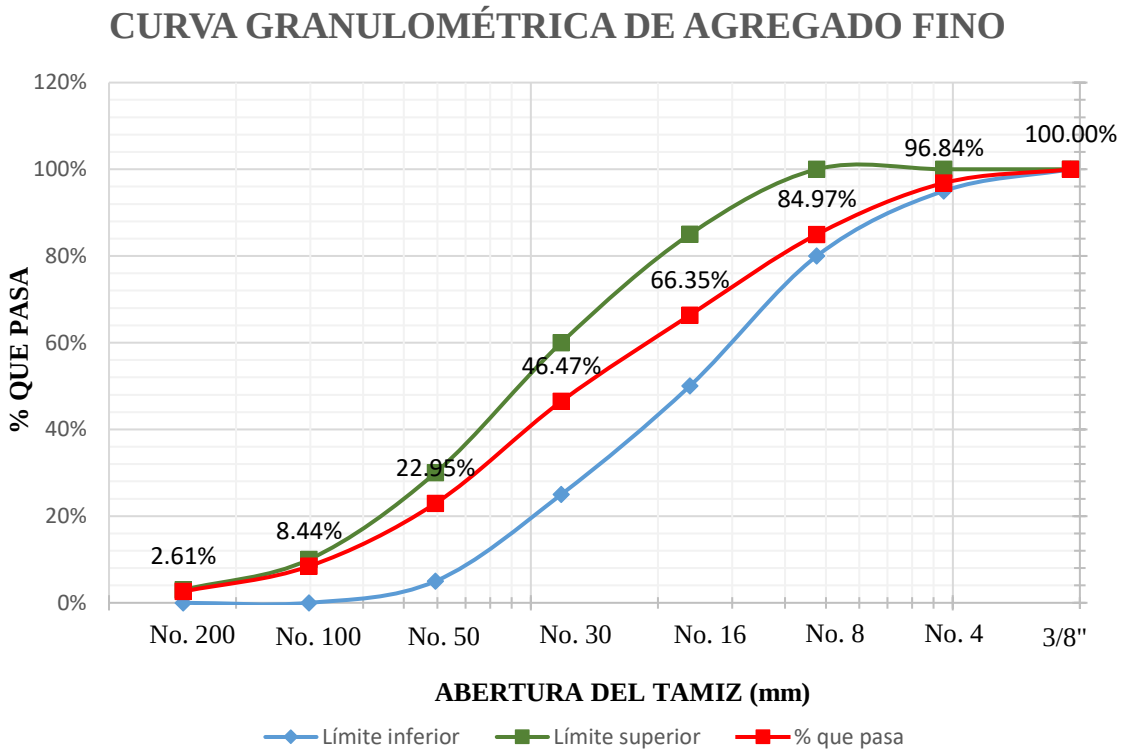


Fig. 17. Curva granulométrica del agregado fino.

Interpretación: La distribución granulométrica se encuentra dentro del rango según la norma NTE INEN 872, dentro de la cual establece los rango mínimos y máximos que se permite al material, dicho porcentaje que pasa claramente se puede observar (ver Fig. 17) que está dentro de los límites. Se obtuvo un módulo de finura de 2.74 (Ver Anexo 9), valor que de igual manera está dentro del rango según la normativa (2.30 y 3.10), garantizando un abuena trabajabilidad y cohesión en la mezcla.

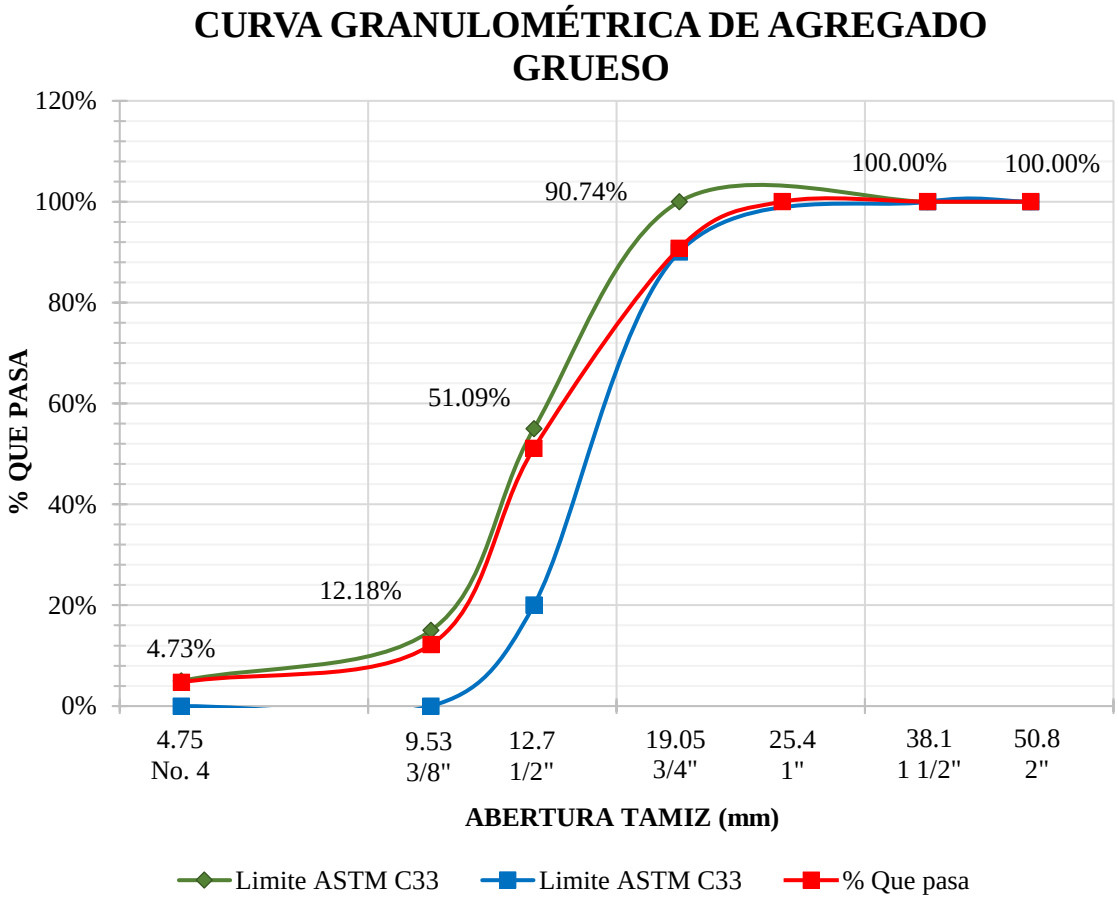


Fig. 18 Curva granulométrica del agregado grueso.

Interpretación: La distribución granulométrica del agregado grueso se encuentra dentro del rango según la norma NTE INEN 872, dentro de la cual establece los rango mínimos y máximos que se permite al material, dicho porcentaje que pasa claramente se puede observar (ver Fig. 18) que está dentro de los límites.

Se obtuvo un tamaño nominal máximo de ¾ (Ver Anexo 10), garantizando que la distribución de partículas es adecuada para el hormigón

9) Dosificación

La dosificación se realizó por el método de la ACI y quedo de la siguiente manera:

TABLA XV

DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN DE RESISTENCIA DE 210 KG/CM^2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**	
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"		
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"	
NORMA:	ACI 211.1	
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza	
FECHA:	oct-25	

DOSIFICACIÓN ACI 211.1

Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Ripio	1002.51	2.68	134.09	92.35	1.57

Interpretación: Se presenta la dosificación al peso necesaria para elaborar un hormigón de 210 kg/cm² siguiendo la norma ACI 211.1, mostrando las cantidades corregidas de los materiales y su aplicación práctica en obra y laboratorio.

Para el caso específico de una probeta de hormigón tradicional, se requieren 0.38 kg de agua, 0.50 kg de cemento, 1.16 kg de arena y 1.57 kg de ripio (ver TABLA XV), valores que permiten obtener una mezcla uniforme, controlada y representativa de la dosificación diseñada, asegurando así la calidad y la resistencia previstas en la investigación.

Una vez realizado la dosificación para el hormigón tradicional se procede a realizar para el hormigón celular, dosificando al volumen para el agente espumante, el cual se incorporó en diferentes porcentajes en la mezcla.

TABLA XVI

DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (1%)

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	ACI 211.1
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	oct-25

DOSIFICACIÓN ACI 211.1

Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Espumante (1%)					15.71 (ml)
Ripio	980.25	2.62	131.12	92.30	1.54

TABLA XVII

DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (2%)

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	ACI 211.1
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	oct-25

DOSIFICACIÓN ACI 211.1

Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Espumante (2%)					31.42 (ml)
Ripio	957.99	2.56	128.14	88.25	1.50

TABLA XVIII

DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (3%)

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	ACI 211.1
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	oct-25

DOSIFICACIÓN ACI 211.1

Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Espumante (3%)					47.13 (ml)
Ripio	935.63	2.50	125.15	86.19	1.47

TABLA XIX

DOSIFICACIÓN PARA UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (4%)

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	ACI 211.1
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	oct-25

DOSIFICACIÓN ACI 211.1

Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Espumante (4%)					62.83 (ml)
Ripio	913.38	2.44	122.17	84.14	1.43

TABLA XX

DOSIFICACIÓN UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ESPUMANTE (5%)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**					
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"					
ORIGEN: MINA "ALVORTIZ" **NORMA:** ACI 211.1 **ENSAYADO POR:** Valeria Estefania Moreno Meza **FECHA:** oct-25					
DOSIFICACIÓN ACI 211.1					
Materiales	Cantidades corregidas para 1m³ de hormigón (kg)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco de cemento (kg)	Dosificación al volumen en obra	Cantidades para pruebas de 1 probeta (kg)
Agua	241.23	0.65	32.27	-	0.38
Cemento	373.81	1.00	50.0	-	0.59
Arena	737.93	1.97	98.7	61.27	1.16
Espumante					78.5 (ml)
Ripio	891.12	2.38	119.19	82.09	1.40

Interpretación: Con las dosificaciones ya determinadas, se elaboró cada probeta de hormigón celular en base a la norma NTE INEN 1576, esta normativa es la encargada de controlar el tamaño del cilindro en base al tamaño nominal máximo del agregado, la fabricación, curado y el ensayo a compresión, garantizando resultados de calidad [27]. Además de determinar la resistencia se determinó la densidad de cada probeta en las diferentes edades de curado.

Cabe recalcar que la relación agua/cemento tiene un porcentaje de variación menor al 1% y por ende no influye directamente en el comportamiento mecánico del hormigón.

B. FASE II

En esta fase se determinó la densidad y resistencia a compresión de cada una de las muestras cilíndricas con diferente porcentaje y para cada una de las edades del hormigón, tomando en cuenta el promedio de las tres muestras.

1) Densidad

TABLA XXI

DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (7 DÍAS)

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	nov-25

DENSIDAD

Volumen del molde =			0.0016		m^3	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional (kg)**	**1% (espumante (kg)**	**2% (espumante) (kg)**	**3% (espumante) (kg)**	**4% (espumante) (kg)**	**5% (espumante) (kg)**
Pesos	3.59	3.58	3.58	3.59	3.57	3.56
	3.63	3.60	3.61	3.57	3.56	3.59
	3.58	3.59	3.60	3.57	3.57	3.59
Promedio	**3.60**	**3.59**	**3.60**	**3.58**	**3.57**	**3.58**
Densidad	2291.73	2282.60	2290.98	2278.36	2269.87	2276.45

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de densidad a los 7 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para el hormigón celular con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las medidas que se realizó para cada probeta según el tipo de hormigón, evidenciando la densidad alcanzada durante esta edad.

De todos los datos registrados, el mayor le corresponde al hormigón tradicional, con un valor de 2291.73 kg/m^3 (ver TABLA XXI).

TABLA XXII

DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (14 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD						
Volumen del molde =			0.0016		m^3	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional (kg)**	**1% (espumante (kg)**	**2% (espumante) (kg)**	**3% (espumante) (kg)**	**4% (espumante) (kg)**	**5% (espumante) (kg)**
Pesos	3.63	3.59	3.59	3.56	3.56	3.59
	3.64	3.60	3.58	3.58	3.58	3.58
	3.62	3.57	3.59	3.58	3.56	3.58
Promedio	**3.63**	**3.59**	**3.59**	**3.57**	**3.57**	**3.58**
Densidad	2310.51	2284.09	2283.56	2273.79	2272.31	2280.58

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de densidad a los 14 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para el hormigón celular con diferentes porcentajes de agente espumante.

En cada caso se muestran las medidas que se realizó para cada probeta según el tipo de hormigón, evidenciando la densidad alcanzada durante esta edad.

De todos los datos registrados, el mayor le corresponde al hormigón tradicional, con un valor de 2310.51 kg/m^3 (ver TABLA XXII).

TABLA XXIII

DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (21 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD						
Volumen del molde =			0.0016		m^3	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional (kg)**	**1% (espumante (kg)**	**2% (espumante) (kg)**	**3% (espumante) (kg)**	**4% (espumante) (kg)**	**5% (espumante) (kg)**
Pesos	3.63	3.58	3.57	3.53	3.58	3.55
	3.60	3.60	3.57	3.54	3.60	3.56
	3.60	**3.58**	**3.57**	**3.53**	**3.59**	**3.56**
Promedio	3.61	3.59	3.57	3.54	3.59	3.55
Densidad	2298.30	2282.81	2272.10	2251.41	2286.63	2263.08

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de densidad a los 21 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para el hormigón celular con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las medidas que se realizó para cada probeta según el tipo de hormigón, evidenciando la densidad alcanzada durante esta edad.

De todos los datos registrados, el mayor le corresponde al hormigón tradicional, con un valor de 2298.30 kg/m^3 (ver TABLA XXIII).

TABLA XXIV

DENSIDAD DEL HORMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR (28 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD						
Volumen del molde =			0.0016		m^3	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional (kg)**	**1% (espumante (kg)**	**2% (espumante) (kg)**	**3% (espumante) (kg)**	**4% (espumante) (kg)**	**5% (espumante) (kg)**
Pesos	3.60	3.61	3.53	3.53	3.55	3.57
	3.61	3.60	3.56	3.54	3.56	3.59
	3.62	3.61	3.56	3.54	3.56	3.59
Promedio	**3.61**	**3.60**	**3.55**	**3.54**	**3.56**	**3.58**
Densidad	2297.24	2294.80	2260.11	2251.72	2263.93	2279.84

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de densidad a los 28 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para el hormigón celular con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las medidas que se realizó para cada probeta según el tipo de hormigón, evidenciando la densidad alcanzada durante esta edad. De todos los datos registrados, el mayor le corresponde al hormigón tradicional, con un valor de 2297.24 kg/m^3 (ver TABLA XXIV).

2) Resistencia a compresión

TABLA XXV

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (7 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN						
Diámetro:		0.1	m	Altura:	0.2	m
Área=			78.54		(m^3)	
Resistencia establecida			210		(kg/cm^2)	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional**	**1% (espumante)**	**2% (espumante)**	**3% (espumante)**	**4% (espumante)**	**5% (espumante)**
Pesos	107.07	137.66	148.88	140.72	143.78	138.68
	114.21	152.96	150.92	132.56	144.80	136.64
	109.11	140.72	150.92	137.66	143.78	138.68
Promedio	**110.13**	**143.78**	**150.24**	**136.98**	**144.12**	**138.00**
Desviación estándar	3.68	8.09	1.18	4.12	0.59	1.18
	113.81	151.87	151.42	141.10	144.71	139.18
	106.45	135.69	149.06	132.86	143.53	136.82
Resistencia Obtenida	110.13	139.19	150.92	139.19	143.78	137.66

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de resistencia a compresión a los 7 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para las mezclas con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las resistencias alcanzadas por las probetas según el tipo de hormigón. De todos los datos registrados, el mayor le corresponde a la mezcla del 2% de agente espumante, con un valor de 150.92 kg/cm^2 (ver TABLA XXV).

TABLA XXVI

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (14 DÍAS)

UNIVERSIDAD TPECNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN						
Diámetro:		0.1	m	Altura:	0.2	m
Área=			78.540			
Resistencia establecida			210		~~(m^3)~(kg/cm^2)	
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional**	**1% (espumante)**	**2% (espumante)**	**3% (espumante)**	**4% (espumante)**	**5% (espumante)**
Pesos	170.29	184.57	191.70	197.83	181.51	176.41
	156.02	174.37	188.65	213.12	176.41	165.19
	170.29	182.53	190.69	212.10	178.45	176.41
Promedio	**165.53**	**180.49**	**190.35**	**207.68**	**178.79**	**172.67**
Desviación estándar	8.24	5.40	1.56	8.55	2.57	6.48
	173.78	185.89	191.91	216.23	181.36	179.15
	157.29	175.09	188.79	199.13	176.22	166.20
Resistencia Obtenida	170.29	183.55	191.20	212.61	177.43	176.41

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de resistencia a compresión a los 14 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para las mezclas con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las resistencias alcanzadas por las probetas según el tipo de hormigón. De todos los datos registrados, el mayor le corresponde a la mezcla del 3% de agente espumante, con un valor de 212.61 kg/cm^2 (ver TABLA XXVI).

TABLA XXVII

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (21 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN						
Diámetro:		0.1	m	Altura:	0.2	m
Área=			78.540			
Resistencia establecida			210		(kg/cm^2)	(m^3)
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional**	**1% (espumante)**	**2% (espumante)**	**3% (espumante)**	**4% (espumante)**	**5% (espumante)**
Pesos	209.04	202.92	188.65	247.79	212.10	218.22
	193.75	203.94	193.75	242.69	218.22	188.65
	195.79	201.90	195.79	244.73	214.14	216.18
Promedio	**199.53**	**202.92**	**192.73**	**245.07**	**214.82**	**207.68**
Desviación estándar	8.30	1.02	3.68	2.57	3.12	16.52
	207.83	203.94	196.40	247.64	217.94	224.20
	191.22	201.90	189.05	242.51	211.71	191.167
Resistencia Obtenida	194.77	202.92	194.77	243.71	213.12	217.20

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de resistencia a compresión a los 7 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para las mezclas con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las resistencias alcanzadas por las probetas según el tipo de hormigón. De todos los datos registrados, el mayor le corresponde a la mezcla del 3% de agente espumante, con un valor de 243.71 kg/cm^2 (ver TABLA XXVII).

TABLA XXVIII

RESISTENCIA A COMPRESIÓN (28 DÍAS)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**						
"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"						
ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"					
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza					
FECHA:	nov-25					
DENSIDAD A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN						
Diámetro:	0.1	m	Altura:	0.2	m	
Área=		78.540		(m^3)		
Resistencia establecida		210		(kg/cm^2)		
Tipo de hormigón	**Hormigón tradicional**	**1% (espumante)**	**2% (espumante)**	**3% (espumante)**	**4% (espumante)**	**5% (espumante)**
Pesos	226.38	228.42	218.22	256.97	218.22	237.59
	214.14	233.52	219.24	254.93	238.61	240.65
	212.10	229.44	218.22	255.95	224.34	239.63
Promedio	**217.54**	**230.46**	**218.56**	**255.95**	**227.06**	**239.29**
Desviación estándar	7.72	2.70	0.59	1.02	10.47	1.56
	225.26	233.15	219.15	256.97	237.52	240.85
	209.82	227.76	217.9	254.93	216.59	237.74
Resistencia Obtenida	213.12	228.93	218.22	255.95	221.28	240.14

Interpretación: Se presenta los resultados obtenidos de resistencia a compresión a los 7 días de edad, tanto para el hormigón tradicional como para las mezclas con diferentes porcentajes de agente espumante. En cada caso se muestran las resistencias alcanzadas por las probetas según el tipo de hormigón. De todos los datos registrados, el mayor le corresponde a la mezcla del 3% de agente espumante, con un valor de 255.95 kg/cm^2 (ver TABLA XXVIII).

C. FASE III

Una vez culminada la Fase II experimental, se analizó los resultados obtenidos comparando la resistencia, densidad y costos de los dos tipos de hormigones, para lo que es densidad y resistencia se representa mediante un diagrama de barras y para los costos se realizó un análisis

de precios unitarios, sacando así el presupuesto de fabricación tanto del hormigón tradicional como el hormigón celular.

1) Densidad

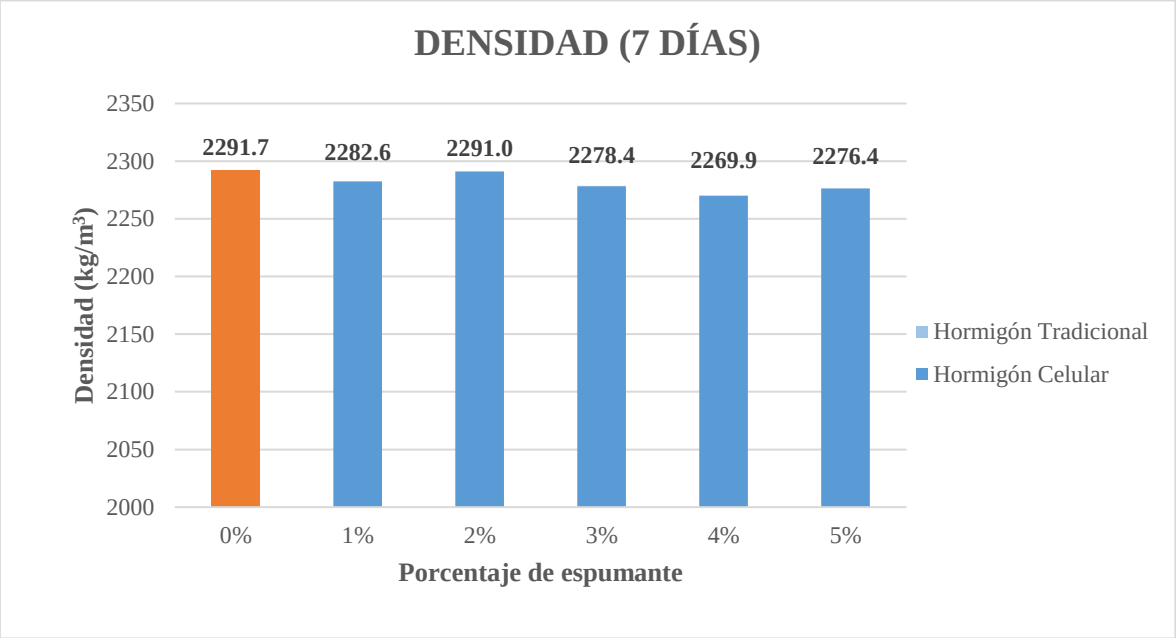


Fig. 19 Densidad del hormigón (7 días).

Interpretación: Una vez analizados los datos se observa claramente que la densidad en esta edad de curado se mantiene constante para los dos tipos de hormigones, las variaciones son mínimas a medida que aumenta el porcentaje de agente espumante. El hormigón tradicional presenta una densidad de 2291.7 kg/m^3, siendo el valor más alto, al incorporar el 1% de agente espumante la densidad baja levemente a 2282.6 kg/m^3, para el 2% la densidad vuelve a subir a 2291.0 kg/m^3, un valor cercano al hormigón tradicional, evidenciando que no hay mucho efecto por parte del espumante, para el 3% vuelve a descender a 2278.4 kg/m^3 hasta el 4% con 2269.9 kg/m^3 siendo este el valor más bajo de todos, por ende, es el hormigón más liviano. Para finalizar con un 5% incrementa y se obtiene una densidad de 2276,4 kg/m^3(ver Fig. 19). La densidad no disminuye de manera lineal y nos indica que el agente espumante si reduce la densidad, pero no a medida que aumenta el porcentaje.

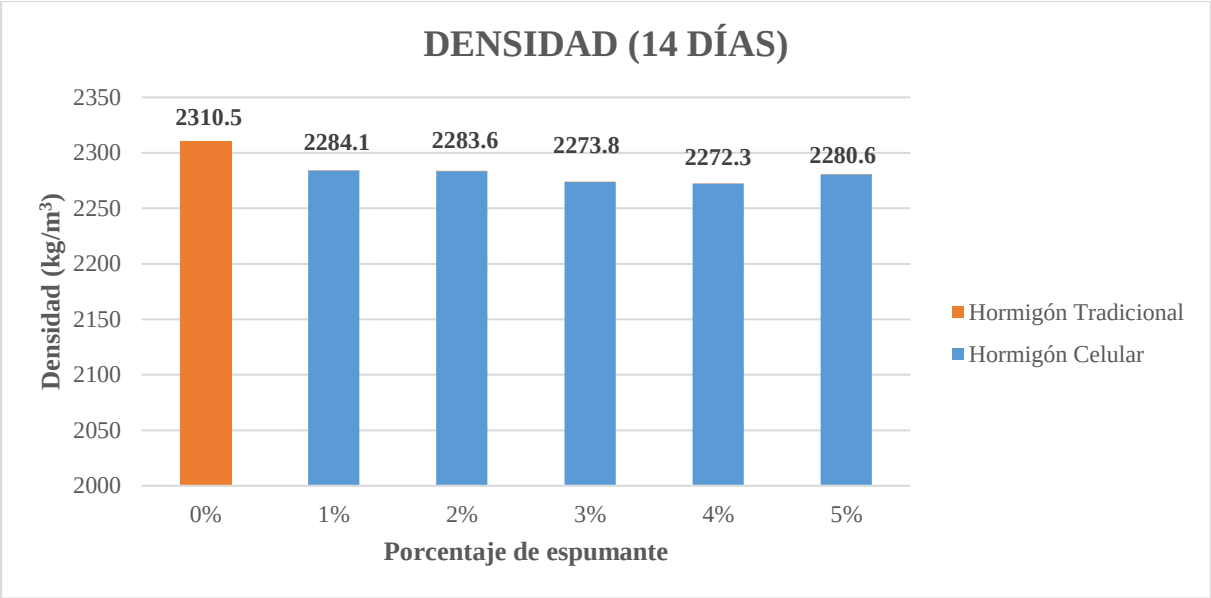


Fig. 20 Densidad del hormigón (14 días).

Interpretación: La densidad en esta edad de curado se mantiene constante para los dos tipos de hormigones, las variaciones son mínimas a medida que aumenta el porcentaje de agente espumante. El hormigón tradicional presenta una densidad de 2310.5 kg/m^3, siendo el valor más alto, al incorporar el 1% de agente espumante la densidad baja levemente a 2284.1 kg/m^3, para el 2% continúa descendiendo significativamente a 2283.6 kg/m^3, para el 3% un valor de densidad de 2273.8 kg/m^3 hasta el 4% con 2273.2 kg/m^3 siendo este el valor más bajo de todos, por ende, es el hormigón más liviano. Para finalizar con un 5% incrementa y se obtiene una densidad de 2280.6 kg/m^3(ver Fig. 20). La densidad no disminuye de manera lineal y nos indica que el agente espumante si reduce la densidad, pero no a medida que aumenta el porcentaje.

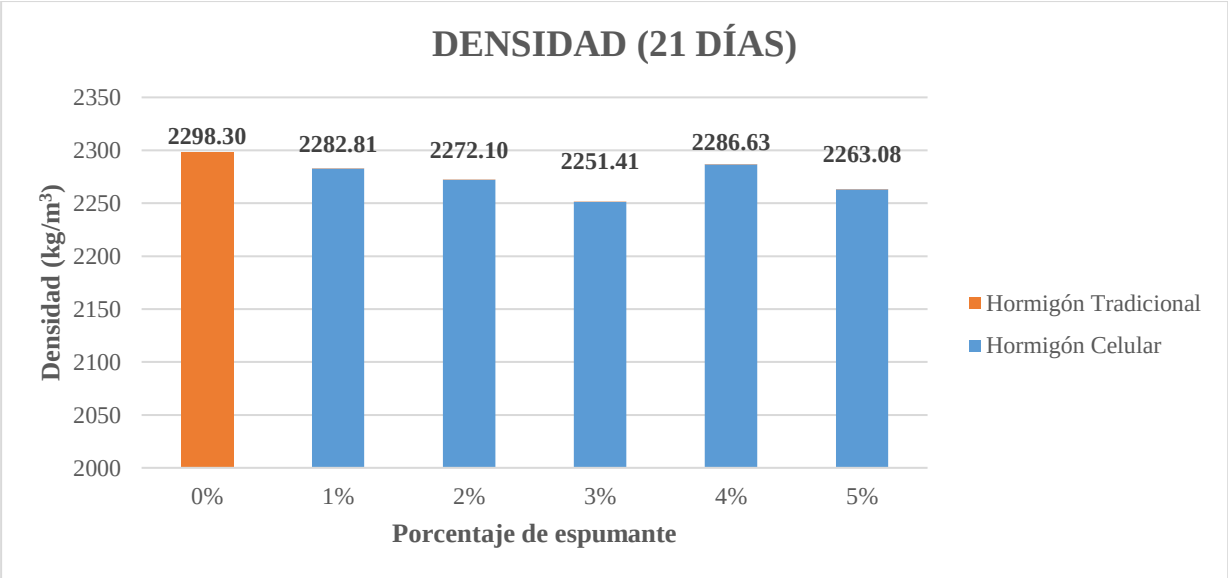


Fig. 21 Densidad del hormigón (21 días).

Interpretación: La densidad a los 21 días presenta una reducción moderada a medida que sube el porcentaje, el hormigón tradicional con el máximo valor de 2298.30 kg/m^3, reduciendo con el 1% a un valor de 2282.81 kg/m^3, 2% con 2272.10 kg/m^3 (-1.14%), llegando así al valor mínimo en el 3% con 2251.41 kg/m^3 (-2.04%), para el 4% empieza a subir y se obtiene un valor de 2286.63 kg/m^3 y finalmente para el 5% de nuevo desciende a un valor de 2263. 08 kg/m^3 (ver Fig. 21). Los valores son coherentes, existe más entrada de aire y mayor porosidad.

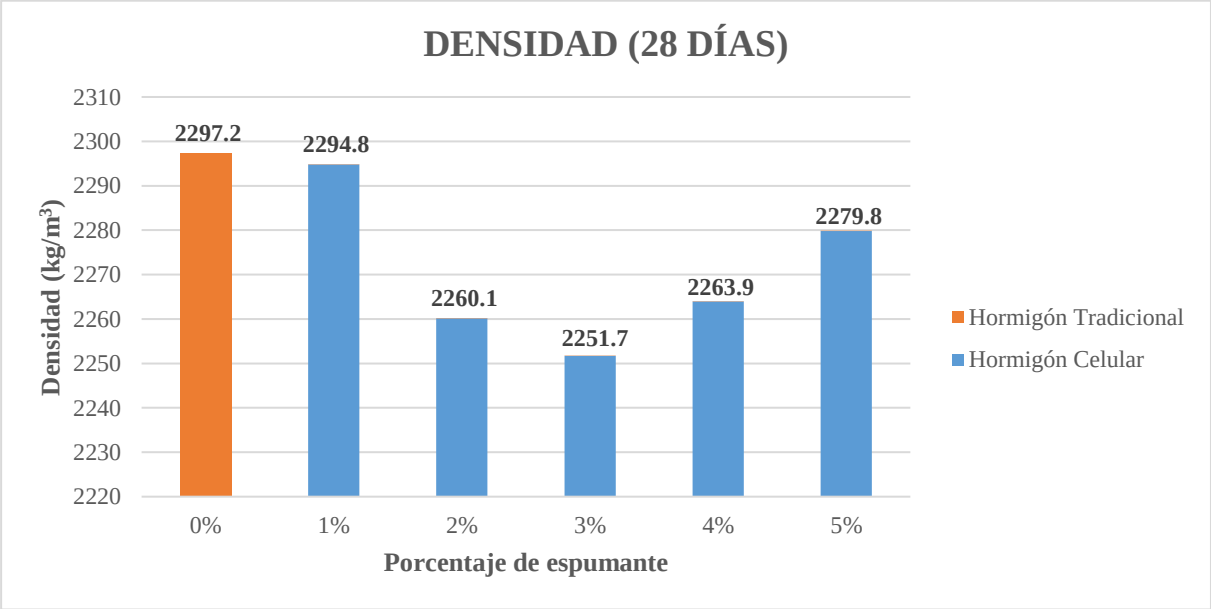


Fig. 22 Densidad del hormigón (28 días).

Interpretación: La densidad a esta edad de curado se reduce aún más, el comportamiento que presenta no es lineal: como en todas las edades el hormigón tradicional es el que tiene la mayor densidad con un valor de 2297.2 ^{kg}/m^3, reduciendo con el hormigón celular del 1% a 2294.8 kg/m^3, la diferencia no es muy notoria a comparación con el 2% que llega a un valor de 2260.1 kg/m^3 y aún más al 3 % que posee una densidad de 2251.7 kg/m^3, siendo este el máximo valor de reducción con respecto al tradicional, su densidad bajo -45.5 kg/m^3, para el 4% la densidad empieza a subir a 2263.9 kg/m^3 continuando con el 5% con 2279.8 kg/m^3, valor muy cerca al del tradicional (ver Fig.22). El efecto de la espuma para reducir la densidad es en el porcentaje del 2% y 3%, al contrario, a porcentajes mayores que puede generar estructuras de burbujas inestables y su densidad aumenta. El hormigón celular más liviano es a un 3 % de agente espumante.

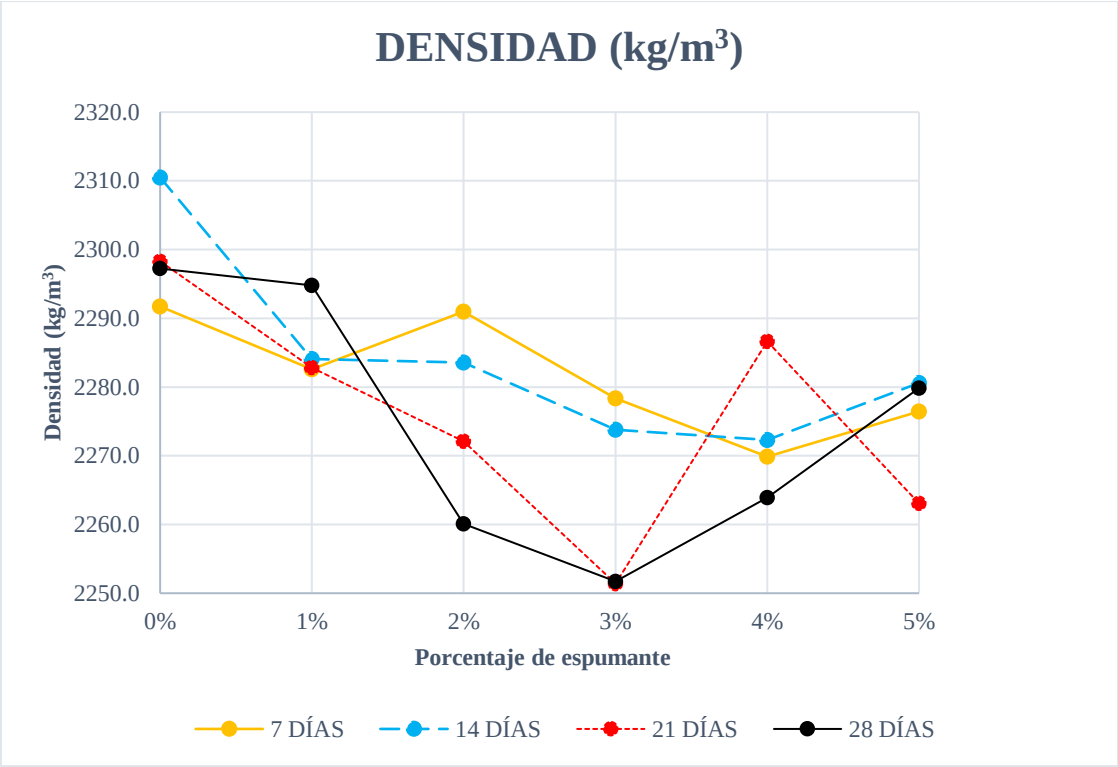


Fig. 23 Densidad del hormigón a todas las edades.

Interpretación: La densidad del hormigón se reduce a medida que aumenta el porcentaje de espumante, debido a que se incorpora más volumen de aire. El hormigón tradicional posee las mayores densidades, con un valor máximo de 2310.5 kg/m^3 a los 14 días, evidenciando una composición más sólida y sin la presencia de poros. Por otra parte, el 3% refleja las menores densidades, con un valor mínimo de 2251.4 kg/m^3 a los 21 días, debido a la porosidad que se generó. Si comparamos las edades de 7 a 14 días, claramente se observa la misma tendencia, reducción en el 1% de espumante, aumento en el 2%, para el 3 y 4% disminuye y finaliza ascendiendo con el porcentaje del 5%, mientras que para las edades de 21 y 28 días el descenso es mayor ya que se altera la espuma con la mezcla, las tendencias en estas dos edades son diferentes, para los 21 días disminuye de 2251.4 kg/m^3 que le corresponde al hormigón tradicional hasta el mínimo que es 2251.4 kg/m^3 del 3%, en esta edad el hormigón es más sensible al incremento de aire y genera mayor porosidad interna, a partir de este porcentaje para el 4% la densidad vuelve a subir a 2286.6 kg/m^3 y finalmente para el 5% desciende de una manera leve, para lo que respecta a los 28 días su tendencia es similar pero un poco más estable, desciende de 2297.2 kg/m^3 que es del hormigón tradicional hasta el 3% con 2251.7 kg/m^3, luego recupera densidad hasta llegar al 5% con 2279.8 kg/m^3, esta recuperación se debe a que la mezcla esta más consolidada, los poros se estabilizan y no afectan bruscamente la compacidad.

2) Resistencia

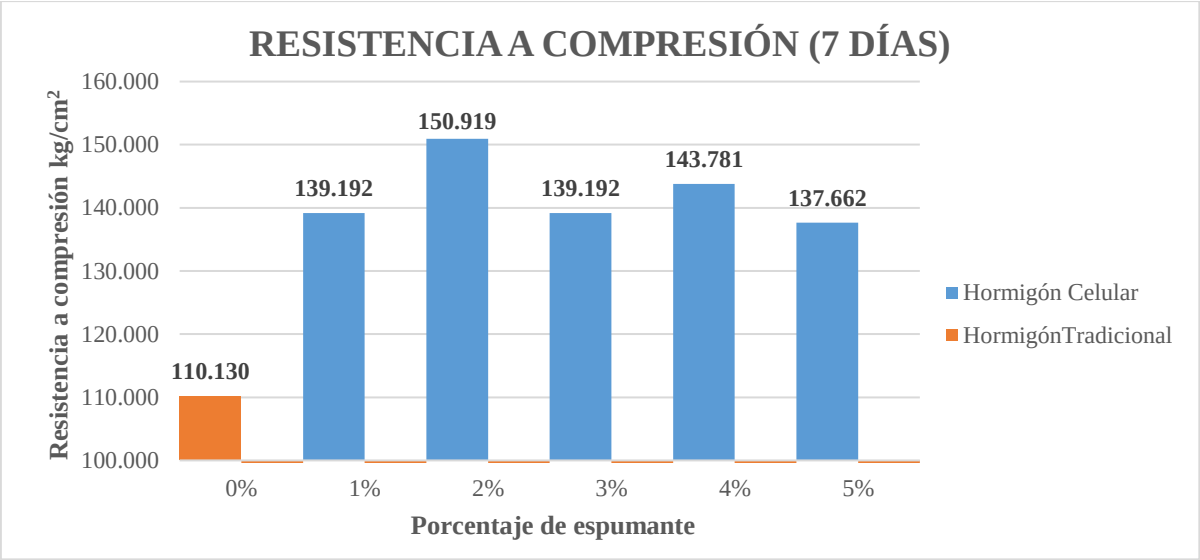


Fig. 24 Resistencia a compresión (7 días).

Interpretación: La resistencia a los 7 días es mayor en todos los porcentajes de hormigón celular a comparación con el hormigón tradicional, este solo adquirió una resistencia de 110.13 kg/cm^2, lo que para el 1% sube a 139.19 kg/cm^2 y aún más para el 2 % sube a 150.92 kg/cm^2, el máximo valor con un aumento del 37% respecto al tradicional, para el 3% la resistencia disminuye a 139.19 kg/cm2 debido al aumento de poros, aunque para el 4% vuelve a subir a 143.78 kg/cm^2, recuperándose un poco y finalmente para el 5% bajo de nuevo a 137.66 kg/cm^2 (ver Fig. 24). El 2% es el porcentaje más óptimo en esta edad de curado, combina la trabajabilidad con una porosidad controlada y por ende resiste más.

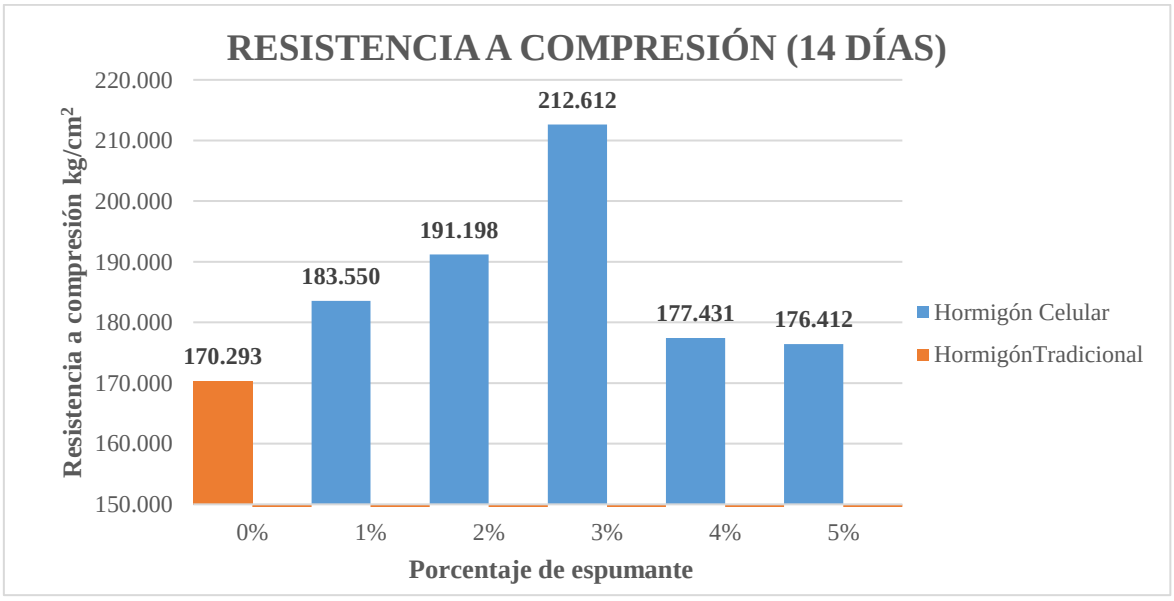


Fig. 25 Densidad del hormigón (14 días).

Interpretación: El hormigón celular de igual manera presenta resistencias mucho mayores a las del hormigón tradicional porque a la edad de 14 días este solo alcanzó una resistencia de 170.29 kg/cm^2, mientras que con el 1% aumentó a 183.55 kg/cm^2, siguiendo con el 2% con 191.20 kg/cm^2 hasta llegar al 3% con un valor máximo de 212.61 kg/cm^2, un incremento de alrededor del 24.9% con relación al hormigón tradicional, para el 4% empieza a bajar a 177.43 kg/cm^2 al igual que para el 5% llegando a un valor de 176.41 kg/cm^2 (ver Fig. 25). El porcentaje óptimo es el 3% ya que a medida que aumenta el espumante existe más porosidad y la resistencia baja.

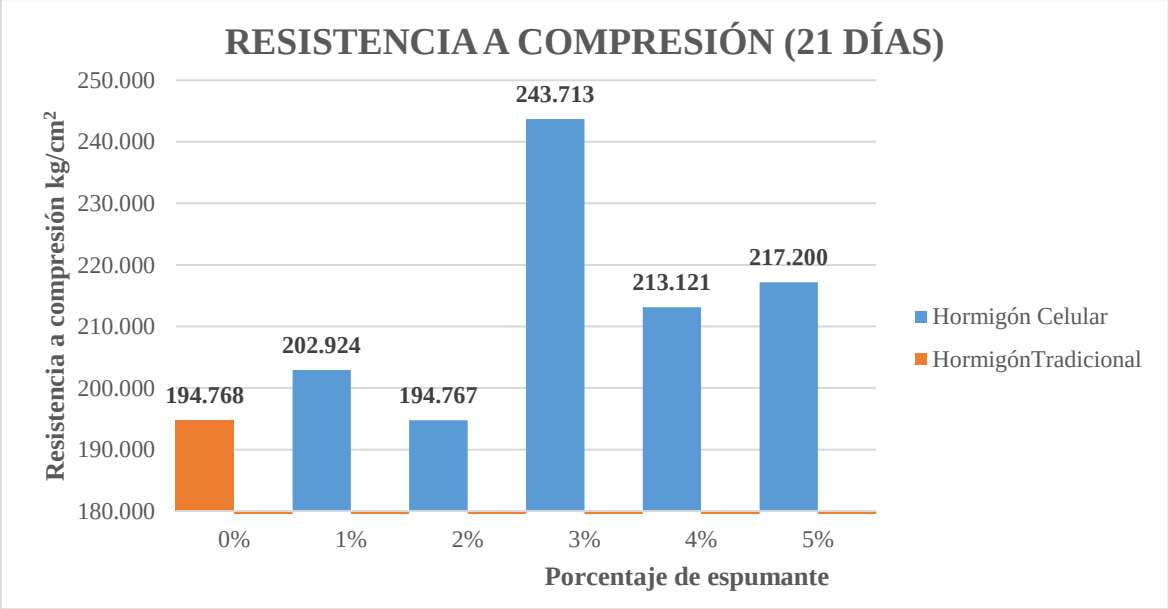


Fig. 26 Densidad del hormigón (21 días).

Interpretación: La resistencia a los 21 días es la máxima en el hormigón celular, el hormigón tradicional arrojó un valor de 194.77 kg/cm^2, a pesar que este está dentro del rango aceptado para esta edad de curado a medida que se incorpora el agente espumante la resistencia aumenta, desde el 1% con un valor de 202.92 kg/cm^2 luego, desciende para el 2% a 194.77 kg/cm^2 siendo igual al hormigón tradicional, para el 3% la resistencia sube en gran magnitud alcanzando un valor máximo de 243.71 kg/cm^2, aumentando aproximadamente un 25.1 % con respecto al tradicional, para el 4% nuevamente desciende a 213.12 kg/cm^2 y finalmente para el 5% se recupera en una mínima cantidad y sube a 217.20 kg/cm^2 (ver Fig.26). El porcentaje óptimo es el 3%.

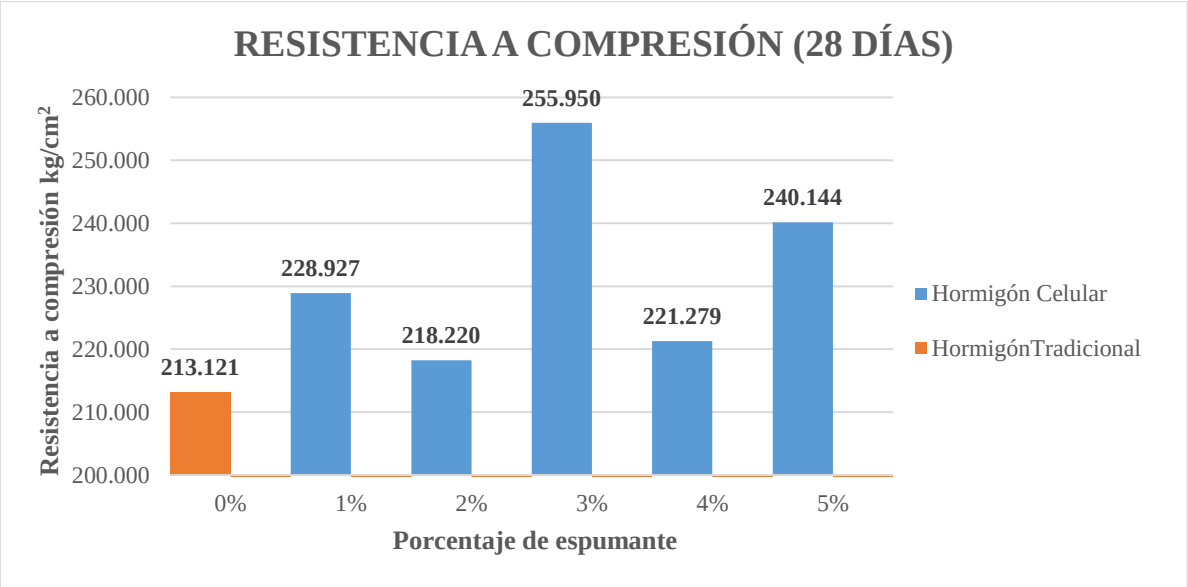


Fig. 27 Densidad del hormigón (28 días).

Interpretación: El comportamiento de la resistencia a los 28 días es similar a la de 21 días, el hormigón tradicional arrojó un valor de 213.12 $^{kg}/cm^2$, a pesar que este está dentro del rango aceptado para esta edad de curado a medida que se incorpora el agente espumante la resistencia aumenta, desde el 1% con un valor de 228.93 kg/cm^2 luego, desciende para el 2% a 218.22 kg/cm^2, para el 3% la resistencia sube en gran magnitud alcanzando un valor máximo de 255.95 kg/cm^2, aumentando aproximadamente un 20.1 % con respecto al tradicional, para el 4% nuevamente desciende a 221.28 kg/cm^2 y finalmente para el 5% se recupera y sube a 240.14 kg/cm^2 (ver Fig.27). El porcentaje óptimo es el 3%.

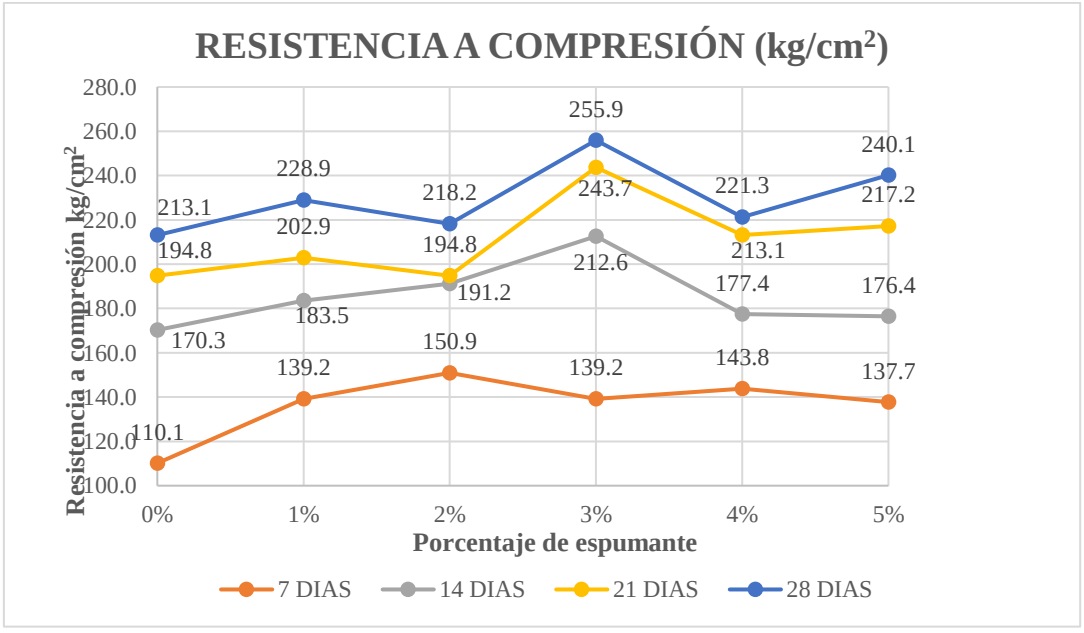


Fig. 28 Densidad a compresión de todas las edades.

Interpretación: Claramente se puede evidenciar que al incorporar el agente espumante la resistencia aumenta en comparación al hormigón tradicional, en el 1% de todas las edades la resistencia aumenta de la misma forma, de igual manera para el 2% se reduce pero su comportamiento es similar, llegando así a la máxima que se da en el 3% a edades de 14, 21, y 28 días superando a todas y siendo así el porcentaje óptimo con una mejora entre 21% y 29% frente al tradicional, para el 4% y 5% la resistencia baja esto se da debido a que a medida que aumenta el porcentaje hay mayor porosidad y el material se debilita (ver Fig. 28).

3) Costos

TABLA XXIX

PRESUPUESTO DEL HOMIGÓN TRADICIONAL Y HORMIGÓN CELULAR

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
01	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2	m3	1.00	138.87	138.87
*02	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (1%)	m3	1.00	138.63	138.63
03	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (2%)	m3	1.00	138.38	138.38
04	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (3%)	m3	1.00	138.13	138.13
05	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (4%)	m3	1.00	137.88	137.88
06	HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (5%)	m3	1.00	137.63	137.63
				TOTAL:	**829.52**

Interpretación: La comparación económica se realizó por metro cúbico mediante un análisis de precios unitarios (ver Anexo 11 hasta Anexo 16), demostrando que el costo disminuye a medida que el porcentaje de agente espumante aumenta, el costo más alto le corresponde al hormigón tradicional con un valor de 138.87 USD/m3, reduciendo desde el 1% a 138.63 USD/m3, 2 % con 138.38 USD/m3, con un 3 % desciende a 138.13 USD/m3, para el 4% un costo de 137.88 USD/m3 y para finalizar el 5% presenta el valor menor con un costo de 137.63 USD/m3. Si bien la reducción del costo es mínima, esta se debe a que se reduce los materiales sólidos de la mezcla, el hormigón celular es más económico que el hormigón tradicional evidenciando que el menor costo es para el 5% (ver TABLA XXIX).

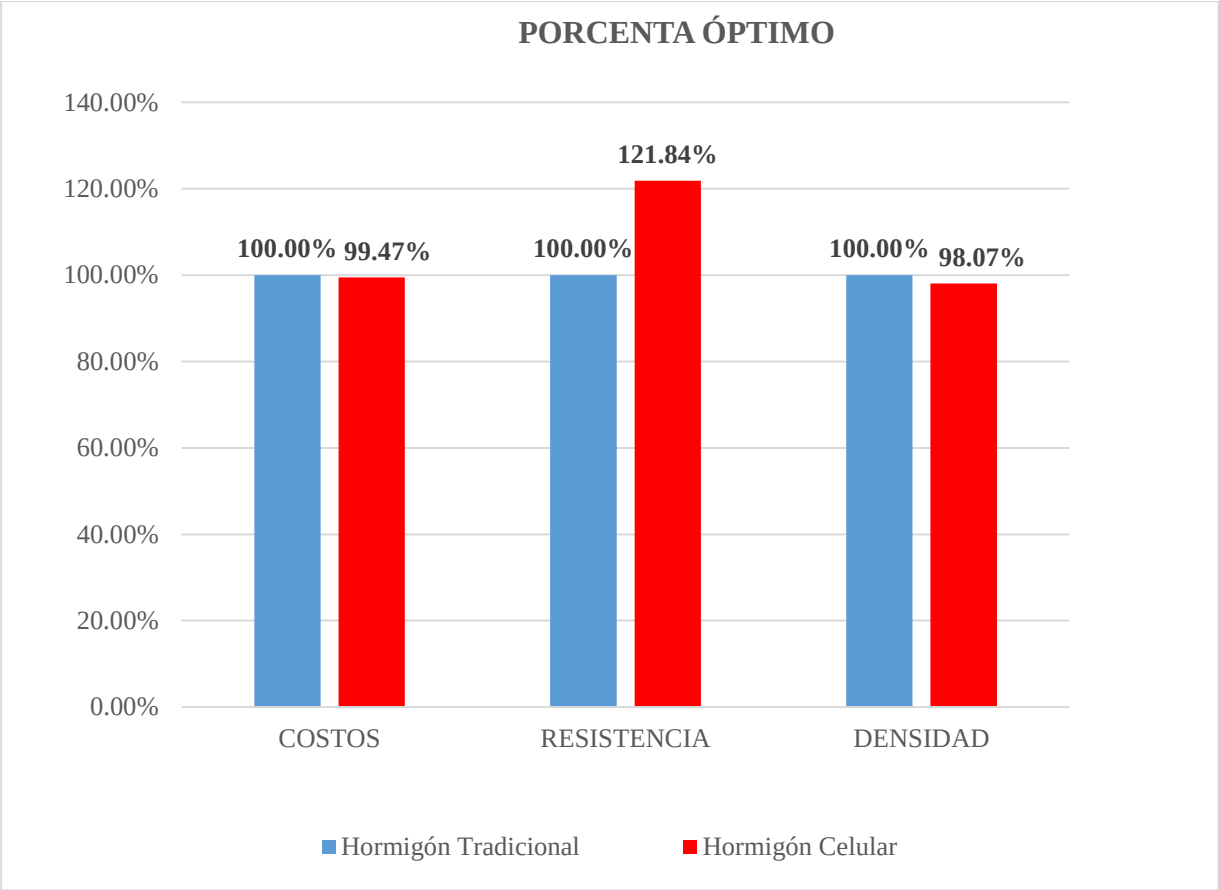


Fig. 29 Costos y Resistencia del porcentaje óptimo

Interpretación: El hormigón celular en su punto óptimo que es el 3% presenta un comportamiento mixto, por un lado, su costo es ligeramente menor alcanzando un porcentaje de 99.47% en comparación al hormigón tradicional que representa el 100% al igual que su densidad presenta el 98.07%, y su resistencia aumenta de manera significativa llegando a un valor de 121.84%, mejorando el 21% con respecto al hormigón tradicional (ver Fig. 29), resultando así una alternativa eficiente ya que es más ligero, menos costoso y genera una mayor resistencia.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La incorporación de detergente líquido como agente espumante en la elaboración de hormigón celular permite reducir su densidad sin afectar significativamente su resistencia a compresión en comparación con el hormigón tradicional, lo que convierte en una alternativa viable para aplicaciones constructivas livianas.

B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

En resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a compresión a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, se determinó que el comportamiento presentó variaciones a medida que se aumenta el porcentaje de agente espumante, sin embargo, todos los resultados fueron favorables tanto para la densidad como para la resistencia confirmando la hipótesis, el hormigón celular elaborado con agente espumante si reduce la densidad en comparación al hormigón tradicional, si tomamos en cuenta el porcentaje óptimo del 3% este reduce la densidad al 98.07% siendo el 100% el hormigón tradicional, este hormigón es más ligero y no afecta la resistencia, pues esta aumenta a un valor de 121.84% y si combinamos con el costo es más económico y por ende resulta una alternativa eficiente ya que es más liviano y resiste más con un menor costo.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

a) Los agregados pétreos provenientes de la mina Alvortiz cumplieron con todos los requisitos que se establece en las normativas técnicas, siendo aptos para la elaboración de hormigón, de igual manera el detergente líquido cumplió con todos los estándares establecidos presentando un adecuada densidad, estabilidad y compatibilidad con el cemento, permitiendo una buena trabajabilidad a la hora de elaborar el hormigón. La dosificación por el método de la ACI 211.1 fue muy buena, permitiendo la obtención de mezclas homogéneas para los dos tipos de hormigones.

b) Se determinó que, en todas las edades de curado, el hormigón tradicional obtuvo las mayores densidades, llegando a un valor de 2297.24 kg/m^3 a los 28 días. El añadir el agente espumante redujo de manera progresiva la densidad a medida que aumenta el porcentaje, siendo el 3%, el porcentaje óptimo alcanzando una densidad estable y por ende el hormigón más liviano, tomando valores de entre (2251.72-2278.36 kg/m^3), confirmando que el agente espumante reduce el peso volumétrico del hormigón.

c) La resistencia a compresión fue más elevada, su porcentaje óptimo fue el 3% alcanzando un valor de 255. 9 kg/cm^2 a los 28 días, mejorando aproximadamente un 21% más que el hormigón tradicional el cual obtuvo una resistencia de 213.12 kg/cm^2, a medida que el porcentaje aumentó se presentó una tendencia decreciente pero no de manera lineal, evidenciando que a medida que aumenta se forma una estructura más porosa y con menor resistencia.

d) Las mezclas del 4% y 5% presentaron resistencias menores, pues en porcentajes más elevados incorpora más aire y genera mayor porosidad y discontinuidades internas que hace que la capacidad mecánica se reduzca, evidenciando que dichos porcentajes no son adecuados si se quiere adquirir mayor resistencia, sin embargo, la resistencia de estos porcentajes supera a la del hormigón tradicional.

e) El porcentaje óptimo de este proyecto experimental fue el 3%, siendo la mezcla adecuada para producir un hormigón más liviano y con mayor resistencia, además, no solo mejorar el desempeño mecánico si no también la relación costo-beneficio ya que adquirió la mayor resistencia reduciendo el costo.

II. RECOMENDACIONES

a) Considerar el uso de hormigón celular con un porcentaje del 3% de agente espumante como una alternativa más eficiente costo-beneficio ya que resultó ser la más viable al presentar la mejor relación resistencia-densidad y desde el punto de vista económico igual el costo se reduce y resulta una buena opción.

b) Para tener un hormigón celular de calidad el cual depende directamente de la densidad, estabilidad y uniformidad de la espuma, es necesario medir siempre el volumen generado de la espuma, incorporar una vez que ya este generada evitando largos tiempos para que las burbujas no colapsen.

c) No es recomendable las dosificaciones correspondientes a los porcentajes de 4% y 5% si se quiere adquirir una resistencia elevada, ya que existe un descenso en su resistencia, pues al incorporar más cantidad de agente espumante la porosidad es mayor y el riesgo de fisuras aumenta.

d) Para garantizar una espuma más homogénea el uso de un mezclador mecánico es crucial, pues la uniformidad de la espuma influye de manera directa a la resistencia del hormigón celular, este proyecto experimental evidencio que cuando la espuma generada es correcta la resistencia aumenta, ya que sus poros son más finos y homogéneos. Si el mezclado es a mano el tamaño de burbujas es variable, hay más zonas de colapso y mayor cantidad de aire, lo contrario a un mezclado mecánico que se tiene mayor control sobre la espuma.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Z. Huang *et al.*, "Global carbon uptake of cement carbonation accounts 1930-2021," *Earth Syst Sci Data*, vol. 15, no. 11, pp. 4947–4958, Nov. 2023, doi: 10.5194/ESSD-15-4947-2023.

[2] O. Gencel, T. Bilir, Z. Bademler, and T. Ozbakkaloglu, "A Detailed Review on Foam Concrete Composites: Ingredients, Properties, and Microstructure," *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 5752*, vol. 12, no. 11, p. 5752, Jun. 2022, doi: 10.3390/APP12115752.

[3] S. K. Shill, E. O. Garcez, S. Al-Deen, and M. Subhani, "Influence of Foam Content and Concentration on the Physical and Mechanical Properties of Foam Concrete," *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 8385*, vol. 14, no. 18, p. 8385, Sep. 2024, doi: 10.3390/APP14188385.

[4] C. Ricardo *et al.*, "Estudio comparativo para la fabricación de hormigón celular de densidad 400 $^{kg}/m^3$ con diferente líquidos espumantes KV-LITE AFFF, Sika poro plus, RV 2000-2 y jaboncillo Sapindus saponaria.," Aug. 23, 2023, *La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023.* Accessed: Nov. 06, 2025. [Online]. Available: https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9923

[5] R. Othman *et al.*, "Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/MA14112967.

[6] "(PDF) Experimental Work on Light Weight Foam Concrete." Accessed: Nov. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/370902119_Experimental_Work_on_Light_Weight_Foam_Concrete

[7] R. Othman *et al.*, "Relation between Density and Compressive Strength of Foamed Concrete," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/MA14112967.

[8] A. Khan, A. B. Mansoor, R. Liaqat, R. Khan, U. Ali*, and M. A. Ullah, "A Comprehensive Analysis of Mechanical Strength and Durability in Cellular Light Concrete Blocks Modified with Multiple Additives," *Spectrum of Engineering Sciences*, vol. 3, no. 3, pp. 165–185, Mar. 2025, Accessed: Nov. 06, 2025. [Online]. Available: https://thesesjournal.com/index.php/1/article/view/199

[9] “Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam,” Jul. 2019, doi: 10.1520/C0796_C0796M-19.

[10] “Test Method for Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam,” Jul. 2019, doi: 10.1520/C0796_C0796M-19.

[11] “Instituto Ecuatoriano de Normalización: Norma Técnica Ecuatoriana Nte Inen 862:2011 | PDF | Hormigón | Calor.” Accessed: Nov. 08, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/427734426/862-1

[12] “Determinación de Masa Unitaria y Vacíos en Áridos | PDF | Masa | Metrología.” Accessed: Nov. 08, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/507771098/Norma-NTE-INEN-858-Procedimiento

[13] “NTE INEN 0694 Hormigones y Aridos para e | PDF | Cemento | Alto horno.” Accessed: Nov. 08, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/375611308/NTE-INEN-0694-Hormigones-y-Aridos-Para-e

[14] “Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate,” Oct. 2023, doi: 10.1520/C0029_C0029M-23.

[15] “NTE INEN 0857 Determinación de Densidad Relativa y Absorción Del Arido Grueso - Unlocked | PDF | Densidad | Agua.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/724401823/NTE-INEN-0857-Determinacion-de-densidad-relativa-y-absorcion-del-arido-grueso-unlocked-1

[16] “Norma INEN 156 | PDF | Densidad | Cemento.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/250993495/Norma-INEN-156

[17] “Granulometria nte inen 696 | PDF.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://es.slideshare.net/slideshow/granulometria-nte-inen-696/251239856

[18] “Norma Técnica INEN 872 - Requisitos para Áridos en Hormigón - Studocu.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647

[19] “ASTM C125 (Español) | PDF | Hormigón | Cemento.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/787110953/ASTM-C125-espanol

[20] “Norma Técnica INEN 872 - Requisitos para Áridos en Hormigón - Studocu.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena/ingenieria-economica/normas-inen-872-535667/6343647

[21] “Método ACI 211.1 para Mezclas de Concreto | PDF | Hormigón | Volumen.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/520732974/METODO-ACI

[22] “ACI 318 11 Español | PDF | Escritura latina.” Accessed: Nov. 19, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/329338441/ACI-318-11-Espanol

[23] “ACI 211.1 - 91.en - Es | PDF | Hormigón | Cemento.” Accessed: Nov. 19, 2025. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/495637980/ACI-211-1-91-en-es

[24] “ACI 318 - 19 (Español-Sistema Internacional) | PDF.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://es.slideshare.net/slideshow/aci-318-19-espaolsistema-internacional/256184668

[25] “NTE INEN 1573 - Método para Determinar Resistencia a Compresión del Hormigón - Studocu.” Accessed: Nov. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/hormigon-armado/nte-inen-1573-hormigon-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion/47008255

[26] “NTE INEN 1573 - Método para Determinar Resistencia a Compresión del Hormigón - Studocu.” Accessed: Nov. 13, 2025. [Online]. Available: https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/hormigon-armado/nte-inen-1573-hormigon-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion/47008255

[27] “NTE INEN 1576 - Normativa de Elaboración y Curado de Especímenes de Hormigón - Studocu.” Accessed: Nov. 28, 2025. [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

ANEXOS

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 862
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

CONTENIDO DE HUMEDAD NTE INEN 862

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	
W1	Masa del recipiente	gr	288.50	237.00
W2	Masa recipiente + muestra	gr	4288.50	4237.00
W3	Masa recipiente + muestra seca	gr	4180.00	4125.50
Ww=W2-W3	Masa del agua	gr	108.50	111.50
Ws=W3-W1	Masa de la muestra seca	gr	3891.50	3888.50
C.H.=(Ww/Ws)*100	Contenido de Humedad	%	0.03	0.03
C.H.	Contenido de Humedad	%	2.83%	

Anexo 1: Contenido de humedad del agregado grueso

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

CONTENIDO DE HUMEDAD

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 862
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

CONTENIDO DE HUMEDAD NTE INEN 862

DATOS	DENOMINACIÓN	UNIDAD	AGREGADO FINO	
W1	Masa del recipiente	gr	175.00	257.00
W2	Masa recipiente + muestra	gr	1175.00	1257.00
W3	Masa recipiente + muestra seca	gr	1124.30	1202.00
Ww=W2-W3	Masa del agua	gr	50.70	55.00
Ws=W3-W1	Masa de la muestra seca	gr	949.30	945.00
C.H.=(Ww/Ws)*100	Contenido de Humedad	%	0.05	0.06
C.H.	Contenido de Humedad	%	5.58%	

Anexo 2: Contenido de humedad del agregado fino

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 858 / ASTM C – 29
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

MASA RECIPIENTE Ag. Grueso (Kg):	10.14
VOLUMEN RECIPIENTE Ag. Grueso (dm^3):	19.75
MASA RECIPIENTE Ag. Fino (Kg):	3.5315
VOLUMEN RECIPIENTE Ag. Fino (dm^3):	2.78
NORMA:	NTE INEN 858

Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm^3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm^3)
GRUESO	41.680	31.540	1.597	1.591
	41.260	31.120	1.576	
	41.740	31.600	1.600	
FINO	8.309	4.778	1.719	1.739
	8.359	4.828	1.737	
	8.427	4.896	1.761	

DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

Agregado	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (kg)	Peso Unitario (kg/dm^3)	Peso Unitario Promedio (kg/dm^3)
GRUESO	38.760	28.620	1.449	1.450
	38.840	28.700	1.453	
	38.740	28.600	1.448	
FINO	8.067	4.536	1.631	1.623
	8.022	4.491	1.615	
	8.044	4.513	1.623	

Anexo 3: Densidad suelta y compacta de los agregados

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 858 / ASTM C – 29
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA

MASA RECIPIENTE (Kg):	10.14
VOLUMEN RECIPIENTE (dm^3):	19.75

% Mezcla		**Cantidad (kg)**		**Fino añadido (kg)**	**Agregado + Recipiente (kg)**	**Agregado (kg)**	**Peso unitario mezcla (kg/dm^3)**	**Peso unitario promedio**
GRUESO	**FINO**	**GRUESO**	**FINO**	**FINO**	**AGREGADO FINO + GRUESO**			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	41.80	31.66	1.60	1.60
					41.77	31.63	1.60	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	44.49	34.35	1.74	1.74
					44.50	34.36	1.74	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	46.65	36.51	1.85	1.85
					46.88	36.74	1.86	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	48.93	38.79	1.96	1.98
					49.52	39.38	1.99	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	50.24	40.10	2.03	2.04
					50.45	40.31	2.04	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	50.97	40.83	2.07	2.06
					50.75	40.61	2.06	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	48.59	38.45	1.95	1.94
					48.45	38.31	1.94	

Anexo 4: Densidad compactada de la mezcla

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	45.00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	55.00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	41.00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	59.00%
Peso unitario máximo (gr/cm^3)	2.028
Peso unitario óptimo (gr/cm^3)	2.024

Anexo 5: Porcentajes y pesos unitarios de la mezcla

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 856 /ASTM C – 128
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN - NORMA NTE-INEN 856 (ASTM-C128)

CALCULO DE LA DENSIDAD REAL

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	0	gr	153.00
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	653.00
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	957.30
M4=M3-M2	Masa agua añadida	gr	304.30
M5	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	650.50
M6=M5-M1	Masa de 500cc de agua	gr	497.50
DA=M6/500cm3	Densidad del agua	gr/cm^3	1.00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	193.20
Msss=M2-M1	Masa del agregado	gr	500.00
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm^3	194.17
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm^3	2.575

CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	175.00	237.00
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	320.34	393.80
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	145.34	156.80
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	317.15	390.65
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	142.15	153.65
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	2.24	2.05
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	2.15	

Anexo 6: Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 857 / ASTM C – 127
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN - NORMA NTE-INEN 857 (ASTM-C127)

CALCULO DE LA DENSIDAD REAL

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1178.55
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1083.46
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	3678.53
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2668.55
DA	Densidad real del agua	gr	cm^3 1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2499.98
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1585.09
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm^3	914.89
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm^3	2.733

CÁLCULO DE LACAPACIDAD DE ABSORCIÓN

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M7	Masa del recipiente	gr	236.50	289.50
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	2783.48	2869.33
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	2546.98	2579.83
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	2697.46	2788.53
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	2460.96	2499.03
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	3.50	3.23
P2=(CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	3.36	

Anexo 7: Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE-INEN 156 / ASTM C – 188
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

DENSIDAD REAL - NTE INEN 156 / ASTM C – 188

CALCULO DE LA DENSIDAD REAL

DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del frasco + Gasolina	gr	302.41	300.32
V1	Lectura inicial de la gasolina	cm3	0.50	0.30
M2	Masa del frasco + gasolina + cemento	gr	361.10	359.95
V2	Lectura final de la gasolina	cm^3	21.70	20.60
Mc= M2-M1	Masa del cemento ocupado	gr	62.90	61.98
V=V2-V1	Volumen desplazado	cm^3	21.20	20.80
Dc=Mc/V	Densidad del cemento	gr/cm^3	2.97	2.98
Densidad Real Promedio		gr/cm^3	2.97	

Anexo 8: Densidad real del cemento

UNIVERSIDDA TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 872
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NORMA NTE - INEN 696 (ASTM C 136)

PESO MUESTRA (gr):		1000		**PÉRDIDA DE MUESTRA (%):**		2.65
Tamiz	***Abertura (mm)***	***Retenido parcial (gr)***	***Retenido acumulado (gr)***	***% Retenido acumulado***	***% que pasa***	***Límites ASTM % que pasa***
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	30.8	30.8	3.16%	96.84%	95-100
#8	2.38	115.5	146.3	15.03%	84.97%	80-100
#16	1.19	181.3	327.6	33.65%	66.35%	50-85
#30	0.59	193.5	521.1	53.53%	46.47%	25-60
#50	0.297	229.0	750.1	77.05%	22.95%	5-30
#100	0.149	141.2	891.3	91.56%	8.44%	0-10
#200	0.075	56.8	948.1	97.39%	2.61%	0-3
BANDEJA		25.4	973.5	100.00%	0.00%	-
MÓDULO DE FINURA				2.74%		

Anexo 9: Análisis granulométrico del agregado grueso

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

"Análisis comparativo de la densidad y la resistencia a compresión del hormigón celular elaborado con agente espumante frente al hormigón tradicional"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

ORIGEN:	MINA "ALVORTIZ"
NORMA:	NTE INEN 872
ENSAYADO POR:	Valeria Estefania Moreno Meza
FECHA:	ago-25

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - NORMA NTE - INEN 696 (ASTM C 136)

PESO MUESTRA (gr):	5000	**TAMAÑO DE PIEDRA**	6	**PÉRDIDA DE MUESTRA (%):**		0.57
Tamiz	***Abertura (mm)***	***Retenido parcial (gr)***	***Retenido acumulado (gr)***	***% Retenido acumulado***	***% que pasa***	***Límites ASTM % que pasa***
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	100
1 ½"	38.1	0	0	0.00%	100.00%	100
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	100
3/4"	19.05	460.2	460.15	9.26%	90.74%	90 - 100
1/2"	12.7	1971.6	2431.7	48.91%	51.09%	20 - 55
3/8"	9.53	1934.2	4365.85	87.82%	12.18%	0 - 15
#4	4.75	370.6	4736.4	95.27%	4.73%	0 - 5
BANDEJA		235.0	4971.4	100.00%	0.00%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				3/4"		

Anexo 10: Análisis granulométrico del agregado grueso

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 1 DE 6**

RUBRO : 01 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.97
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.24**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.690	17.00	11.73
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
SUBTOTAL O				**79.64**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		115.72
INDIRECTOS (%)	20.00%	23.14
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		138.87
VALOR UNITARIO		**138.87**

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y OCHO DOLARES, 89/100 CENTAVOS

Anexo 11: APU (Hormigón tradicional)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 2 DE 6**

RUBRO : 02 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (1%)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.98
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.25**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.675	17.00	11.48
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
ESPUMANTE	LT	0.017	3.20	0.05
SUBTOTAL O				**79.44**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		115.53
INDIRECTOS (%)	20.00%	23.11
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		138.63
VALOR UNITARIO		**138.63**

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y OCHO DOLARES, 65/100 CENTAVOS

Anexo 12: APU (Hormigón celular 1%)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 3 DE 6**

RUBRO : 03 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (2%)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.97
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.24**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.660	17.00	11.22
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
ESPUMANTE	LT	0.033	3.20	0.11
SUBTOTAL O				**79.24**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		115.32
INDIRECTOS (%)	20.00%	23.06
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		138.38
VALOR UNITARIO		**138.38**

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y OCHO DOLARES, 41/100 CENTAVOS

Anexo 13: APU (Hormigón celular 2%)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 4 DE 6**

RUBRO : 04 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (3%)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.98
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.25**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.644	17.00	10.95
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
ESPUMANTE	LT	0.050	3.20	0.16
SUBTOTAL O				**79.02**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		115.11
INDIRECTOS (%)	20.00%	23.02
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		138.13
VALOR UNITARIO		**138.13**

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y OCHO DOLARES, 14/100 CENTAVOS

Anexo 14: APU (Hormigón celular 3%)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 5 DE 6**

RUBRO : 05 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (4%)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.97
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.24**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.629	17.00	10.69
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
ESPUMANTE	LT	0.067	3.20	0.21
SUBTOTAL O				**78.82**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		114.90
INDIRECTOS (%)	20.00%	22.98
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		137.88
VALOR UNITARIO		**137.88**

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y SIETE DOLARES, 89/100 CENTAVOS

Anexo 15: APU (Hormigón celular 4%)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA DENSIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CELULAR ELABORADO CON AGENTE ESPUMANTE FRENTE AL HORMIGÓN TRADICIONAL

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS **HOJA 6 DE 6**

RUBRO : 06 UNIDAD: m3

DETALLE : HORMIGÓN SIMPLE F´C=210 KG/CM2 CON ESPUMANTE (5%)

EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.					1.21
CONCRETERA 1 SACO	1.00	5.00	5.00	1.250	6.25
VIBRADOR	1.00	3.50	3.50	1.250	4.38
SUBTOTAL M					**11.84**

MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
PEON	2.00	4.23	8.46	1.250	10.58
ALBAÑIL	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	0.50	4.75	2.38	1.250	2.97
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	1.00	4.28	4.28	1.250	5.35
SUBTOTAL N					**24.24**

MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB
CEMENTO PORTLAND	KG	373.810	0.17	63.55
RIPIO TRITURADO	M3	0.614	17.00	10.44
ARENA	M3	0.458	9.00	4.12
AGUA	M3	0.241	1.00	0.24
ESPUMANTE	LT	0.083	3.20	0.27
SUBTOTAL O				**78.61**

TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUBTOTAL P				**0.00**

TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		114.70
INDIRECTOS (%)	20.00%	22.94
UTILIDAD (%)	0.00%	0.00
COSTO TOTAL DEL RUBRO		137.63

OBSERVACIONES: R=1.50

SON: CIENTO TREINTA Y SIETE DOLARES, 66/100 CENTAVOS

Anexo 16: APU (Hormigón celular 6%)



Anexo 17: Cuarteado del material



Anexo 18: Gasolina para el ensayo de densidad real



Anexo 19: Material en agua para el ensayo de capacidad de absorción



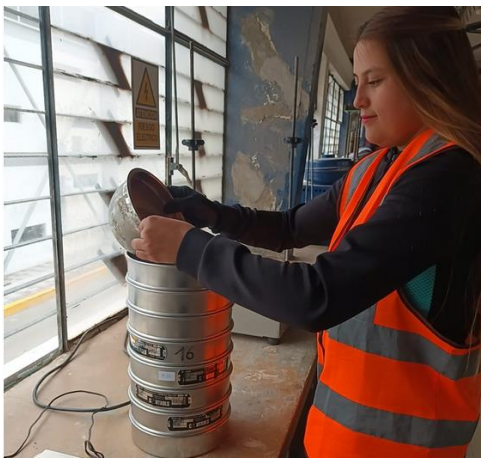
Anexo 20: Espuma para ensayo de densidad y estabilidad



Anexo 21: Densidad compactada de la mezcla



Anexo 22: Baño María para regular la temperatura



Anexo 23: Análisis granulométrico de agregado fino



Anexo 24: Densidad suelta de la arena



Anexo 25: Cantidad de cemento para determinar la densidad real



Anexo 26: Densidad suelta del ripio



Anexo 27: Densidad compactada de la mezcla



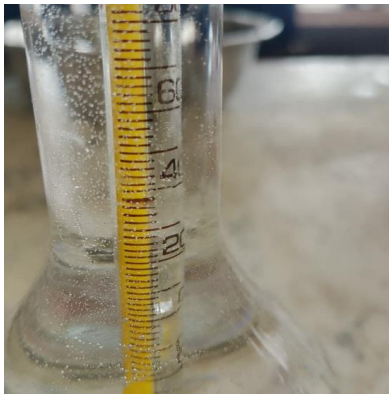
Anexo 28: Muestra para determinar la densidad de la arena



Anexo 29: Canastilla para determinar la capacidad de absorción del agregado grueso



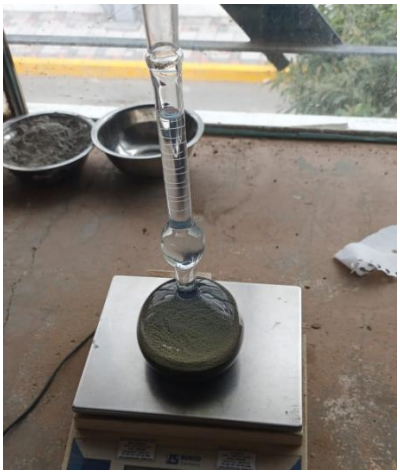
Anexo 30: Compactación para la densidad de la mezcla



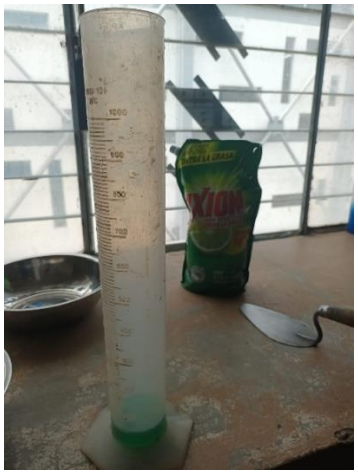
Anexo 31: Toma de temperatura



Anexo 32: Cemento para elaborar las probetas



Anexo 33: Densidad real del cemento



Anexo 34: Medida del detergente



Anexo 35: Mezcla del hormigón celular



Anexo 36: Agente espumante



Anexo 37:Incorporación de agente espumante a la mezcla



Anexo 38: Medida del asentamiento



Anexo 39: Hormigón celular luego del ensayo



Anexo 40 Probeta con 2% de agente espumante



Anexo 41: Ensayo a compresión de la probeta



Anexo 42: Modelo de rotura del hormigón



Anexo 43: Modo de rotura después del ensayo a compresión