UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA IKIAM

FACULTAD DE CIENCIAS SOCIO AMBIENTALES

CARRERA DE ARQUITECTURA SOSTENIBLE

TEMA:

DESEMPEÑO FÍSICO-MECÁNICO DE ECO-BLOQUES DE HORMIGÓN CON REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR CAL HIDRATADA Y REFUERZO CON FIBRA DE YUTE

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de:

ARQUITECTO SOSTENIBLE

AUTOR: MICHAEL STEVEN CONLAGO SEMBLANTES

TUTOR: Ing. GABRIEL EDUARDO MAZÓN ORTIZ

COTUTUTORA: Ing. SARA DEL ROCIO OCHOA AVEROS

Tena - Ecuador

2026

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

Carrera de Arquitectura Sostenible

Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad

Tena, 09 marzo de 2026

Yo, Michael Steven Conlago Semblantes, con documento de identidad 1752329886, declaró que los resultados obtenidos en la investigación que presentó en este documento final, previo a la obtención de título de Arquitecto Sostenible, son absolutamente inéditos, originales, auténticos y personales.

En virtud de lo cual, el contenido, criterios, opiniones, resultados, análisis, interpretaciones, conclusiones, recomendaciones y todo los demás aspectos vertidos en la presente investigación son de mi autoría y de mi absoluta responsabilidad.

Firmado electrónicamente por:
MICHAEL STEVEN
CONLAGO SEMBLANTES
Validar únicamente con FirmaEC

Michael Steven Conlago Semblantes
C.I: 17523298

Carrera de Arquitectura Sostenible

Autorización de publicación en el repositorio institucional

Tena, 09 marzo de 2026

Yo, Michael Steven Conlago Semblantes, con documento de identidad 1752329886 en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Desempeño físico-mecánico de eco-bloques de hormigón con reemplazo parcial de cemento por cal hidratada y refuerzo con fibra de yute" de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, reconozco a favor de la Universidad Regional Amazónica Ikiam una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo autorizo a la Universidad Regional Amazónica Ikiam para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a los dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firmado electrónicamente por:
MICHAEL STEVEN
CONLAGO SEMBLANTES
Validar únicamente con FirmaEC

Michael Steven Conlago Semblantes

C.I: 17523298

Carrera de Arquitectura Sostenible

Certificado de dirección de trabajo titulación

Tena, 09 marzo de 2026

Certifico que el trabajo de titulación “Desempeño físico-mecánico de eco-bloques de hormigón con reemplazo parcial de cemento por cal hidratada y refuerzo con fibra de yute”, aprobado bajo el mecanismo de tesis, fue realizado por Michael Steven Conlago Semblantes, bajo mi dirección.

El mismo ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad Regional Amazónica Ikiam, para su entrega y defensa.

Firmado electrónicamente por:
GABRIEL EDUARDO MAZON ORTIZ
Validar únicamente con FirmaEC

Tutor

Gabriel Eduardo Mazón Ortiz

C.I: 180432696-3

Firmado electrónicamente por:
SARA DEL ROCIO OCHOA AVEROS
Validar únicamente con FirmaEC

Co tutora

Sara del Rocio Ochoa Averos

C.I: 1500892789

AGRADECIMIENTO

A Dios, por regalarme la bendición de la salud y permitirme alcanzar esta logró con esfuerzo y dedicación.

A mis padres, por su amor incondicional y por darme el mejor regalo: el conocimiento. Su apoyo fundamental y los valores que me han inculcado me permitieron crecer como persona y profesional.

A mis hermanos, Alexis y Jacqueline, por ser mi fuente de inspiración y motivación, por estar siempre a mi lado y por enseñarme que con perseverancia y excelencia es el camino para alcanzar grandes cosas

DEDICATORIA

A mis queridos padres, quienes con esfuerzo y sacrificio me han brindado la oportunidad de formarme como profesional. Les dedico este triunfo porque en los momentos más difíciles, su sabiduría y amor me permitió continuar el camino.

A mi madre, mi motor fundamental, le agradezco por ser mi fuente de motivación. Gracias a ustedes he podido culminar esta etapa.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA
Declaración de derecho de autor, autenticidad y responsabilidad..... ii
Autorización de publicación en el repositorio institucional..... iii
Certificado de dirección de trabajo titulación..... iv
AGRADECIMIENTO..... v
DEDICATORIA..... vi
TABLA DE CONTENIDO..... vii
ÍNDICE DE TABLAS..... x
ÍNDICE DE FIGURAS..... xii
ÍNDICE DE ANEXOS..... xiii
RESUMEN..... xiv
ABSTRACT..... xv
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... 1
1.1. Antecedentes..... 1
1.2. Planteamiento del Problema a Investigar..... 3
1.3. Justificación de la Investigación..... 4
1.4. Objetivos de la Investigación..... 5
1.4.1. Objetivo general..... 5
1.4.2. Objetivos específicos..... 5
2. CAPÍTULO II. METODOLOGÍA..... 7
2.1. MARCO TEÓRICO..... 7
2.1.1. Términos y Definiciones, Bloque de Hormigón y sus Materiales..... 7
2.1.1.1. *Mampostería de hormigón*..... 7
2.1.1.2. *Árido pétreos*..... 7
2.1.1.3. *Cemento hidráulico*..... 7
2.1.1.4. *Agua potable*..... 8
2.1.1.5. *Cal hidratada*..... 8
2.1.2. Propiedades Físicas del Bloque de Hormigón..... 9
2.1.2.1. *Dimensión nominal*..... 9
2.1.2.2. *Dimensión modular*..... 9
2.1.2.3. *Densidad*..... 9
2.1.2.4. *Absorción*..... 9
2.1.2.5. *Humedad*..... 10
2.1.3. Propiedades Mecánicas, Bloque de Hormigón..... 10
2.1.3.1. *Resistencia mecánica a la compresión bruta*..... 10
2.1.3.2. *Resistencia mecánica a la compresión neta*..... 10

2.1.3.3. *Resistencia mecánica a flexión del hormigón*..... 11
2.2. MARCO NORMATIVO..... 11
2.2.1. Normativa Técnica..... 11
2.2.1.1. *Requisitos y métodos de ensayo para bloques huecos de hormigón (INEN 3066/ASTM C90)*..... 11
2.2.1.2. *Análisis granulométrico en el material pétreo, fino y grueso (INEN 696/ASTM C136)*..... 12
2.2.1.3. *Determinación de densidad relativa y absorción del árido fino (INEN 856/ASTM C128)*..... 12
2.2.1.4. *Determinación de la densidad relativa y absorción del árido grueso (INEN 857/ASTM C127)*..... 12
2.2.1.5. *Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos (INEN 858/ASTM C29)*..... 13
2.2.1.6. *Determinación de la humedad total (INEN 862/ASTM C566)*..... 13
2.2.1.7. *Requisitos de cementos hidráulicos (INEN 490/ASTM C595)*..... 13
2.3. MARCO METODOLÓGICO..... 14
2.3.1. Investigación Experimental..... 14
2.3.2. Datos Utilizados, Caracterización de Materiales..... 15
2.3.2.1. *Cemento hidráulico ARMADURO de UNACEM*..... 15
2.3.2.2. *Cal hidratada CAL T-30 de Relubquim Cia. Ltda*..... 17
2.3.2.3. *Fibra natural de yute*..... 17
2.3.2.4. *Caracterización del material pétreo, fino y grueso*..... 18
2.3.2.5. *Evaluación granulométrica del árido grueso*..... 20
2.3.2.6. *Evaluación granulométrica del árido fino*..... 23
2.3.2.7. *Evaluación del peso unitario suelto y compacto*..... 25
2.3.2.8. *Evaluación de la densidad relativa y absorción del árido fino*..... 26
2.3.2.9. *Evaluación de la densidad relativa y absorción del árido grueso*..... 27
2.3.2.10. *Humedad total de los áridos*..... 28
2.3.3. Metodología ACI 211.2: Diseño de Mezclas de Hormigón..... 29
2.3.3.1. *Determinación de la resistencia característica requerida*..... 29
2.3.3.2. *Determinación del agua y porcentaje de aire contenido*..... 30
2.3.3.3. *Determinación de la relación agua - cemento (a/c)*..... 31
2.3.3.4. *Determinación del peso del cemento*..... 33
2.3.3.5. *Determinación de la cantidad de árido grueso*..... 33
2.3.3.6. *Evaluación de la cantidad de árido fino*..... 34
2.3.3.7. *Corrección de los pesos del material pétreo, fino y grueso*..... 35
2.3.3.8. *Resumen de cantidades y proporciones del hormigón (ACI 211.2)*..... 37
2.3.4. Cantidades para un Bloque Hueco de Hormigón de 40x15x20 cm..... 38

2.3.5. Cantidades para 30 Bloques Huecos de Hormigón de 40x15x20 cm.... 40
2.3.6. Equipos y Fabricación del Bloque Hueco de Hormigón..... 42
2.3.6.1. *Tambor de mezcla*..... 42
2.3.6.2. *Vibrocompactadora*..... 43
2.3.6.3. *Etapa de curado de bloques de hormigón*..... 44
2.3.7. Ensayos Físicos según la normativa INEN 3066..... 45
2.3.7.1. *Evaluación dimensional (INEN 3066)*..... 45
2.3.7.2. *Evaluación de densidad y absorción (INEN 3066)*..... 46
2.3.8. Ensayos Mecánicos..... 48
2.3.8.1. *Evaluación de la resistencia a compresión (INEN 3066)*..... 48
2.3.8.2. *Evaluación de la resistencia a flexión (ASTM C78)*..... 51
3. CAPÍTULO III. RESULTADOS..... 55
3.1. RESULTADOS..... 55
3.1.1. Resultados Dimensionales (INEN 3066)..... 55
3.1.2. Resultados de la Densidad y Absorción (INEN 3066)..... 56
3.1.3. Resultados de la Resistencia a Compresión (INEN 3066)..... 59
3.1.3.1. *Resultados de la resistencia a compresión a los 7 días (INEN 3066)*.... 59
3.1.3.2. *Resultados de la resistencia a compresión a los 14 días (INEN 3066)*.. 60
3.1.3.3. *Resultados de la resistencia a compresión a los 28 días (INEN 3066)*..... 62
3.1.3.4. *Resultados de la resistencia a compresión a los 68 días (INEN 3066)*.. 63
3.1.4. Resultados de la resistencia a flexión a los 28 días (ASTM C78)..... 65
3.1.5. ANOVA: Evaluación de resultados de la resistencia neta a compresión a los 28 días..... 66
4. CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN..... 70
4.1. Discusión de Resultados..... 70
5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 73
5.1. Conclusiones..... 73
5.2. Recomendaciones..... 74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2.	Densidades relativas y aparentes reportadas en estudios previos...	16
Tabla 2-2.	Datos de granulometría de la piedra pómez - calificado por bandas	21
Tabla 3-2.	Datos de granulometría de la piedra pómez - clasificado por tamices.....	22
Tabla 4-2.	Datos de granulometría de la piedra pómez - clasificado por tamices (submuestra).....	22
Tabla 5-2.	Datos de granulometría de la Arena azul.....	24
Tabla 6-2.	Peso unitario suelto del árido fino.....	25
Tabla 7-2.	Peso unitario suelto de árido grueso (zarandeado).....	25
Tabla 8-2.	Bloques de hormigón de acuerdo a su uso.....	30
Tabla 9-2.	Resistencia característica requerida, Método ACI 211.2.....	30
Tabla 10-2.	Requerimientos aproximados de agua de mezcla para diferentes revenimientos y tamaño máximo del agregado, Método ACI 211.2.	31
Tabla 11-2.	Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión, Método ACI 211.2.....	32
Tabla 12-2.	Volumen absoluto del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, Método ACI 211.2.....	33
Tabla 13-2.	Primera estimación de la masa volumétrica del hormigón ligero fresco compuesto por agregado ligero y arena de masa normal, Método ACI 211.2.....	34
Tabla 14-2.	Cantidades y proporciones corregidas.....	38
Tabla 15-2.	Reajuste de cantidades y proporciones.....	38
Tabla 16-2.	Resumen de cantidades y proporciones para 1 Bloque Hueco de Hormigón.....	40
Tabla 17-2.	Cantidades de materiales para la fabricar de 30 bloques por dosificación.....	42
Tabla 18-2.	Dimensión General Promedio, Ajuste Nominal y Tolerancias, INEN 3066.....	46
Tabla 19-2.	Densidad y absorción máxima de agua en bloques Clase A.....	46
Tabla 20-2.	Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón	49
Tabla 21-3.	Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 7 días.....	55
Tabla 22-3.	Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 14 días.....	55
Tabla 23-3.	Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 28 días.....	56
Tabla 24-3.	Densidad y absorción de bloques de hormigón para cada mezcla a los 28 días.....	57
Tabla 25-3.	Clasificación promedio segunda la normativa NTE INEN 3066.....	57
Tabla 26-3.	Variación porcentual de la absorción respecto a M. patrón.....	58
Tabla 27-3.	Variación porcentual de la densidad respecto a M. patrón.....	58

Tabla 28-3. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 7 días……..…….. 59
Tabla 29-3. Resistencia neta a compresión y variación porcentual a los 7 días. 60
Tabla 30-3. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 14 días……..…... 61
Tabla 31-3. Resistencia neta a compresión y variación porcentual a los 14 días 61
Tabla 32-3. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 28 días…….... 62
Tabla 33-3. Resistencia neta a compresión a los 28 días y calificación de acuerdo a la normativa INEN 3066 para bloques clase B…….... 63
Tabla 34-3. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 68 días……..... 64
Tabla 35-3. Variación porcentual de la resistencia neta a compresión respecto a la M. patrón a los 68 días……..…. 64
Tabla 36-3. Ensayo a flexión de viguetas de hormigón para cada dosificac ión a los 28 días…… 65
Tabla 37-3. Variación porcentual del módulo de rotura (flexión) vs la M. patrón a los 28 días……..…….... 66
Tabla 38-3. Variación entre y dentro de las dosificaciones en la resistencia neta a compresión a los 28 días……..……... 67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Cemento portland puzolánico Tipo IP..... 15
Figura 2-2. Cal Hidratada. CAL T-30..... 16
Figura 3-2. Fibra de yute..... 17
Figura 4-2. Piedra Pómez, Bloquera “Hormiblock”..... 18
Figura 5-2. Arena azul, Holcim Ecuador S.A..... 19
Figura 6-2. Curva granulométrica, Piedra pómez..... 20
Figura 7-2. Curva granulométrica, Arena Azul..... 22
Figura 8-2. Diseño de las partes del bloque hueco de hormigón, INEN 3066..... 38
Figura 9-2. Desfibrilación del yute..... 40
Figura 10-2. Tambor de mezcla..... 42
Figura 11-2. Vibrocompactadora..... 42
Figura 12-2. Curado de bloques en condiciones normales..... 43
Figura 13-2. Preparación superficial de los bloques..... 44
Figura 14-2. Tanque de inmersión para bloques..... 45
Figura 15-2. Capeado de bloques..... 48
Figura 16-2. Ensayo a compresión en bloques..... 49
Figura 17-2. Cámara de curado para viguetas de hormigón..... 50
Figura 18-2. Ensayo a flexión en viguetas de hormigón..... 50
Figura 19-3. Curva de densidad por dosificación a los 28 días..... 54
Figura 20-3. Curva de absorción por dosificación a los 28 días..... 55
Figura 21-3. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 7 días..... 57
Figura 22-3. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 14 días..... 59
Figura 23-3. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 28 días..... 60
Figura 24-3. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 68 días..... 62
Figura 25-3. Curva del módulo de ruptura por dosificación a los 28 días.... 64

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Certificado de calibración: Máquinas de Ensayo - Compresión

ANEXO B. Certificado de calibración: Balanza digital

ANEXO C. Certificado de calibración: Pie de rey

ANEXO D. Informe ensayo a compresión en bloques a la edad de 28 días

ANEXO E. Ensayo a flexión en viguetas a la edad de 28 días

ANEXO F. Informe del ensayo de gravedad específica y absorción del árido fino

ANEXO G. Informe del ensayo de la masa unitaria suelta y compacta del árido grueso

ANEXO H. Informe del ensayo de granulometría del árido fino

RESUMEN

La industria productiva del hormigón se ha consolidado como una de las principales fuentes de contaminación a nivel mundial, debido a la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono (CO_2), generado durante el proceso de fabricación del cemento. La presente investigación experimental de titulación evalúa la viabilidad de reemplazar parcialmente el cemento por cal hidratada e incorporar un refuerzo de fibra de yute (*Corchorus capsularis*) en bloques de hormigón no estructural. El estudio se desarrolló en varias etapas. Primero, se caracterizaron las materias primas de origen local en la ciudad de Quito, Ecuador. Luego, se diseñaron y fabricaron probetas de hormigón con reemplazos parciales del 20 %, 30 % y 40 % de cemento por cal hidratada, incorporando de forma constante un 0,2 % de fibra de yute en todas las mezclas, mismas que fueron ensayadas a edades de curado de 7, 14 y 28 días. Además, únicamente en los bloques se realizó un ensayo complementario de resistencia a compresión a los 68 días, con el fin de determinar sus propiedades físico-mecánicas conforme a la normativa técnica vigente. Los resultados obtenidos evidencian que la dosificación que incorpora un 0.2 % de fibra de yute y un reemplazo parcial del 20 % de cemento por cal hidratada presenta un equilibrio adecuado entre sostenibilidad ambiental y desempeño físico-mecánico, lo que la posiciona como una alternativa viable para la fabricación de bloques de hormigón no estructural.

Palabras clave: arquitectura sostenible, bloque, hormigón, cal, yute, cemento

ABSTRACT

The productive concrete industry has become one of the main sources of pollution worldwide due to the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide (CO_2), generated during the cement manufacturing process. This experimental undergraduate research evaluates the feasibility of partially replacing cement with hydrated lime and incorporating jute fiber (*Corchorus capsularis*) as reinforcement in non-structural concrete blocks. The study was developed in several stages. First, locally sourced raw materials from the city of Quito, Ecuador, were characterized. Then, concrete test specimens were designed and manufactured with partial cement replacements of 20%, 30%, and 40% using hydrated lime, while consistently incorporating 0.2% jute fiber in all mixtures. These specimens were tested at curing ages of 7, 14, and 28 days. Additionally, only the blocks were subjected to a complementary compressive strength test at 68 days to determine their physical and mechanical properties in accordance with the current technical standards. The results obtained demonstrate that the mixture incorporating 0.2% jute fiber and a 20% partial replacement of cement with hydrated lime achieves an appropriate balance between environmental sustainability and physical-mechanical performance, positioning it as a viable alternative for the production of non-structural concrete blocks.

Keywords: Sustainable architecture, block, concrete, lime, jute, cement.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las canteras en expansión destruyen los hábitats naturales para extraer recursos base necesarios para la construcción de todo tipo de edificaciones, esto daña la biodiversidad local y puede provocar la pérdida de especies y ecosistemas (Corcoran et al., 2019). El cambio climático es provocado por el fenómeno de desarrollo urbano no controlado, por lo que provoca el deterioro de la vida natural de nuestro planeta.

Vazquez et al., (2021), plantea en su investigación que el eje de la construcción es uno de los sectores más contaminantes, debido a que produce aproximadamente el 30% del dióxido de carbono a nivel global. Por ejemplo, Martín (2020), afirma que el 40% de las materias primas extraídas en España van destinados al uso en obras civiles, además, menciona que el consumo de energía del sector representa entre el 30% y el 40%; También, se menciona que genera el 30% de material residual, es decir deshecho de obra y demolición, de la misma manera, produce el 20% de la contaminación de las aguas en todas las etapas que implican las construcción. Sin embargo, entidades de Estados Unidos mencionan que, dentro de los procesos y emisiones, la materia prima que más contaminación produce es el cemento, debido a que el 8% de la contaminación global se genera por la producción de dicho material (Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS], 2018)

En este contexto, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fueron propuestas planteadas por La Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Entidad internacional que presentó estos objetivos con la iniciativa de combatir la precariedad, impulsar un comportamiento ambiental más sostenible y establecer que para el 2030 las comunidades más vulnerables disfruten de paz y prosperidad. Por lo tanto, este proyecto servirá como estrategia para alcanzar los puntos 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 12 (producción y consumo responsable) (Naciones Unidas [ONU], 2015). Esto debido a que el proyecto incentivaría la producción agrícola consciente y

responsable de fibras vegetales, mientras se desarrolla el eje socioeconómico de las comunidades.

La búsqueda de elementos constructivos amigables con los hábitats naturales ha llevado al desarrollo de nuevas alternativas sostenibles para disminuir la cantidad de contaminación producida en la industria. Por ejemplo, Según Rojas y Corredor (2016), afirman que el material fibroso extraído del cáñamo e incorporado en la matriz del hormigón, contribuye principalmente en la disminución de microgrietas y optimiza el aglutinamiento de la matriz, al aumentar la compactación del material por medio del efecto de punteo; este fenómeno, aumenta la tenacidad debido a que no permite que las grietas continúen por las paredes y siga causando daños en la estructura del elemento. Asimismo, Bastidas y Verdezoto (2021), concluyen que el 0.17% de refuerzo fibroso de paja toquilla presentó una aumento de las propiedades mecánicas con respecto a la mezcla sin refuerzo de fibra natural. Del mismo modo, Castillo (2022), menciona que el 0.25% de fibra natural de junco incorporado a la matriz de hormigón, sí aumenta la capacidad físico-mecánica del adobe.

De esta manera, el yute (*Corchorus Capsularis*) se manifiesta como refuerzo sostenible ideal para reforzar el bloque con sustitución parcial de cemento por cal hidratada como aglutinante. Basado en la investigación de Ramón (2017), en la que concluye que la utilización de 0.20% de la fibra vegetal de yute en la mezcla influye en el aumento de la capacidad a compresión y resistencia en el módulo de ruptura en hormigones estructurales. Además, en la misma investigación se menciona que la planta crece en áreas tropicales y con alto porcentaje de humedad. Por otro lado, tiene una productividad aproximada de 2 t/ha de material en estado seco, y ha sido calificada como una materia prima de alta comercialización, obteniendo el segundo lugar a nivel global (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024).

Además, Martín (2020), menciona que la planta está lista para su cosecha, un mes después de florecer y antes de que los frutos de la planta maduren, hecho que se da en un promedio de 3 meses y medio posterior a haber sido plantado, por lo que se

concluye que al provenir de una fuente renovable y con un crecimiento rápido, la utilización de esta materia prima puede ser controlado y sostenible. El presente proyecto evalúa eco-bloques, un bloque de hormigón con incorporación parcial de cal hidratada como aglutinante, reforzado con 0.20% de fibra vegetal extraída del yute (*Corchorus Capsularis*) bajo normativas correspondientes.

La presente investigación busca abordar estos problemas y evaluar la viabilidad de usar las fibras como materia prima de construcción en el campo de la Arquitectura sostenible, dentro del marco normativo nacional e internacional, normas técnicas que se encargan de establecer los lineamientos y requisitos de acuerdo a los avances tecnológicos y procesos en cada campo de investigación.

1.2. Planteamiento del Problema a Investigar

El excesivo uso de energía y materia prima insostenible deteriora los hábitats naturales, así como del impacto negativo producido en los recursos naturales. En particular, el cemento, que es uno de los elementos más indispensable en obras de construcción, es también el que emite más gases de efecto invernadero (CO_2), lo cual degrada el medio ambiente. Se estima que la fabricación industrial de cemento es la responsable de producir entre el 7% y el 8% del total de las emisiones a nivel global de CO_2 (Servicio Geológico de Estados Unidos, 2016). La obtención del elemento básico del cemento (clinker), es la principal razón de producir emisiones contaminantes.

Una de las opciones para disminuir la contaminación en el sector de la construcción, es sustituir un porcentaje del cemento en la producción del bloque de hormigón. Asimismo, Benavidez (2023), recomienda realizar ensayos en mampostería de concreto, elementos que incorporar parcialmente cal hidratada, ya que en su investigación, el componente con la adición del 3% mostró un aumento leve en las propiedades mecánicas a la edad de 28 días, entonces es probable que con el debido control en el diseño de mezcla se pueda incorporar porcentajes mayores y evidenciar un aumento en las propiedades físico-mecánicas. Por otra parte, Lorenzo (2014), en su estudio concluye que ninguna proporción de los ensayos cumplieron con los

requerimientos referentes a su resistencia, en el cual agregaba porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%; sin embargo, dichos ensayos no contemplaron la incorporación de fibra de refuerzo, la cual podría compensar la pérdida de resistencia previamente documentada. En este sentido, es necesario abordar varias incógnitas para evaluar la viabilidad de la investigación y su aplicabilidad en el eje de materiales sostenibles.

1.3. Justificación de la Investigación

En la etapa inicial de la investigación, el proyecto se enfocó en revisar y evaluar materiales de construcción usados habitualmente y alternativas con enfoque sostenible, considerando tanto aspectos técnicos como ambientales. A partir de este análisis, se plantea el bloque de hormigón ecológico como una opción viable, ya que permite responder a la necesidad de mitigar el deterioro ambiental global relacionado con materiales cementicios, sin dejar de cumplir con los requerimientos de calidad de materiales constructivos aprobados bajo las normativa.

Un enfoque sostenible de diversos estudios indican que la cal hidratada presenta ventajas importantes frente al cemento. Ya que su obtención es menos industrializada y requiere menos energía, lo que contribuye a disminuir el índice de contaminación. Además, durante la etapa de fraguado, la cal tiene la capacidad de absorber dióxido de carbono a través de reacciones de carbonatación cálcica, lo que favorece la reducción de emisiones. A esto se suman sus propiedades fungicidas y bactericidas, así como su carácter biodegradable, características que la convierten en un material favorable dentro de un ciclo de vida más sostenible en la construcción (Eco Ultravioleta, 2020).

De manera complementaria, la revisión bibliográfica permitió identificar que el refuerzo con fibras vegetales de yute (*Corchorus capsularis*) en una proporción del 0,20 % mejora la capacidad mecánica en hormigones estructurales, según lo reportado por Ramón Rodríguez (2017). Este comportamiento se asocia principalmente al control de la propagación de microfisuras dentro de la matriz cementicia, así como a una mejor distribución de esfuerzos. En consecuencia, la inclusión de fibra de yute en el eco-bloque contribuiría a compensar la pérdida de resistencia causada por la cal

hidratada. Esto permitiría reducir parcialmente el contenido de cemento por un material con menor impacto ambiental, sin afectar el desempeño mecánico establecido por la normativa técnica vigente para bloques de hormigón.

Este tipo de bloque de hormigón ecológico se presenta como una alternativa viable para construcciones sostenibles. Esta propuesta plantea como hipótesis que el reemplazo parcial de cemento por cal hidratada y reforzado con 0.2% de fibra de yute (*Corchorus capsularis)* puede alterar significativamente las propiedades físicas y mecánicas del bloque de hormigón.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar las propiedades físico-mecánicas de probetas obtenidas a partir de la mezcla de un eco-bloque de hormigón con sustitución parcial de cemento por cal hidratada con refuerzo de fibra de yute (*Corchorus capsularis*), para determinar su viabilidad como material de construcción alternativo.

1.4.2. Objetivos específicos

1.4.2.1. Fabricar las probetas de eco-bloques de hormigón siguiendo la dosificación previamente definida y aplicando procesos adecuados de mezclado y compactación, con el fin de ensayarlas posteriormente bajo normativa estandarizada.

1.4.2.2. Realizar los ensayos físico-mecánicos en probetas utilizando equipos calibrados, con el propósito de determinar su resistencia a compresión y flexión, así como caracterizar su densidad y porcentaje de absorción de agua

1.4.2.3. Analizar y tabular los resultados de los ensayos físico-mecánicos para cuantificar la mejora o disminución del desempeño de las probetas del

eco-bloque, comparándolas con bloques y probetas patrón convencionales, y verificando su aplicación con normas técnicas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Términos y Definiciones, Bloque de Hormigón y sus Materiales

2.1.1.1. Mampostería de hormigón

La mampostería de hormigón, son piezas compuestas por materia prima como aglomerante (cemento), agua potable, arena y ripio, además de la incorporación o no de aditivos. Dichas unidades de mampostería tiene forma de paralelepípedo, y pueden tener o no vacíos en el interior, asimismo, se menciona que se clasifican de acuerdo a su uso y densidad, mediante tablas proporcionadas por la normativa correspondiente (NTE INEN 3066, 2016).

2.1.1.2. Árido pétreos

Los materiales pétreos son un componente importante en todas las etapas necesarias para fabricar hormigón y mortero, en Ecuador dicho ingrediente tiene que responder a los criterios técnicos de las normativas NTE INEN 872 y ASTM C33 para el árido fino y grueso. Rivera (2003), en su libro menciona que la función principal del árido fino es llenar los huecos entre el árido grueso y el aglomerante, característica que permite optimizar la capacidad mecánica de la matriz del hormigón. Mientras que el árido grueso reduce los espacios vacíos, disminuyendo la cantidad de aglomerante necesario (Holcim Ecuador S.A., s. f.).

2.1.1.3. Cemento hidráulico

El cemento hidráulico está diseñado principalmente para elementos prefabricados de hormigón como postes, adoquines, bloques y bordillos. Este material debe estar avalado bajo las normativas NTE INEN 490 y ASTM C 595, y su fabricación debe estar

certificada por sistemas de producción adecuados. Este material cementicio se destaca por adquirir una óptima resistencia a corto plazo, lo que permite la fabricación de elementos estructurales en corto tiempo, y por generar menos calor de hidratación, lo cual lo hace ideal para manejar grandes masas de concreto (UNACEM Ecuador, s. f.).

2.1.1.4. Agua potable

El agua potable es un elemento hídrico fundamental en la construcción, debido a su aplicación en diferentes productos como hormigones, morteros y revoques, así mismo su uso es fundamental para el mantenimiento de herramientas y áreas de trabajo. La normativa NTE INEN 1108 plantea las características que debe presentar el agua potable, los cuales incluyen parámetros físicos, químicos y microbiológicos. De los cuales destacan, los niveles de pH que deben mantenerse entre 6.5 y 8.5, además, los niveles de cloruros y sulfatos que deben permanecer dentro de límites aceptables, y la ausencia de bacterias coliformes totales y fecales.

2.1.1.5. Cal hidratada

El hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) se obtiene a partir de la etapa de hidratación aplicada en la cal viva, la cual está compuesta principalmente por óxido de calcio (CaO). Este proceso consiste en la adición controlada de agua en cantidades suficientes para asegurar que la reacción química se complete en su totalidad. Como resultado, se produce un material en forma de polvo blanco con mayor grado de pureza y finura, características que facilitan su manipulación y posterior comercialización. Desde el punto de vista constructivo, la cal es un material aglomerante ampliamente utilizado en sistemas tradicionales, especialmente en la elaboración de morteros y revoques. Al respecto, Rodríguez et al. (2005), señalan que la cal puede considerarse uno de los primeros nanomateriales empleados por la humanidad, con registros de uso que se remontan aproximadamente al año 10 000 a.C. Asimismo, los autores concluyen que su estructura coloidal contribuye significativamente a mejorar la propiedad, como la plasticidad y la trabajabilidad del hormigón.

2.1.2. Propiedades Físicas del Bloque de Hormigón

2.1.2.1. Dimensión nominal

Las dimensiones nominales son las medidas de alto, ancho y largo, los cuales resultan al finalizar el proceso de fabricación del bloque, por lo tanto estos valores excluyen la medida correspondiente a la junta del mortero (NTE INEN 3066, 2016). Además, son necesarias debido a que permiten ajustar las cantidades necesarias para el bloque.

2.1.2.2. Dimensión modular

Las dimensiones modulares de las unidades de mampostería incluyen el alto, ancho y largo, adicionalmente toma en cuenta la junta correspondiente al mortero(10 mm) (NTE INEN 3066, 2016). Estos valores permiten establecer la modulación global de la obra, debido a que incluye la dimensión nominal de todas las unidades de mampostería más la junta entre dichas piezas, esto permite planificar las dimensiones totales de los muros y construir de manera más óptima.

2.1.2.3. Densidad

En la normativa ecuatoriana INEN 3066 sobre las unidades de mampostería, señala que se define como la relación entre la masa volumétrica de hormigón y la masa en estado seco. Por lo tanto, se clasifica en bloque de peso liviano, medio y normal (NTE INEN 3066, 2016). Asimismo, la densidad tiene una relación inversamente proporcional con la absorción, y por lo tanto influye directamente si la absorción aumenta, la densidad disminuye y por lo tanto la capacidad mecánica también.

2.1.2.4. Absorción

La absorción es la característica que permite retener o absorber líquidos en sus poros. Por esta razón, esta propiedad es un indicador determinante para la durabilidad, resistencia y comportamiento frente a los agentes ambientales (Neville & Brooks,

2010). Asimismo, la normativa ecuatoriana INEN 3066 señala que la absorción se clasifica tomando como referencia el tipo de densidad del hormigón (NTE INEN 3066, 2016).

2.1.2.5. Humedad

La humedad determina el agua presente en los poros bajo condiciones normales, es decir tal como se recibe en el momento del ensayo. Esta característica física es un indicador que influye en la capacidad mecánica del hormigón, durabilidad, peso, adherencia y la estabilidad dimensional, por lo que su control en condiciones normales, es determinante al momento de optimizar la calidad y la vida útil del materiale (Neville & Brooks, 2010).

2.1.3. Propiedades Mecánicas, Bloque de Hormigón

2.1.3.1. Resistencia mecánica a la compresión bruta

Este valor corresponde a la capacidad máxima que tiene un material para soportar la ejecución de fuerza axial sobre la totalidad de su sección transversal, sin considerar la presencia de vacíos. Las normativas técnicas NTE INEN 3066 (2016) y ASTM C90 (2022) establecen los métodos para obtener este valor a partir de ensayos a compresión realizados con la ayuda de una máquina universal con un número de probetas representativas. Además, en estas normativas se señalan los límites estandarizados para identificar la clasificación de uso en relación a la compresión bruta del material.

2.1.3.2. Resistencia mecánica a la compresión neta

Este valor se refiere al esfuerzo transversal límite que puede soportar el área de un elemento estructural o no estructural, restando los vacíos, es decir las áreas huecas o cualquier otro recorte en el área total del material. Este es el valor real del bloque, ya que refleja la capacidad resistente del área que participa directamente en la transmisión de esfuerzos. Se calculan mediante la carga de falla dividida por el área

neta de la sección transversal del bloque. Las normativas técnicas NTE INEN 3066 (2016) y ASTM C90 (2022) son las encargadas de proveer los métodos y lineamientos para este ensayo.

2.1.3.3. Resistencia mecánica a flexión del hormigón

Es el valor máximo del material antes de fallar o generar roturas después de soportar esfuerzos de tracción y compresión de forma perpendicular al eje longitudinal. Dependiendo de la normativa aplicada, la carga puede ejecutarse mediante el método de tres puntos o de cuatro puntos (carga en los tercios del claro). en el que los esfuerzos mencionados previamente provocan una curvatura en el material hasta que falla (Jara Cruzado et al., 2019). Las normas NTE INEN 2554 (2011) y ASTM C78 (2009) establecen métodos, máquinas y materiales para ensayar probetas rectangulares.

2.2. MARCO NORMATIVO

2.2.1. Normativa Técnica

2.2.1.1. Requisitos y métodos de ensayo para bloques huecos de hormigón (INEN 3066/ASTM C90)

Estas normas son equivalentes y constituyen el marco principal para la evaluación del bloque, permitiendo su clasificación según el uso previsto y su densidad. Asimismo, al basarse en procedimientos equivalentes a la normativa ASTM C90, garantiza la compatibilidad con estándares internacionales y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Diversos estudios, como el desarrollado por Aigaje y Chalco (2021) señalan que esta normativa integra criterios de normas INEN anteriores y resulta fundamental para evaluar y garantizar la calidad de unidades de los bloques.

2.2.1.2. Análisis granulométrico en el material pétreo, fino y grueso (INEN 696/ASTM C136)

Las normativas son equivalentes y establecen el procedimiento para calcular la granulometría a través del análisis por tamizado. Los resultados obtenidos permiten evaluar el cumplimiento de los rangos granulométricos normalizados, así como una adecuada gradación del material. Este ensayo está directamente relacionado con el contenido de vacíos y la resistencia mecánica del material (NTE INEN 696, 2016).

2.2.1.3. Determinación de densidad relativa y absorción del árido fino (INEN 856/ASTM C128)

Este ensayo considera la masa del material sin los poros y su relación con la densidad del agua. El procedimiento contempla la preparación, secado, pesado y saturación del material. A partir del valor de densidad relativa obtenida, se calculan los volúmenes de agregado dentro de la mezcla. Asimismo, el valor de absorción es utilizado en el diseño de mezcla para evaluar el contenido de agua de mezclado y garantizar la adecuada trabajabilidad del hormigón (INEN 856, 2011).

2.2.1.4. Determinación de la densidad relativa y absorción del árido grueso (INEN 857/ASTM C127)

Este ensayo considera la relación de la masa del material sólido, sin los poros, con la densidad del agua, excluyendo el volumen de vacíos entre partículas. Este procedimiento requiere un mayor tiempo de inmersión, con el fin de asegurar la saturación efectiva de los poros del agregado grueso y alcanzar la condición SSD (INEN 857, 2010).

2.2.1.5. Determinación de la masa unitaria y el porcentaje de vacíos (INEN 858/ASTM C29)

El ensayo puede realizarse en condición suelta o compacta, siendo esta última obtenida mediante varillado del material, los resultados permiten evaluar la compactación, tanto del árido fino como grueso, así como obtener la cantidad necesaria de aglutinante (INEN 858, 2016). Estos parámetros son utilizados por el método ACI 211.2, para optimizar la proporción entre agregados y pasta cementicia, asegurando una adecuada compactación del hormigón.

2.2.1.6. Determinación de la humedad total (INEN 862/ASTM C566)

Las normativas son equivalentes y establecen los métodos y lineamientos para la humedad total del material pétreo, fino y grueso. El método consiste en calcular la diferencia de masas, del material tal como se recibe, es decir en condiciones normales y la muestra en estado seco, como resultado se obtiene la masa de la muestra sin la masa del agua evaporada (INEN 862, 2011). Según el método ACI 211.2 (1998) este parámetro es fundamental para el ajuste del contenido de agua en el diseño de mezclas.

2.2.1.7. Requisitos de cementos hidráulicos (INEN 490/ASTM C595)

Las normativas son equivalentes y establecen los requisitos físicos, químicos y mecánicos para cementos hidráulicos compuestos producidos en Ecuador. La norma clasifica estos cementos en tipos IP (Portland-puzolánico), IS (Portland-escoria) e IT (ternario, combinación de dos adiciones minerales) en función de las adiciones minerales empleadas. Asimismo, define límites de finura, tiempos de fraguado, contenido de aire en mortero y resistencias mecánicas mínimas a diferentes edades (INEN 490, 2017).

2.3. MARCO METODOLÓGICO

2.3.1. Investigación Experimental

El presente proyecto de titulación cumple con los lineamientos de investigación de tipo experimental, orientada a la evaluación de bloques de hormigón no estructurales. El desarrollo experimental se realizó con la ayuda de un laboratorio especializado en evaluación de materiales, utilizando métodos de ensayo y equipos normalizados conforme a normativas técnicas de alcance nacional e internacional, lo que permitió garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos.

En la primera etapa de investigación, se establecieron como variables independientes el contenido de agua, las proporciones del material pétreo (arena azul y piedra pómez), el reemplazo parcial de Cemento Portland Puzolánico Tipo IP por cal hidratada tipo T-30 (20 %, 30 % y 40 %) y la incorporación de fibra vegetal de yute, la cual se utilizó en una proporción constante del 0,20 % respecto al volumen neto del hormigón. Este porcentaje de fibra fue seleccionado debido a evidencia investigativa que muestra el aumento del comportamiento mecánico del material (Ramón, 2017), lo que ayudaría a compensar la pérdida de resistencia causada por la cal hidratada previamente documentada por Lorenzo (2014), y favorecer la reducción del contenido de cemento mediante la incorporación de un material más sostenible.

Seguidamente, como variables dependientes se determinó las propiedades físico-mecánicas respecto a bloques de hormigón, para lo cual se planteó ensayar las probetas en laboratorios especializados según normativas correspondientes. Esta metodología experimental permitió establecer una relación causal entre las modificaciones introducidas y su desempeño físico-mecánico. Este análisis resulta fundamental para evaluar la factibilidad técnica del uso de materiales alternativos, como la cal hidratada y la fibra vegetal. Asimismo, la propuesta se desarrolla a partir de la búsqueda de soluciones innovadoras orientadas a la Arquitectura Sostenible.

2.3.2. Datos Utilizados, Caracterización de Materiales

2.3.2.1. Cemento hidráulico ARMADURO de UNACEM

Este aglutinante hidráulico proveniente de la compañía UNACEM, empresa la cual se desempeña principalmente en la industria del concreto y la energía, y cuenta con una amplia trayectoria de 100 años, así como fábricas de producción en países como EE.UU., Ecuador, Colombia entre otros (UNACEM, 2024). El material cementicio fue obtenido directamente de la bloquera *Hormiblock*, ubicada en Tumbaco, una parroquia al este de la capital del Ecuador, asegurando así la trazabilidad y disponibilidad de materiales locales. Estudios previos realizados por Caicedo y Tipán (2019) reportaron que el uso de cemento ARMADURO tipo IP permite alcanzar valores superiores a los obtenidos con otros cementos IP convencionales en mezclas similares de hormigón.

Asimismo, la ficha técnica del fabricante indica que el cemento ARMADURO presenta un fraguado aproximado de 120 minutos, reducción del calor en la etapa de hidratación, así como resistencias mecánicas en mortero normalizado que oscilan entre 50 y 60 MPa a los 28 días, además de contar con licencia ambiental vigente (UNACEM Ecuador, 2023). En función de estas características, este cemento fue seleccionado por su desempeño en la fabricación de bloques huecos de hormigón no estructurales, especialmente frente a la incorporación parcial de cal hidratada, manteniendo condiciones adecuadas de resistencia y durabilidad.

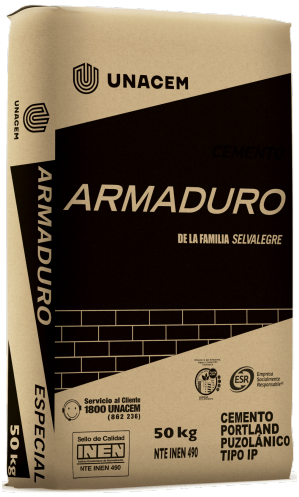


Figura 1. Cemento portland puzolánico Tipo IP
Fuente: UNACEM, 2025.

Dentro del método ACI 211.2, la densidad relativa resulta fundamental, ya que este parámetro permite calcular de manera adecuada las proporciones de los materiales. En el presente estudio, la densidad relativa del cemento se adoptó con base en investigaciones previas en las que el material fue ensayado experimentalmente, observándose una alta concordancia entre los valores reportados. Con base en esta información, se promediaron los datos recopilados y se estableció un valor equivalente de 2.94 como densidad relativa del cemento. Dado que el enfoque de la investigación se centró en el análisis experimental del eco-bloque, se consideró técnicamente viable emplear un valor bibliográfico previamente validado.

Tabla 1. Densidades relativas y aparentes reportadas en estudios previos

Fuente	**Densidad relativa (g/cm³)**
Ramírez Tapia, F. X., & Samaniego Pacto, J. A. (2016)	3.07
Carrera Proaño, G. J., & Guachamín Gaibor, L. O. (2016)	2.99
Santacruz Campoverde, W. A., & Velasteguí Zambrano, E. D. (2018)	2.99
Aicaje Canencia, V. E., & Chalco Tapia, R. S. (2021)	2.70
Castro Solano, E. P. (2020)	2.86
Narváez Muñoz, A. M. (2014)	3.03
Promedio	2.94

2.3.2.2. Cal hidratada CAL T-30 de Relubquim Cia. Ltda

La cal hidratada CAL T-30 producida por Relubquim Cia. Ltda., ubicada al norte de la capital de Ecuador, fue seleccionada para la presente investigación debido a sus características químicas y físicas, las cuales lo hacen adecuado para su uso como material aglutinante complementario en mezclas de hormigón orientadas a aplicaciones no estructurales. La CAL T-30 es un aglutinante aéreo obtenido a partir de la hidratación controlada de la cal viva. Según la información proporcionada en la ficha técnica del fabricante, este producto presenta una pureza mínima igual al 85 % de $Ca(OH)_2$ y una humedad del ≤ 2 %, condiciones que favorecen una mayor reactividad química frente a otras cales hidratadas disponibles en el mercado (Relubquim Cia. Ltda., s. f.). En comparación, cales como la CAL P-24 presentan un menor contenido de $Ca(OH)_2$ (aproximadamente 79 %) implica una menor actividad química, según lo indicado en su respectiva ficha técnica (Calizas Huayco S.A., 2015). En función de estas características, la CAL T-30 fue empleada en esta investigación con la finalidad de mejorar los resultados de la mezcla.



Figura 2. Cal Hidratada. CAL T-30

2.3.2.3. Fibra natural de yute

La fibra fue recuperada a partir de sacos de yute adquiridos en la “Frutería del Valle”, ubicada al oriente de la capital del Ecuador. Estos sacos son comúnmente utilizados como costales debido a su elevada resistencia mecánica. Una vez cumplida su vida útil

comercial, los costales suelen ser desechados o incinerados, lo que genera una oportunidad para su reutilización como material de refuerzo en procesos constructivos, contribuyendo a un enfoque de economía circular y sostenibilidad.

López (2017), en su investigación reporta que la fibra de yute presenta una densidad relativa igual a 1,3 y un diámetro promedio entre 25 y 30 µm. Estas características físicas permiten que la fibra actúe como un refuerzo eficiente, mejorando el comportamiento mecánico del material y manteniendo un desempeño comparable al de otras fibras naturales e incluso sintéticas, especialmente en aplicaciones no estructurales. En el presente proyecto de titulación, la fibra vegetal fue sometida a un tratamiento preliminar basado en la metodología propuesta por Ramón Rodríguez (2017), el cual consistió en lavar, peinar y secar a temperatura ambiente. Posteriormente, la fibra fue cortada a una longitud promedio de 3 cm.

Finalmente, se incorporó un 0,20 % de fibra natural respecto al volumen neto, porcentaje que ha sido identificado en investigaciones previas como óptimo para mejorar las características mecánicas del hormigón sin afectar negativamente su trabajabilidad (Ramón Rodríguez, 2017).

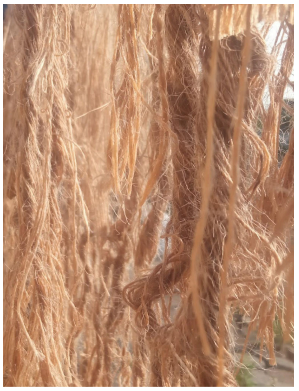


Figura 3. Fibra de yute

2.3.2.4. Caracterización del material pétreo, fino y grueso

La piedra pómez es un material de origen volcánico proveniente de la zona de Pifo. Este árido fue obtenido a través de la fábrica de bloques *Hormiblock*, ubicada al oriente de

la capital del Ecuador, lo que permitió asegurar la disponibilidad y trazabilidad del material.

Este tipo de árido grueso es ampliamente utilizado por diversas empresas bloqueras de Quito para producir bloques fabricados con hormigón liviano, debido a sus propiedades físicas favorables. De acuerdo con lo señalado por Colombo y Mendoza (2021), este material es de origen magmático, formado durante erupciones explosivas. Como resultado de este proceso, la piedra pómez presenta una estructura altamente vesicular, lo que le confiere una estructura interna muy porosa, con valores entre el 75% y 85 %. Estas características hacen que el árido grueso sea adecuado para la fabricación de bloques livianos, facilitando su manipulación en obra.

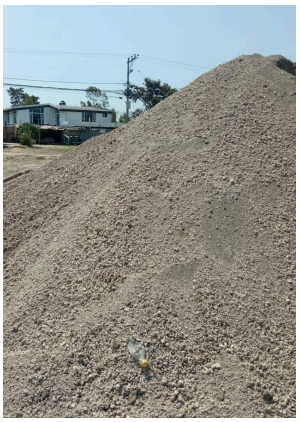


Figura 4. Piedra Pómez, Bloquera "Hormiblock"

El agregado fino empleado en el presente proyecto es la Arena Azul o también conocida como polvo azul, este material se obtuvo en la fábrica de agregados de Holcim Ecuador en Pifo, ubicada al oriente de Quito, Ecuador. Esta empresa cuenta con más de 100 años de trayectoria y tiene su enfoque en la producción sostenible de hormigón, material cementante y agregados pétreos. Armas Rodríguez (2022), menciona que la andesita explotada en la cantera Holcim Pifo presenta características litológicas y mineralógicas propias de las rocas volcánicas intermedias.

La arena azul de Holcim, permite aportar características físicas y mecánicas importantes en el hormigón, debido a que los agregados provenientes de esta empresa

se caracterizan por su alta densidad aparente promedio, la cual es 2.44 g/cm³, y su baja absorción de agua 4.37%, además en cuanto al desgaste, presenta una pérdida de masa del 3.16%, y baja o nula presencia de materia orgánica según ensayos realizados en investigaciones previas bajo las normativas respectivas (Chuquimarca & Romero, 2024). Asimismo, de acuerdo con la ficha técnica, la granulometría se encuentra en un rango de 0 y 4,75 mm, cumpliendo con las normativas ASTM e INEN (Holcim Ecuador S.A., 2023).



Figura 5. Arena azul, Holcim Ecuador S.A.

2.3.2.5. Evaluación granulométrica del árido grueso

El ensayo consiste en pasar el material por los siguientes tamices 3'', 2 ½'', 2", 1 ½'', 1'', ¾'', ⅜'', No. 4, No. 8 y No. 16, para posteriormente evaluar el porcentaje del material que pasó o permaneció retenido, dicho estudio se realizó dentro del marco normativo establecido por la ASTM C136 y la NTE INEN 696, mientras que los límites se evaluaron bajo la norma ASTM C33.

En una primera etapa, se realizó un análisis por bandas, para posteriormente evaluar con los rangos especificados en la normativa técnica ASTM C33, como resultado se encontró, que está clasificado como agregado grueso tipo N°67 (¾''-N°4). Por lo tanto, se determinó que es necesario un etapa adicional para evaluar los tamices No. 4 y No. 8, los cuales no cumplen con los rangos permitidos, debido a un exceso de finos.

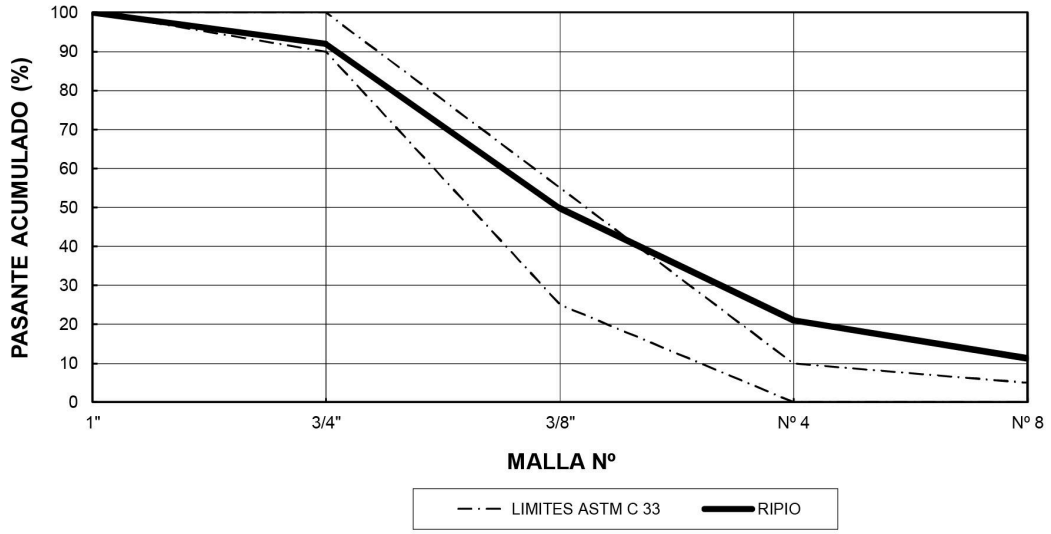


Figura 6. Curva granulométrica, Piedra pómez

Tabla 2. Datos de granulometría de la piedra pómez - calificado por bandas

ABERTURA DE TAMIZ		MASA RETENIDA (g)		% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Límites
(mm)	(pulg)	PARCIAL	Acumulado			
75.00	3"	0.0	0.0	0.0	100	-
63.00	2 1/2"	0.0	0.0	0.0	100	-
50.00	2"	0.0	0.0	0.0	100	-
37.50	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100	-
25.00	1"	0.0	0.0	0.0	100	100
19.00	3/4"	1181	1181	8.2	91.8	90-100
12.50	1/2 "	3626	4807	33.2	66.8	-
9.50	3/8 "	2473	7280	50.3	49.7	25-55
4.75	No. 4	4145	11425	79	21	0 a 10
2.36	No. 8	1411	12836	88.8	11.2	0 a 5
1.18	No. 16	731	13566	93.8	6.2	-
Bandeja		453.0	14460	-	0	-

En una etapa posterior se realizó un ensayo de granulometría clasificado por tamices, bajo los lineamientos de la normativa NTE INEN 697. Los tamices normalizados 3", 1 ½", ¾", ½" ⅜" y N°4, se utilizaron para clasificar las partículas gruesas y finas en una muestra general, y por otro lado, se evaluó una submuestra específica para calcular los finos menores a 75 µm con ayuda de los tamices N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.

Tabla 3. Datos de granulometría de la piedra pómez - clasificado por tamices

ABERTURA DE TAMIZ		MASA RETENIDA (g)		% Retenido Acumulado	% Retenido acumulado corregido	% Pasante	% Pasante corregido
(mm)	(pulg)	PARCIAL	Acumulado				
75.00	3"	0.0	0.0	0.0	0.0	100	100
37.50	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	100	100
19.00	3/4"	1181	1181	8.2	8.2	91.8	91.8
12.50	1/2 "	3626	4807	33.2	33.2	66.8	66.8
9.50	3/8 "	2473	7280	50.3	50.3	49.7	49.7
4.75	No. 4	4145	11425	79	79	21	21
Pasa No. 4		3035					

Tabla 4. Datos de granulometría de la piedra pómez - clasificado por tamices (submuestra)

ABERTURA DE TAMIZ		MASA RETENIDA (g)		% Retenido Acumulado	% Retenido acumulado corregido	% Pasante	% Pasante corregido
(mm)	(pulg)	PARCIAL	Acumulado				
2.00	No. 8	232.61	232.61	46.5	88.8	53.5	11.2
0.85	No. 16	120.43	353.04	70.6	93.8	29.4	6.2
0.43	No. 30	33.19	386.23	77.2	95.2	22.8	4.8
0.25	No. 50	32.55	418.78	83.7	96.6	16.3	3.4
0.15	No. 100	25.66	444.44	88.8	97.7	11.2	2.3
75	No. 200	28.47	472.91	94.5	98.8	5.5	1.2
BANDEJA		27.43					

Seguidamente, en los tamices N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 se determinó el porcentaje retenido acumulado corregido, por medio de la resta del porcentaje pasante corregido con respecto al 100% de la muestra total ensayada. Por lo tanto, se utilizó la fórmula (1) establecida en la normativa ASTM C136 (INEN 696).

$$MF = \frac{\sum (\%\ Retenido\ Acumulado\ corregido\ )}{100} \quad (1)$$

$$MF = \frac{\sum (11/2"+3/4"+3/8"+N°4+N°8+N°16+N°30+N°50+N°100)}{100}$$

$$MF = \frac{\sum (0+8.2+50.3+79+88.8+93.8+95.2+96.6+97.7)}{100}$$

$$MF = 6.1$$

Finalmente, se obtuvo el módulo de finura igual a 6.1 , el tamaño máximo de 1 ½'' y el tamaño máximo nominal de 3/4''. Además, se determinó que no es un agregado completamente convencional N°67 en relación a los rangos permitidos de la normativa ASTM C33. Sin embargo, mostró una buena distribución de grava, arena y finos, lo que en teoría muestra una adecuada compactación entre los componentes, reduciendo los vacíos en la mezcla.

2.3.2.6. Evaluación granulométrica del árido fino

La granulometría se realizó bajo las normativas ASTM C 136 y NTE INEN 696. Estas normativas detallan los instrumentos y métodos necesarios para obtener los datos del árido y rangos permitidos según la normativa ASTM C33. Para lo cual, se realizó el ensayo en los tamices con tamaño 1 ½'', ¾'', ⅜'', No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100, con el objetivo de evaluar los porcentajes de material pasante y retenido.

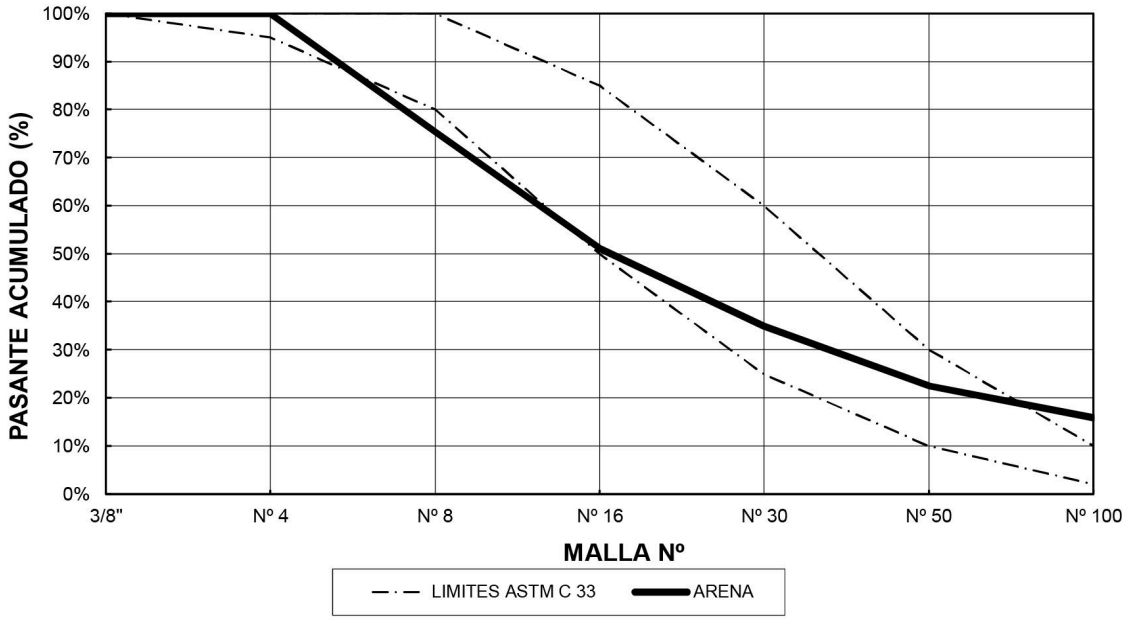


Figura 7. Curva granulométrica, Arena Azul

Tabla 5. Datos de granulometría de la Arena azul

ABERTURA DE TAMIZ		MASA RETENIDA (g)		% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Límites
(mm)	(pulg)	PARCIAL	Acumulado			
37.50	1 1/2 "	0.0	0.0	0.0	100	100
19.05	3/4 "	0.0	0.0	0.0	100	100
9.53	3/8 "	0.0	0.0	0.0	100	100
4.80	No. 4	0.0	0.0	0.0	100	95 a 100
2.40	No. 8	274.77	274.77	24.6	75.4	80 a 100
1.20	No. 16	271	545.77	48.9	51.1	50 a 85
0.60	No. 30	181.22	726.99	65.1	34.9	25 a 60
0.30	No. 50	137.79	864.78	77.4	22.6	10-30
0.15	No. 100	74.81	939.59	84.1	15.9	2-10
Bandeja		177.41	1117	Módulo de finura		3.00

Por lo tanto, se determinó el módulo de finura (MF) por medio de los datos obtenidos y la ecuación (2) establecida en la normativa ASTM C136 (INEN 696).

$$MF = \frac{\sum (\%\ Retenido\ Acumulado\ )}{100} \qquad (2)$$

$$MF = \frac{\sum (6"+3"+11/2"+3/4"+3/8"+N°4+N°8+N°16+N°30+N°50+N°100)}{100}$$

$$MF = \frac{\sum (0+0+0+0+0+0+24.6+48.9+65.1+77.4+84.1)}{100}$$

$$MF = 3.00$$

Como resultado, se logró identificar el módulo de finura (MF) para el agregado fino igual a 3.00 y el tamaño máximo (TM) igual al tamiz N°4. Además, se observó un ligero exceso en finos en los tamices No. 50 y No. 100, mismo que no son significativos para afectar la mezcla, por lo que, dichos valores obtenidos permiten demostrar que el material está dentro de los lineamientos normativos para su uso.

2.3.2.7. Evaluación del peso unitario suelto y compacto

Estos valores se determinaron bajo la normativa técnica ASTM C 29 (INEN 858). Para ello, se utilizó un molde de volumen 2825.00 cm^3 y peso 3866.00 g, seguidamente se introdujo el árido fino dentro del molde, en estado suelto o compacto, y por último se procedió a pesar utilizando una balanza calibrada según las normativas correspondientes.

Tabla 6. Peso unitario suelto del árido fino

Muestra	Masa de material suelto (g)	Masa de material compactado (g)	Masa unitaria suelta (kg/m^3)	Masa unitaria compactada (kg/m^3)
Material Fino	8244	8777	1550	1738
	8242	8742	1549	1726
	8254	8752	1553	1730
	8272	8752	1560	1730
	8270	8763	1559	1733
	8222	8724	1542	1720
	8236	8754	1547	1730
	8222	8753	1542	1730
	8254	8758	1553	1732
	8226	8724	1543	1720
Promedio			1550	1729

Como resultado se obtuvo un valor promedio suelto igual a 1550 kg/m^3 y compactado igual a 1729 kg/m^3, para lo tanto, se puede definir un aumento del 12% entre las dos condiciones ensayadas. En la siguiente etapa, se realizaron los mismos análisis con el árido grueso, este método se realizó bajo las normativas ASTM C 29 (INEN 858). En este caso, se utilizó recipiente de volumen igual a 14249 cm^3 y peso 12584 g, así que, se procedió con el llenado y pesaje del material en condiciones sueltas y compactadas.

Tabla 7. Peso unitario suelto de árido grueso (zarandeado)

Muestra	Masa de material suelto (g)	Masa de material compactado (g)	Masa unitaria suelta (kg/m³)	Masa unitaria compactada (kg/m³)
Material Grueso	21309	22042	612	664
	21357	22069	616	666
	21479	22086	624	667
	21424	22185	620	674
	21456	22038	623	663
	21315	22060	613	665
	21434	22058	621	665
	21315	22041	613	664
	21391	22052	618	664
	21440	22073	622	666
PROMEDIO			617	665

De este modo, se determinó un valor por medio suelto igual a 617 kg/m³ y compacto igual a 665 kg/m³ y un aumento del 8% en relación a las dos condiciones del árido, lo que resulta en una ligera disminución de vacíos en la mezcla, lo cual permite obtener hormigones más livianos como resultado de la estructura altamente poroso del árido grueso. Por otra parte, al ser un material altamente poroso puede absorber agua destinada a reaccionar con el cemento, por tal motivo se considero realizar un procedimiento de ajuste de agua previo al mezclado en la piedra pómez.

2.3.2.8. Evaluación de la densidad relativa y absorción del árido fino

La densidad relativa de la arena azul es igual a la densidad sin los poros con respecto a la densidad del agua, mientras que la capacidad de absorción es la propiedad que tiene el material para saturar sus poros con líquidos. Los datos se obtuvieron a través del método del picnómetro o matraz volumétrico establecido por la normativa técnica ASTM C128 (INEN 856), el cual consiste en medir el desplazamiento del líquido en un recipiente graduado y con la muestra mínima igual a 500 g.

W_{SSD} es la masa saturada superficie seca igual a 500.65 g

W_{P} es la masa del matraz igual a 166.66 g

W_{PW} es la masa del matraz más agua igual a 478.35 g

W_{PS} es la masa del matraz más agregado y mas agua igual a 979.00 g

W_{OD} es la masa de la muestra seca igual a 495.93 g

W_{SUB} es la masa de agua añadida al matraz igual a 311.69 g

Por lo tanto, la densidad relativa (G_{SSD}) se calculó a través de la fórmula (3) especificada en la normativa ASTM C128 (INEN 856).

$$G_{SSD} = \frac{W_{OD}}{W_{SSD} - W_{SUB}} \quad (3)$$

$$G_{SSD} = \frac{495.93\ g}{500.65\ g - 311.69\ g}$$

$$G_{SSD} = 2.63$$

Por otro lado, para obtener la capacidad de absorción se utilizó la fórmula (4) establecida en la normativa técnica especificada (ASTM C 128/NTE INEN 856).

$$A_b = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \text{ x } 100 \quad (4)$$

$$A_b = \frac{500.65\ g - 495.93\ g}{495.93\ g} \text{ x } 100$$

$$A_b = 0.95\ \%$$

Según los cálculos realizados, se registraron una densidad relativa igual a 2.63 y el porcentaje de absorción igual a 0.95 %. Los resultados de la arena azul garantizan una estructura densa y con poca absorción en la mezcla. Lo que permite concluir que el material es óptimo en cuanto a la producción de elementos estructurales de hormigón.

2.3.2.9. Evaluación de la densidad relativa y absorción del árido grueso

Los ensayos de densidad relativa y capacidad de absorción se realizaron por medio de los respectivos métodos establecidos en la normativa ASTM C127 (INEN 857), en la que se indican los lineamientos e implementos para realizar el método de canastilla de malla de alambre, el cual consiste en el pesaje del material bajo el agua con ayuda de

una balanza hidrostática. En donde, la muestra mínima es 2800 g y los valores obtenidos son:

W_{OD} se refiere a la masa seca igual a 2805 g

W_{SSD} corresponde a la masa saturada igual a 3572 g

W_{SUB} es la masa sumergida igual a 1218 g

Para la densidad relativa (G_{SSD}), se calculó con ayuda de ecuaciones establecidas en la ASTM C127 (INEN 857).

$$G_{SSD} = \frac{W_{SSD}}{W_{SSD} - W_{SUB}}$$

(4)

$$G_{SSD} = \frac{3572\ g}{3572\ g - 1218\ g}$$

$$G_{SSD} = 1.517$$

Por otro lado, la absorción se determinó con ayuda de la fórmula estipulada la normativa mencionada.

$$A_b = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \text{ x } 100 \qquad (5)$$

$$A_b = \frac{3572\ g - 2805\ g}{2805\ g} \text{ x } 100$$

$$A_b = 27.34\ \%$$

Como resultado se determinaron los valores de densidad relativa igual a 1.517 en condiciones SSD, es decir saturada superficialmente seca, así como el porcentaje de absorción igual a 27.34 %. Por lo tanto, se puede mencionar que el elevado porcentaje de absorción se debe a su alta capacidad para retener líquido en su estructura porosa, razón por la que, también se registró una baja densidad relativa. Tal como se define en la literatura técnica ASTM C330 y NTE INEN 858, el árido grueso de baja densidad es de base volcánica para hormigones livianos.

2.3.2.10. Humedad total de los áridos

El cálculo de humedad total se realizó con métodos y fórmulas establecidas en las normativas ASTM C566 (INEN 862). De este manera, en este proyecto se obtuvieron las muestras en estado natural en la fábrica bloquera "Hormiblock", posteriormente se peso y seco la muestras a una temperatura de 110 ± 5 °C, seguidamente, se pesó las muestras secas con el objetivo de determinar el peso del agua evaporada, a través de la fórmula (6) propuesta por la normativa

$$\%H = \left(\frac{W-D}{D}\right) \times 100 \qquad (6)$$

Donde,

W es la muestra en estado natural (tal como se recibe).

D es la masa seca en horno a 110 ± 5 °C.

Como resultados se obtuvo un contenido de humedad total igual al 3.1 % y 1.6 % para la piedra pómez y la arena azul respectivamente, datos que corresponden a condiciones ambientales normales. Sin embargo, se identificó presencia libre de agua en la zona superficial del agregado grueso ya que debido a su estructura porosa podría causar un deterioro en la capacidad estructural del hormigón.

2.3.3. Metodología ACI 211.2: Diseño de Mezclas de Hormigón:

El método ACI 211.2, corresponde a una normativa de práctica desarrollada por el American Concrete Institute, cuyo objetivo es establecer un procedimiento para determinar la cantidad de cada material en relación a la resistencia requerida. Esta metodología usa tablas y criterios estandarizados que permiten definir la dosificación inicial de los componentes del hormigón, a partir de la caracterización de los materiales y de los requerimientos específicos de cada aplicación (American Concrete Institute, 1998).

2.3.3.1. Determinación de la resistencia característica requerida

Es el parámetro inicial para el diseño de mezclas de hormigón, ya que define la resistencia mínima a la compresión que debe alcanzar el material a los 28 días de curado. Dentro del marco metodológico del ACI 211.2, este valor permite establecer la resistencia necesaria, con el fin de garantizar un nivel adecuado de calidad y confiabilidad en función de la variabilidad del proceso de fabricación. En el presente proyecto se analizan unidades de mampostería destinadas a aplicaciones no estructurales, correspondientes a bloques de hormigón tipo B. Para este tipo de unidades, la normativa establece una resistencia mínima a la compresión de 4 MPa, calculada como el promedio de tres bloques ensayados (INEN 3066, 2016).

Tabla 8. Bloques de hormigón de acuerdo a su uso

Clase	Uso
A	Mampostería estructural
B	Mampostería no estructural
C	Alivianamientos en losas

Fuente: NTE INEN 3066, 2016

Seguidamente, se procedió a determinar la resistencia característica requerida. Este procedimiento indica que, para resistencias especificadas menores a 20,6 MPa, se debe considerar un incremento de 6,87 MPa con el objetivo de compensar la variabilidad inherente al proceso de producción y asegurar que la resistencia mínima exigida sea alcanzada de manera consistente (ACI 211.2, 1998). En consecuencia, para el presente estudio se adoptó una resistencia característica requerida del hormigón de 10,87 MPa. La adopción de este valor permitió incrementar el rigor del diseño de mezcla y asegurar que las probetas cumplan con los lineamientos mínimos establecidos por la norma.

Tabla 9. Resistencia característica requerida, Método ACI 211.2

Resistencia mínima requerida por la normativa NTE INEN 3066	Resistencia característica requerida por el método ACI 211.2	
	Condición (MPa)	**Fcr' (MPa)**
4 MPa	Si es menor 20.6, se suma 6.87	10.87
	Si está entre 20.6 - 34.3, se suma 8.34	No cumple
	Si es mayor 34.3, se suma 9.81	No cumple

2.3.3.2. Determinación del agua y porcentaje de aire contenido

La ACI 211.2, establece que este valor se obtiene a partir de tablas estandarizadas en relación con datos determinados en la caracterización de materiales. De acuerdo con esta metodología, el contenido de agua se seleccionó considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso igual a 3/4'' (19 mm) y la consistencia deseada del hormigón equivalente a 25–50 mm (2,5–5,0 cm).

Tabla 10. Requerimientos aproximados de agua de mezcla para diferentes revenimientos y tamaño máximo del agregado, Método ACI 211.2

Tamaño máximo de agregado	**3/8'' 9.5 mm**	**1/2'' 12.7 mm**	**3/4'' 19 mm**
Concreto con aire incluido			
	Agua en kg/m³ de hormigón		
Revenimiento de 25 mm a 50 mm	181	175	166
Revenimiento de 75 mm a 100 mm	202	193	181
Revenimiento de 125 mm a 150 mm	211	199	187
	Contenido total de aire recomendado para diferentes niveles de exposiciones, %		
Exposición ligera	4.5	4	4
Exposición moderada	6	5.5	5
Exposición extrema	7.5	7	6
Concreto sin aire incluido			
	Agua en kg/m³ de hormigón		
Revenimiento de 25 mm a 50 mm	208	199	187
Revenimiento de 75 mm a 100 mm	228	217	202
Revenimiento de 125 mm a 150 mm	237	222	208
	Contenido aproximado de aire atrapado en el hormigón sin aire incluido en %		
	3	2.5	2

Fuente: ACI 211.2, 1998

La Tabla 10 del método ACI 211.2, determinó un contenido de agua necesaria para la mezcla igual a 187 kg/m³. Asimismo, se tomó en cuenta únicamente el contenido de aire atrapado, el cual corresponde aproximadamente al 2 % para concretos sin aire incluido y con un tamaño máximo nominal de agregado de ¾''.

2.3.3.3. Determinación de la relación agua - cemento (a/c)

Según el método ACI 211.2 (1998), este valor es fundamental, debido a su influencia en la etapa de hidratación, y por lo tanto en la capacidad mecánica del material. Además, también proporciona tablas normalizadas que toma como referencia la resistencia neta a compresión a la edad de 28 días, y el valor de la relación agua/cemento calculado, para condiciones normales de curado y exposición.

Tabla 11. Relación agua/cemento y la resistencia a la compresión, Método ACI 211.2

Resistencia a compresión a 28 días Mpa	Relación aproximada agua / cemento, por masa	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
41.37	0.41	-
34.47	0.48	0.4
27.58	0.57	0.48
20.68	0.68	0.59
13.79	0.82	0.74

Fuente: ACI 211.2, 1998

Debido a que la resistencia característica requerida es de 10.87 MPa, el valor equivalente se encuentra fuera del rango proporcionado en la tabla. Por este motivo a/c se obtuvo mediante la extrapolación de los datos.

Por lo tanto, se utilizaron las resistencias a compresión proporcionadas por la metodología ACI 211.2.

x = 10.87 MPa

$x_2 = 20.68$ MPa

$x_1 = 13.79$ MPa

Así como, sus equivalencias de relación a/c del hormigón sin aire incluido.

$y_2 = 0.68$

$y_1 = 0.82$

Finalmente, se utilizó la fórmula de extrapolación. Como resultado se determinó a/c = 0.88 correspondiente al hormigón sin aire incluido.

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\left(x - x_1\right) \quad (7)$$

$$y = 0.82 + \frac{0.68 - 0.82}{20.68\ MPa - 13.79\ MPa}\left(10.87\ MPa - 13.79\ MPa\right)$$

$$y = 0.88$$

2.3.3.4. Determinación del peso del cemento

El peso del aglomerante se determinó al dividir 187 kg/m³ sobre a/c igual a 0.88 para el hormigón sin aire incluido. La fórmula para determinar la cantidad de material cementicio se calculó mediante el despeje de la fórmula para la relación agua/cemento (a/c) (8). En consecuencia, se obtuvo 212.65 kg/m³ de cemento.

$$C = \frac{W}{a/c} \quad (8)$$

$$C = \frac{187\ kg/m^3}{0.88}$$

$$C = 212.65\ kg/m^3$$

2.3.3.5. Determinación de la cantidad de árido grueso

Este valor se obtuvo a través de datos calculados previamente, los cuales son el máximo nominal igual a 3/4", así como el módulo de finura del agregado fino igual a 3.0. Como resultado, se determinó un valor de 0.68 m³ como volumen del agregado grueso suelto por unidad de volumen de hormigón.

Tabla 12. Volumen absoluto del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, Método ACI 211.2

Tamaño máximo nominal del agregado	Volumen absoluto del agregado grueso suelto en horno por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de arena.			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.58	0.56	0.54	0.52
1/2"	0.67	0.65	0.63	0.61
3/4"	0.74	0.72	0.70	0.68

Fuente: ACI 211.2, 1998

Finalmente, el volumen absoluto del agregado grueso igual a 0.68 se multiplicó por el peso unitario suelto del material igual a 617.00 kg/m³. De este modo, dio como resultado 419.56 kg/m³ de árido grueso.

2.3.3.6. Evaluación de la cantidad de árido fino

La ACI 211.2. es una metodología que proporciona valores estandarizados en tablas, los cuales permiten calcular la estimación inicial de la masa volumétrica, mediante la interpolación de las densidades relativas del arido grueso y las masas volumétricas del hormigón relacionado al porcentaje mínimo especificado de aire incluido igual a 4%.

Tabla 13. Primera estimación de la masa volumétrica del hormigón ligero fresco compuesto por agregado ligero y arena de masa normal, Método ACI 211.2

Factor de gravedad específica	Primera estimación de la masa volumétrica del hormigón ligero, kg/m³		
	Hormigón con aire incluido		
	4%	6%	8%
1	1596	1561	1519
1.2	1680	1644	1608
1.4	1769	1727	1691
1.6	1852	1810	1775
1.8	1935	1899	1858
2	2024	1982	1941

Fuente: ACI 211.2, 1998

En donde,

x es igual a 1.517

x_1 es igual a 1.4

x_2 es igual a 1.6

Y, su masas volumétricas respectivas son

y_1 igual a 1769 kg/m³

y_2 es igual a 1852 kg/m³

Con base en lo anterior, se calculo la masa volumétrica del hormigón mediante la interpolación de los datos equivalentes utilizando la fórmula:

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\left(x - x_1\right) \quad (9)$$

$$y = 1769\ kg/m^3 + \frac{1852\ kg/m^3 - 1769\ kg/m^3}{1.6 - 1.4}\ (1.517 - 1.4)$$

y = 1817.55 kg/m³

Para lo cual, para el hormigón se calculó un valor igual a 1817.55 kg/m³ como estimación inicial de la masa volumétrica. Seguidamente, la cantidad del agregado fino se obtuvo a través del principio de balance de masa.

En donde

W_{agua} es la cantidad de agua igual a 187 kg/m³

$W_{cemento}$ es el peso del cemento igual a 212.65 kg/m³

$W_{agregado\ grueso}$ es el agregado grueso igual a 419.56 kg/m³

$W_{hormigón}$ es la primera estimación del peso del hormigón igual a 1817.55 kg/m³

Para calcular la cantidad de agregado fino se utilizó la fórmula (10):

$$W_{agregado\ fino} = W_{hormigón} - (W_{agua} + W_{cemento} + W_{agregado\ grueso}) \quad (10)$$

$$W_{agregado\ fino} = 1817.55\ kg/m^3(187\ kg/m^3 + 212.65\ kg/m^3 + 419.56\ kg/m^3)$$

$$W_{agregado\ fino} = 998.34\ kg/m^3$$

Finalmente, se obtuvo que la cantidad de agregado fino es igual a 998.34 kg/m³.

2.3.3.7. Corrección de los pesos del material pétreo, fino y grueso

El ajuste se realizó a partir de la humedad total y la absorción de los áridos. En la etapa inicial de la investigación, la piedra pómez presentó un porcentaje de humedad total igual a 3.10%, absorción igual a 27.4%. Asimismo, se determinó la humedad total igual a 1.60% y absorción igual a 0.95% en relación a la arena azul. Según la normativa ACI 211.2 (1998), la humedad superficial es la resta entre la humedad total y la capacidad de absorción de los agregados, la cual se calcula a través de la fórmula (11)

$$H_{superficial} = H_{total} - Ab \quad (11)$$

En donde,

H_{total} es la humedad total de los áridos

Ab la capacidad de absorción de los áridos

Por lo tanto, la humedad superficial de la piedra pómez es igual a -24.24%, por lo que, se establece que el agregado grueso absorberá agua de la mezcla debido a su estructura porosa. Así como, la humedad superficial de la arena azul es igual a 0.65%, lo que significa que el agregado fino aporta muy poca variabilidad en relación al agua total del hormigón.

La arena azul corregida utilizó la fórmula despejada de humedad total (6) proporcionada por la normativa ASTM C566 y su equivalente INEN 862.

En donde, A_{fino} es la cantidad de agregado fino estimado igual a 998.34 kg/m³

HF_{total} es la humedad total de la arena azul igual a 1.60%

$$CA_{fino} = 1 + (HF_{total}/100) \times A_{fino} \quad (6)$$

$$CA_{fino} = 1 + (1.60\%/100) \times 998.34\ kg/m^3$$

$$CA_{fino} = 1014.32\ kg/m^3$$

De la misma manera, para la piedra pómez corregida se utilizó el despeje de la ecuación (6) presente en la normativa correspondiente (ASTM C566/INEN 862.

En donde,

A_{grueso} es la cantidad de agregado grueso estimado igual a 419.56 kg/m³

HG_{total} es la humedad total de la piedra pómez igual a 3.10%.

$$CA_{grueso} = 1 + (HG_{total}/100) \times A_{grueso} \quad (6)$$

$$CA_{grueso} = 1 + (3.10\%/100) \times 419.56\ kg/m^3$$

$$CA_{grueso} = 432.57\ kg/m^3$$

Por otro lado, el agua corregida utilizó el despeje de la fórmula de humedad superficial (11) establecida en la normativa ACI 211.2.

$$CA = A - \left(\frac{(A_{fino} \times HF_{superficial})/100}{A_{grueso} \times HG_{superficial})/100}\right)$$

En donde,

A es la cantidad estimada de agua igual a 187.006 kg/m³

A_{grueso} es la cantidad de agregado grueso estimado igual a 419.56 kg/m³

$HG_{superficial}$ es la humedad superficial de la piedra pómez igual a -24.24%

A_{fino} es la cantidad de agregado fino estimado igual a 998.34 kg/m³

$HF_{superficial}$ es la humedad superficial de la arena azul igual a 0.65%

$$CA = 187.006\ kg/m^3 - \left(\frac{(998.34\ kg/m^3 \times 0.65\%)/100}{(419.56\ kg/m^3 \times (-24.24\%))/100}\right)$$

$$CA = 281.04\ kg/m^3$$

Como resultados, los pesos corregidos son, de arena azul igual a 1014.32 kg/m³, de piedra pómez igual a 432.57 kg/m³ y del agua igual a 281.04 kg/m³.

2.3.3.8. Resumen de cantidades y proporciones del hormigón (ACI 211.2)

Los ensayos realizados a la piedra pómez presentaron una capacidad de absorción considerablemente alta, asimismo se mostró que la saturación interna ocurre de manera lenta y prolongada superando las 48 horas. En este sentido, el tiempo de mezclado en el tambor no sería suficiente para alcanzar su condición de saturación, por lo que el agregado absorberá parte del agua de la mezcla durante la etapa de curado afectando la resistencia mecánica del hormigón. Debido a esto, se humidifico el árido grueso previo a la etapa de mezclado.

Tabla 14. Cantidades y proporciones corregidas

Descripción	Peso (Kg)	Volumen (m^3)	Dosificación
Peso del Cemento, C	212.65	0.068	1
Peso de Agregado Fino, A.F	1014.32	0.386	4.77
Peso Agregado Grueso, A.G	432.57	0.285	2.03
Peso de Agua, A	281.04	0.281	1.32

La pre humectación se realizó con el fin de reducir la capacidad de absorción de los agregados; por lo tanto, en la Tabla 15 se descartó la corrección del agua indicada en la Tabla 14. Como consecuencia, el agua necesaria para la fabricación de los bloques de hormigón será la cantidad no corregida, es decir, la cantidad de agua determinada en la Tabla 10, la cual fue obtenida conforme a las indicaciones del método ACI 211.2. Por otro lado, se mantuvieron las correcciones de peso de los agregados, ya que estos materiales dependen del contenido real de humedad al momento de su utilización.

Tabla 15. Reajuste de cantidades y proporciones

Descripción	Peso (Kg)	Volumen (m^3)	Dosificación
Peso del Cemento, C	212.65	0.068	1
Peso de Agregado Fino, A.F	1014.32	0.386	4.77
Peso Agregado Grueso, A.G	432.57	0.285	2.03
Peso de Agua, A	187.00	0.187	0.88

2.3.4. Cantidades para un Bloque Hueco de Hormigón de 40x15x20 cm

La cantidad necesaria para fabricar la unidad de mampostería, se calculó en función de las dimensiones indicadas en la normativa INEN 3066, en dónde, el largo (l) es igual a

40 cm, la altura (h) es igual a 20 cm; ancho (a) es igual a 15 cm, el espesor pared (Ep) es igual a 25 mm y el espesor tabique (Et) es igual a 25 mm.

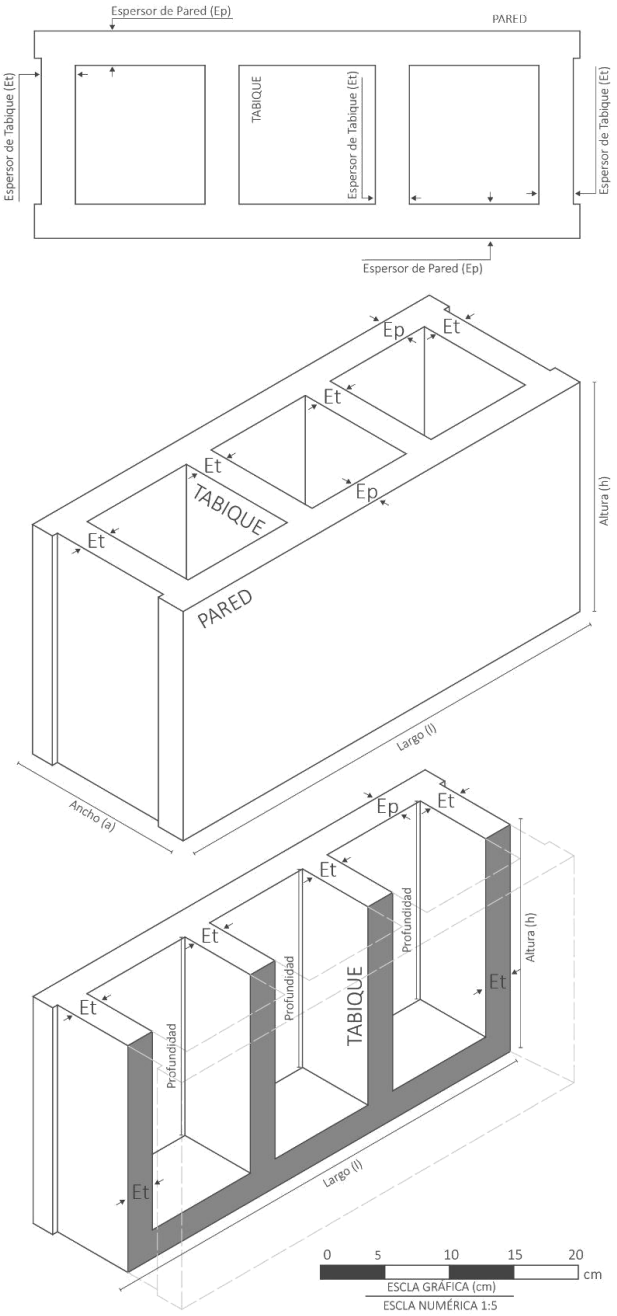


Figura 8. Diseño de las partes del bloque hueco de hormigón, INEN 3066

En primer lugar, se determinó el volumen bruto o total, para lo cual se multiplicó sus dimensiones (largo, ancho y alto) y el volumen neto del mampuesto, es decir el elemento teniendo en cuenta los tabiques, las paredes y las 3 cavidades internas. Como resultado obtuvimos un volumen total de 0.012 m^3 y neto de 0.006 m^3.

Seguidamente, se multiplicó el volumen neto (m³) del bloque hueco por la cantidad de cada materia prima contenido en la mezcla patrón, y por se determinó la cantidad necesaria para la producción de un bloque hueco de hormigón.

Tabla 16. Resumen de cantidades y proporciones para 1 Bloque Hueco de Hormigón.

Descripción	En Peso (Kg)	1 Bloque (Kg)
Peso del Cemento, C	212.65	1.27
Peso de Agregado Fino, A.F	1014.32	6.08
Peso Agregado Grueso, A.G	432.57	2.59
Peso de Agua, A	187.00	1.12

2.3.5. Cantidades para 30 Bloques Huecos de Hormigón de 40x15x20 cm

En esta etapa se estableció la composición de la mezcla para cada dosificación, esto se realizó con la finalidad de producir bloques para las 5 mezclas de hormigón con reemplazo del 20%, 30% y 40% de cemento por cal hidratada y reforzado con 0.20% de fibra de yute (*Corchorus Capsularis*). Estas dosificaciones se clasificaron de la siguiente manera:

MPF0C0: Bloque de hormigón o mezcla patrón, sin fibra de yute ni cal hidratada.
MF0.2C0: Bloque de hormigón con 0,20 % de fibra de yute y sin sustitución de cemento por cal hidratada.
MF0.2C20: Bloque de hormigón con 0,20 % de fibra de yute y 20 % de sustitución de cemento por cal hidratada.
MF0.2C30: Bloque de hormigón con 0,20 % de fibra de yute y 30 % de sustitución de cemento por cal hidratada.
MF0.2C40: Bloque de hormigón con 0,20 % de fibra de yute y 40 % de sustitución de cemento por cal hidratada.

Adicionalmente, el 0.20% de fibra de yute, se calculó en relación al volumen neto del bloque y se utilizó la fórmula:

$$CF_{yute} = ((V_{bloque}) \times (F\%_{yute}/100)) \times (W_{yute})) \quad (12)$$

En donde,

V_{bloque} es el volumen neto del bloque igual a 0.006 m³

$F\%_{yute}$ es el porcentaje de fibra natural de yute (Corchorus Capsularis) igual a 0.2%

W_{yute} es el peso específico de la fibra igual a 1300 kg/ m³.

$$CF_{yute} = ((0.006\, m^3) \times (0.2\%/100)) \times (1300\, kg/\, m^3)$$

$$CF_{yute} = 0.016\, kg$$

Como resultado se determinó que es necesario 0.016 kg de fibra natural, para producir un bloque hueco de hormigón reforzado con yute.



Figura 9. Desfibrilación del yute

Por lo tanto, según la normativa técnica INEN 3066 (2016) se establece un número mínimo de probetas para cada ensayo. En este sentido se elaboraron 3 probetas para el ensayo a compresión y 3 para medir la capacidad de absorción y densidad a la edad de 7, 14 y 28 días. A manera de complemento, también se desarrollaron 2 muestras adicionales para cada mezcla, esto se planteó con la finalidad de prevenir la pérdida de muestras por estar en condiciones de desuso, es decir bloques defectuosos.

Asimismo, se consideró fundamental la metodología aplicada por Arévalo Ortega, K. S., & Armijo Angamarca, L. M, (2024), quienes indican que en mezcladoras de gran capacidad se producen pérdidas inevitables de mezcla en las paredes internas del tambor de mezcla, por lo que es necesario considerar un margen de pérdida para garantizar la cantidad requerida de unidades. Por esta razón, se contempló 3 bloques adicionales para cada dosificación. Finalmente, en total se produjeron 30 bloques huecos de hormigón para cada dosificación en colaboración con la fábrica de bloques "Hormiblock".

Tabla 17. Cantidades de materiales para la fabricar de 30 bloques pro dosificación

Descripción	Dosificación (kg)				
	MPF0C0	MF0.2C0	MF0.2C20	MF0.2C30	MF0.2C40
Peso del Cemento, C	38.27	38.27	30.62	26.79	22.96
Peso de Agregado Fino, A.F	182.57	182.57	182.57	182.57	182.57
Peso Agregado Grueso, A.G	77.86	77.86	77.86	77.86	77.86
Peso de Agua, A	33.66	33.66	33.66	33.66	33.66
Fibra de yute, F	-	0.46	0.46	0.46	0.46
Cal Hidratada, CH	-	-	7.65	11.48	15.31

2.3.6. Equipos y Fabricación del Bloque Hueco de Hormigón

2.3.6.1. Tambor de mezcla

En este estudio, el tambor mezclador se utiliza principalmente en máquinas bloqueras porque es necesario procesar una gran cantidad de material de manera eficiente, los equipos utilizados en este proyecto están seleccionados para asegurar una mezcla uniforme de los ingredientes, optimizando así la calidad del material. Este enfoque se abordó en relación a los equipos existentes en la fábrica de bloques "Hormiblock". En la investigación realizada por Carrera Carrera y Cevallos Estupiñán (2016) mencionan que para equipos con una capacidad máxima de 0,75 metros cúbicos, el mezclado tarda 1 minuto. Además que, por cada 0,33 m^3 se añaden 15 segundos de mezclado. Asimismo, el agua se agrega después de un tercio del tiempo de mezcla, utilizando un tanque de agua calibrado para garantizar una adición precisa. Luego del mezclado, el movimiento giratorio del tambor junto con las paletas internas mueven la mezcla hacia la salida, obteniendo así la mezcla para ser colocada en el vibrocompactador.



Figura 10. Tambor de mezcla

2.3.6.2. Vibrocompactadora

Para la etapa de compactación por vibración de la mezcla, se utilizó una máquina especial "Vibrocompactadora" en la fábrica de bloques “Hormiblock”. La compactación por vibración se realizó mediante equipos mecánicos equipados con un sistema de compactación rígido aplicado a moldes con las dimensiones definidas en este estudio son (15 x 19 x 20 cm). Antes de iniciar la compactación vibratoria, se ajustaron los carriles guía de la máquina, con la finalidad de asegurar las dimensiones planteadas.



Figura 11. Vibrocompactadora

Una vez finalizada la compactación por vibración, los bloques prensados se colocan sobre una plataforma de palets previamente cubierta con costales para asegurar su desmoldeo. Luego, los ladrillos se trasladan a una zona nivelada, protegida de agentes externos para prevenir el endurecimiento acelerado que puede afectar su resistencia. Este procedimiento asegura la calidad y durabilidad de los bloques fabricados.

2.3.6.3. Etapa de curado de bloques de hormigón

La etapa de curado se realizó durante 7 días. Para ello es necesario humedecer los bloques tres veces al día durante una semana para darle al cemento el tiempo suficiente para sufrir las reacciones químicas necesarias para su endurecimiento, garantizando así la resistencia óptima de los bloques.

En la tesis de Carrera y Cevallos (2016) mencionan que el fraguado de las unidades debe realizarse de tal manera, que se disminuya la pérdida de humedad causada por factores como viento, lluvia y sol, ya que esta puede reducir su resistencia hasta en un 50%. El tiempo recomendado de fraguado inicial es de 4 a 8 horas, con un secado completo de 24 horas. Posteriormente, el curado asegura la calidad y resistencia al mantener los bloques húmedos durante siete días, ya sea mediante riego manual tres veces al día o cubriéndose con materiales que conserven la humedad. Por lo que, los bloques se mojaron con una manguera y se cubrieron con plástico, como se recomienda en investigaciones previas. Esta medida ayuda a mantener la humedad necesaria para un correcto curado y garantizar la resistencia requerida del bloque de hormigón.



Figura 12. Curado de bloques en condiciones normales

2.3.7. Ensayos Físicos según la normativa INEN 3066

2.3.7.1. Evaluación dimensional (INEN 3066)

El ensayo tiene como finalidad verificar que las dimensiones reales estén dentro de los límites especificados en la normativa técnica NTE INEN 3066 (ASTM C90). Este procedimiento se realiza con la finalidad de producir las unidades de mampostería a escala industrial.



Figura 13. Preparación superficial de los bloques

En primer lugar, se realizó un proceso de limpiado con el fin de eliminar las imperfecciones presentes en la superficie del bloque, generalmente relacionado con los poros o desniveles, lo que permitió tener mejor consistencia en los resultados. Después, se evalúa el largo, ancho, alto, así como el espesor de los tabiques y las paredes del bloque, mediante la utilización de una regla metálica, calibrada con una precisión de al menos 1 mm. Seguidamente, se determinó el promedio dimensional para cada unidad, obteniéndose el largo promedio igual a 405.1 mm, el ancho promedio igual a 154.0 mm y la altura promedio igual a 190.3 mm. A partir de estos

promedios, se ajustaron las dimensiones nominales reales del bloque y se evaluó en relación a los lineamientos permitidos bajo la normativa NTE INEN 3066 (±3 mm).

Tabla 18. Dimensión General Promedio, Ajuste Nominal y Tolerancias, INEN 3066

Dimensión	Nominal del proyecto (mm)	Promedio real medido (mm)	Nominal real ajustada (mm)	Tolerancia según INEN 3066	Rango permitido (mm)
Largo	400	405.1	405	± 3 mm	402 – 408
Ancho	150	154	154	± 3 mm	151 – 157
Altura	200	190.3	190	± 3 mm	187 – 193
Espesor de paredes	25	24.9	25	± 1.5 mm	23.5 – 26.5
Espesor de tabiques	25	24.5	25	± 1.5 mm	23.5 – 26.5

2.3.7.2. Evaluación de densidad y absorción (INEN 3066)

Según la normativa técnica NTE INEN 3066 (2016) la densidad y absorción son valores utilizados para evaluar y clasificar las características físicas del material, con ayuda de métodos, rangos y tablas estandarizadas. Estas propiedades físicas están relacionadas con la resistencia del bloque frente a agentes externos, como ambientes húmedos o ataques químicos.

Tabla 19. Densidad y absorción máxima de agua en bloques Clase A

Tipo	Densidad (kg/m³)	Absorción máxima promedio (kg/m³)	Absorción máxima por unidad (kg/m³)
Liviano	< 1680	288	320
Medio	1680 a 2000	240	272
Normal	> 2000	208	240

Fuente: NTE INEN 3066, 2016



Figura 14. Tanque de inmersión para bloques

La densidad se determinó mediante la evaluación de 3 bloques de hormigón, una vez que se eliminaron las irregularidades visibles, se registraron las dimensiones (largo, ancho, alto) de cada unidad utilizando un instrumento de medición con una precisión mínima de 1 mm con la finalidad de calcular el volumen. Asimismo se obtuvo el volumen desplazado por el bloque mediante la inmersión de la unidad en agua. Posteriormente, se definió el peso en estado seco. Por último, se calculó y clasificó a través de la fórmula proporcionada en la normativa INEN 3066.

$$D = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \quad (13)$$

Donde,

M_d es la masa de la unidad seca al horno

M_s es la masa de la unidad saturada

M_i es la masa de la unidad sumergida

Según la normativa INEN 3066 (2016) para calcular la capacidad de absorción, se seleccionaron 3 unidades y se pesó en condiciones normales o “tal como se recibe” en

una balanza calibrada. Asimismo, se registró la masa del bloque en estado seco a través de un horno a una temperatura igual a 100 a 115°C. Seguidamente se procede con el periodo de remojo, a una temperatura entre 16 y 27°C durante un periodo de 24 a 28 horas. Finalmente, se elimina el agua superficial con una esponja y se pesa el bloque saturado. Finalmente, se calcula la absorción y se clasifica según los lineamientos y la fórmula establecida por la normativa NTE INEN 3066. En masa por unidad volumétrica de la muestra (kg/ m³)

$$A_b = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \quad (13)$$

Así como, en porcentaje (%)

$$A_b = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \quad (14)$$

Donde,

M_d es la masa de la unidad seca al horno

M_s es la masa de la unidad saturada

M_i es la masa de la unidad sumergida

2.3.8. Ensayos Mecánicos

2.3.8.1. Evaluación de la resistencia a compresión (INEN 3066)

Según la normativa NTE INEN 3066 (2016), establece que el ensayo a compresión, es la resistencia máxima que un bloque de hormigón puede soportar bajo carga axial antes de romperse. Estas pruebas permiten clasificar el mampuesto según su resistencia y los lineamientos establecidos en la normativa.

Tabla 20. Resistencia neta mínima a la compresión en bloques de hormigón

Descripción	Resistencia neta mínima a la compresión (MPa)		
	Clase A	Clase B	Clase C
Promedio de 3 bloques	13.8	4.0	1.7
Por bloque	12.4	3.5	1.4

Fuente: NTE INEN 3066, 2016

En primer lugar, se seleccionaron 3 bloques representativos, con el objetivo de registrar el largo, ancho y alto, así como el espesor de los tabiques y paredes. Después, se procedió con la etapa de capeado, en la cual se utilizó una relación 1:2 de cemento - arena, en la cual se utilizó un grosor de 3 mm, tal como se especifica en ASTM C1552.



Figura 15. Capeado de bloques

Después de 12 horas de aplicar el mortero, se procedió ingresar 3 bloques por cada dosificación en la máquina universal, posteriormente, se ajustó la posición vertical y horizontal del bloque con respecto a las placas de carga de la máquina, utilizando placas metálicas rígidas y láminas de triplex como elementos complementarios de apoyo, con el fin de garantizar una distribución uniforme de la carga sobre toda el área del bloque, corregir pequeñas irregularidades superficiales y asegurar el contacto completo entre las superficies de carga y la unidad de mampostería, tal como recomienda la normativa INEN 3066 (2016).

Posteriormente, durante la etapa del ensayo mecánico, se ejecutó una carga axial uniforme y bajo control al impacto. Durante el ensayo, la carga axial se aplicó inicialmente a cualquier velocidad hasta aproximadamente la mitad de la carga esperada y luego se continuó con una velocidad de desplazamiento constante, de forma que la segunda mitad de la carga se aplicará en un lapso de 1 a 2 minutos antes de la falla (INEN 3066, 2016). Seguidamente, se registró la carga máxima a compresión al momento de observarse grietas en las paredes del bloque.

Finalmente, con la fórmula propuesta en la normativa correspondiente se calculó la resistencia a compresión del área neta (INEN 3066, 2016).

$$R_C \text{ (MPa)} = \frac{P_{MAX}}{A_N} \quad (15)$$

Donde,

P_{MAX} es la carga máxima de compresión, N

A_N es el área neta de la unidad, mm²

Por último, se registró la carga de ruptura y el área neta para cada bloque a los 7, 14 y 28 días. Adicionalmente, se ensayo a la edad de 68 días, debido a que realizó el seguimiento a edades avanzadas, de bloques que incorporan parcialmente la cal hidratada. Como resultado se obtuvo la resistencia neta representada en Mpa, lo que nos permitió definir la clase del bloque de en relación a la normativa INEN 3066.



Figura 16. Ensayo a compresión en bloques

2.3.8.2. Evaluación de la resistencia a flexión (ASTM C78)

La normativa técnica INEN 3066 equivalente a la normativa internacional ASTM C90 estandariza los procedimientos y lineamientos para fabricar y clasificar los bloques de hormigón, misma que contempla el ensayo a compresión, como evaluación respecto a las propiedades mecánicas. Esto es debido a que los bloques se usan como elemento de compresión en muros y no se requiere una capacidad real de flexión. Sin embargo, el ensayo a flexión en las dosificaciones diseñadas para bloques de hormigón, se realizó con carácter experimental, tomando como referencia la normativa INEN 2554 equivalente a la normativa ASTM C78. Para lo cual se adaptó los parámetros establecidos para la fabricación, el curado y el ensayo de probetas rectangulares, con la finalidad de obtener el módulo de ruptura.

De este modo, después de la etapa de mezclado, se fabricaron 2 viguetas por cada dosificación, considerando que el hormigón fue diseñado para la elaboración de bloques y que el ensayo a flexión constituye una evaluación complementaria y de carácter investigativo, debido a que no existe una normativa específica que regule la resistencia a flexión en bloques de hormigón. Las viguetas presentan dimensiones

nominales de 500 mm de longitud, 150 mm de altura y 150 mm de ancho, con una luz libre de 450 mm. Posteriormente, se realizó la etapa de curado en el laboratorio Geosuelos Cia. Ltda., mediante una cámara de humedad (23 °C ± 2 °C) y humedad relativa ≥ 95 %, conforme a lo establecido en la normativa ASTM C78.



Figura 17. Cámara de curado para viguetas de hormigón

Después de 28 días de curado, se procedió a eliminar la humedad superficial excesiva de la vigueta con el fin de obtener un peso consistente. Posteriormente, se registraron las dimensiones reales del espécimen. A continuación, se determinó la ubicación de los tercios de la longitud apoyada, considerando que la luz libre debe ser igual a tres veces la altura del elemento, conforme a los lineamientos establecidos en la NTE INEN 2554, normativa técnicamente equivalente al procedimiento descrito en la ASTM C78 para la determinación de la resistencia a flexión. Con base en esta relación, se trazaron líneas perpendiculares en cada tercio para definir con precisión los puntos de apoyo y las posiciones de aplicación de carga, ejecutándose el ensayo bajo el esquema de carga a cuatro puntos (método de los tercios del claro), de acuerdo con lo establecido en la ASTM C78.



Figura 18. Ensayo a flexión en viguetas de hormigón mediante el método de carga a cuatro puntos

Finalmente, durante el ensayo se obtuvieron datos que permitieron determinar el módulo de ruptura, con ayuda de la ecuación (16) establecida por la normativa INEN 2554 (ASTM C78), la cual se aplica en los casos en que la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz libre de la vigueta.

$$R_F \text{ (MPa)} = \frac{P \times L}{b \times d^2} \qquad (16)$$

Donde,

P es la carga máxima aplicada, N

L es la luz libre, mm

b es el promedio del ancho del espécimen, en la fractura, mm

d es el promedio de la altura del espécimen, en la fractura, mm

Así como la ecuación (17) establecida por la normativa INEN 2554 (ASTM C78) para determinar el módulo de ruptura en los casos en que la falla se produce fuera del tercio medio, pero no más allá del 5% de la luz libre.

$$R_F \text{ (MPa)} = \frac{3 \times P \times a}{b \times d^2} \qquad (17)$$

Donde,

P es la carga máxima aplicada, N

a Distancia entre la línea de falla y el apoyo más cercano, mm

b es el promedio del ancho del espécimen, en la fractura, mm

d es el promedio de la altura del espécimen, en la fractura, mm

3.CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS

3.1.1. Resultados Dimensionales (INEN 3066)

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de variaciones dimensionales propias del proceso de fabricación; sin embargo, dichas variaciones no afectan la validez ni la interpretación de los resultados experimentales, ya que se mantuvieron dentro de las tolerancia aplicable.

Las tolerancias dimensionales permitieron evaluar el cumplimiento de los bloques experimentales en función de su tamaño nominal, verificando que las dimensiones medidas se encuentren alineadas a la normativa. La normativa NTE INEN 3066 (2016), reconoce que pueden presentarse variaciones inherentes al proceso de fabricación, siempre que éstas no comprometen el desempeño del elemento. En este sentido, la normativa prioriza el cumplimiento de las propiedades mecánicas como criterio principal de aceptación, manteniendo tolerancias dimensionales claramente definidas.

Tabla 21. Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 7 días

Dosificación	MPF0C0 (mm)	MF0.2C0 (mm)	MF0.2C20 (mm)	MF0.2C30 (mm)	MF0.2C40 (mm)
Largo	407.33	407.00	406.00	406.33	407.33
Ancho	154.50	154.23	153.90	154.10	154.50
Altura	192.87	186.77	190.63	184.43	187.70
Espesor de paredes	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Espesor de tabique	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50

Tabla 22. Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 14 días

Dosificación	MPF0C0 (mm)	MF0.2C0 (mm)	MF0.2C20 (mm)	MF0.2C30 (mm)	MF0.2C40 (mm)
Largo	405.67	403.00	404.00	403.00	404.33
Ancho	164.07	152.87	154.20	152.90	153.53
Altura	194.43	192.50	189.83	187.03	190.70
Espesor de paredes	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
Espesor de tabique	24.50	24.50	24.50	24.50	24.50

Tabla 23. Dimensiones Promedio para cada dosificación a los 28 días

Dosificación	MPF0C0 (mm)	MF0.2C0 (mm)	MF0.2C20 (mm)	MF0.2C30 (mm)	MF0.2C40 (mm)
Largo	407.33	404.33	403.33	404	406
Ancho	153.9	153.63	153.6	154.07	153.4
Altura	194.9	189.97	192.67	190.43	190.97
Espesor de paredes	24.93	24.63	24.97	24.9	24.57
Espesor de tabique	25.03	24.5	25.07	24.03	25.33

En conjunto, los resultados indican que las variaciones dimensionales observadas a lo largo del tiempo no están directamente relacionadas con la incorporación de cal hidratada y fibra natural, sino que responden principalmente a tolerancias inherentes al proceso de fabricación. En todos los casos, las dimensiones medidas se mantienen dentro de los límites admisibles establecidos por la normativa NTE INEN 3066, lo que permite afirmar que cumplen con los requisitos dimensionales para bloques huecos de hormigón no estructurales.

3.1.2. Resultados de la Densidad y Absorción (INEN 3066)

Según la normativa NTE INEN 3066 (2016), la densidad se determinó mediante el promedio de tres bloques, obteniéndose valores comprendidos entre 1680 y 2000 kg/m³, es decir densidad media.

Por otro lado, se determinaron los valores de absorción para cada bloque con el fin de evaluar su cumplimiento normativo en función de la clasificación por densidad. A partir del promedio de tres unidades por dosificación, se verificó que todas las mezclas presentan valores de absorción inferiores al límite máximo establecido de 240 kg/m³.

Tabla 24. Densidad y absorción de bloques de hormigón para cada mezcla a los 28 días

Mezcla	Bloque N°	Parámetros del ensayo de absorción y densidad						
		Masa de bloque (kg)						
		Como se recibe	Sumergido	Saturado	Seco a 110°C	Absorción (kg/m³)	Humedad(%)	Densidad (kg/m³)
MPF0C0	1.1	14.423	7.298	14.582	13.858	99.4	4.1	1902.5
	1.2	14.276	7.148	14.414	13.52	123	5.6	1860.7
	1.3	14.02	7.106	14.19	13.483	99.8	4.0	1903.3
MF0.2C0	2.1	12.966	6.659	13.336	12.766	85.4	1.6	1911.9
	2.2	12.832	6.552	13.173	12.524	98.0	2.5	1891.6
	2.3	12.965	6.712	13.427	12.918	75.8	0.4	1923.8
MF0.2C20	3.1	13.119	6.621	13.444	12.713	107.1	3.2	1863.3
	3.2	13.612	7.117	14.06	13.433	90.3	1.3	1934.8
	3.3	13.17	6.703	13.40	12.74	99.6	3.4	1900.1
MF0.2C30	4.1	12.518	6.329	12.915	12.185	110.8	2.7	1850.1
	4.2	12.956	6.625	13.331	12.721	91.0	1.8	1897.0
	4.3	12.249	6.102	12.706	11.894	123.0	3.0	1801.0
MF0.2C40	5.1	13.228	6.678	13.553	12.798	109.8	3.4	1861.5
	5.2	13.29	6.728	13.69	12.848	120.9	3.4	1845.4
	5.3	13.292	6.772	13.588	12.584	147.3	5.6	1846.2

Tabla 25. Clasificación promedio segunda la normativa NTE INEN 3066

Dosificación	Densidad (kg/m³)	Clasificación (1680–2000)	Absorción (kg/m³)	Límite (kg/m³)	Calificación
MPF0C0	1888.8	Mediano	107.4	240	Cumple
MF0.2C0	1909.1	Mediano	86.4	240	Cumple
MF0.2C20	1899.4	Mediano	99	240	Cumple
MF0.2C30	1849.4	Mediano	108.3	240	Cumple
MF0.2C40	1851	Mediano	126	240	Cumple

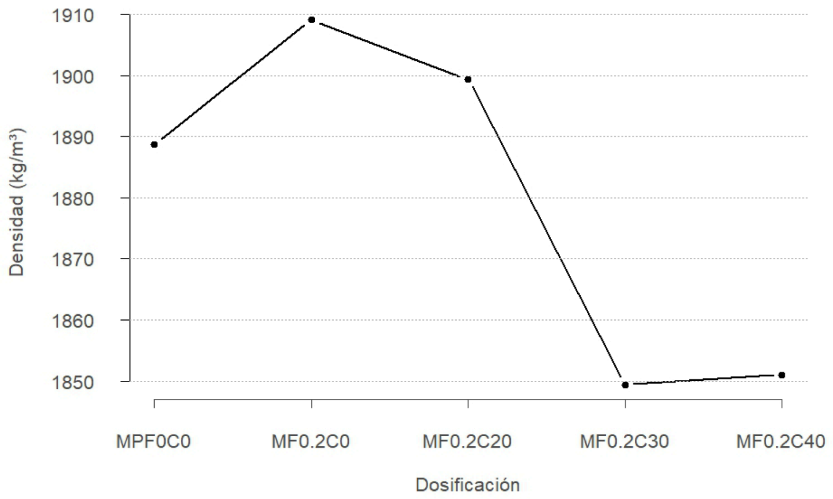


Figura 19. Curva de densidad por dosificación a los 28 días

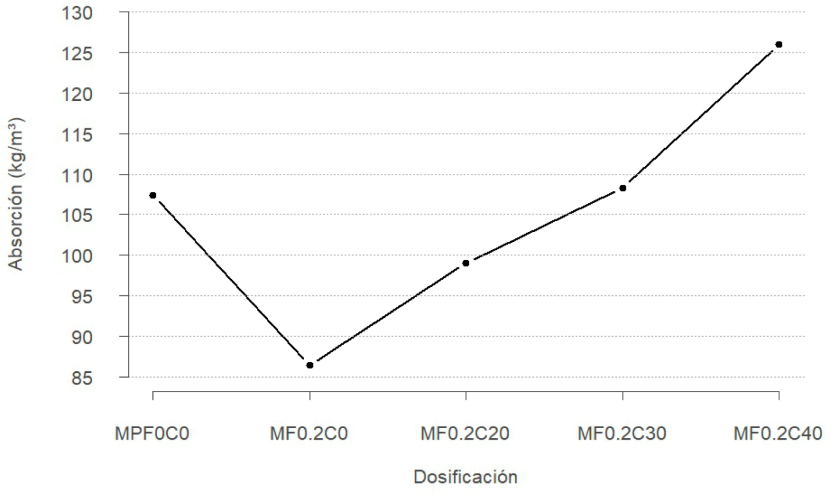


Figura 20. Curva de absorción por dosificación a los 28 días

Por último, se realizó el porcentaje de los promedios de absorción y densidad de cada zonificación. Este análisis permitió identificar de manera comparativa el nivel de mejora, similitud o deterioro de las propiedades físicas de los bloques de hormigón en función de la incorporación de fibra de yute y del reemplazo parcial del cemento por cal hidratada. Los porcentajes obtenidos para cada dosificación se utilizaron como indicadores comparativos, lo que facilitó la evaluación del desempeño de cada mezcla y la identificación de la alternativa más eficiente desde el punto de vista físico.

Tabla 26. Variación porcentual de la absorción respecto a M. patrón

Dosificación	Promedio de absorción (kg/m³)	Variación vs. M. patrón
MPF0C0	107,4	-
MF0.2C0	86,4	-19.6 %
MF0.2C20	99,0	-7.80 %
MF0.2C30	108,3	+0.80 %
MF0.2C40	126,0	+17.3 %

Tabla 27. Variación porcentual de la densidad respecto a M. patrón

Dosificación	Promedio de densidad (kg/m³)	Variación vs. M. patrón
MPF0C0	1888.8	-
MF0.2C0	1909.1	+1.1 %
MF0.2C20	1899.4	+0.6 %
MF0.2C30	1849.4	-2.1 %
MF0.2C40	1851.0	-2.0 %

3.1.3. Resultados de la Resistencia a Compresión (INEN 3066)

3.1.3.1. Resultados de la resistencia a compresión a los 7 días (INEN 3066)

Campoverde (2017), menciona que a los 7 días el hormigón suele alcanzar aproximadamente entre 65 % y 75 % de su resistencia final a 28 días, lo cual permite identificar de manera anticipada posibles deficiencias en la mezcla o en el curado. A la edad de 7 días, este estudio presentó resultados que se encuentran sobre el límite mínimo de resistencia para uso no estructural de 3.5 y 4 MPa (NTE INEN 3066, 2016). Por lo tanto, se obtuvieron valores de resistencia neta inicial a la compresión que muestran una avance óptimo en cuanto a las mezclas.

Tabla 28. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 7 días

		Parámetros del ensayo de compresión				
Dosificación	**Bloque N°**	**Área bruta (mm²)**	**Área neta (mm²)**	**Carga de ruptura (KN)**	**Resistencia bruta (MPa)**	**Resistencia neta (MPa)**
MPF0C0	1.1	62,759.40	30,561.60	349.5	5.57	11.44
	1.2	62,881.50	30,591.00	344.5	5.48	11.26
	1.3	63,158.40	30,670.40	357.5	5.66	11.66
MF0.2C0	2.1	63,044.30	30,630.20	310.4	4.92	10.13
	2.2	62,709.60	30,562.60	292	4.66	9.55
	2.3	62,564.60	30,501.80	288.7	4.61	9.47
MF0.2C20	3.1	62,108.20	30,404.80	262.8	4.23	8.64
	3.2	62,564.60	30,501.80	267.6	4.28	8.77
	3.3	62,775.00	30,540.00	256.5	4.09	8.4
MF0.2C30	4.1	62,148.90	30,414.60	259.1	4.17	8.52
	4.2	62,930.00	30,590.00	252.8	4.02	8.26
	4.3	62,767.60	30,550.80	247	3.94	8.08
MF0.2C40	5.1	63,003.60	30,620.40	195.2	3.1	6.37
	5.2	63,158.40	30,670.40	198.9	3.15	6.49
	5.3	62,637.30	30,532.20	204.2	3.26	6.69

Tabla 29. Resistencia neta a compresión y variación porcentual a los 7 días

Dosificación	Bloque 1 (MPa)	Bloque 2 (MPa)	Bloque 3 (MPa)	Promedio (MPa)	Variación vs. M. patrón
MPF0C0	11.44	11.26	11.66	11.45	-
MF0.2C0	10.13	9.55	9.47	9.72	-15.1 %
MF0.2C20	8.64	8.77	8.40	8.60	-24.9 %
MF0.2C30	8.52	8.26	8.08	8.29	-27.6 %
MF0.2C40	6.37	6.49	6.69	6.52	-43.1 %

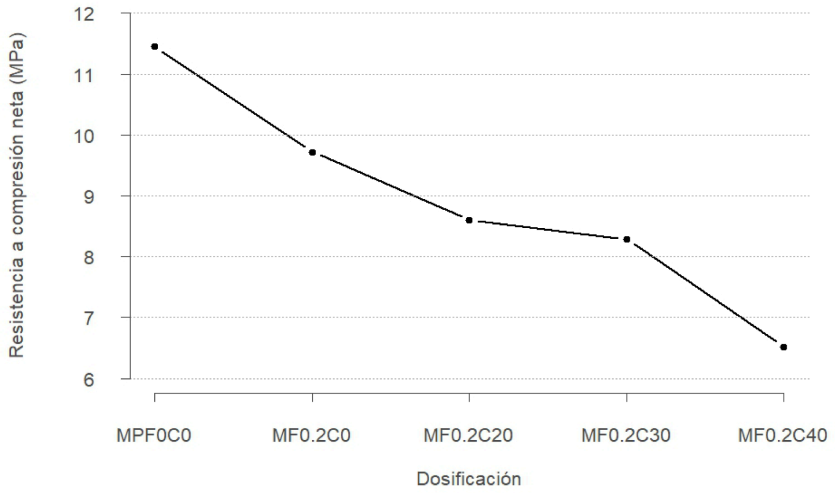


Figura 21. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 7 días

Finalmente, se observó una disminución progresiva de los resultados. Este comportamiento se manifiesta de forma leve en la mezcla con fibra de yute y sin cal, y se acentúa en las dosificaciones con 20 %, 30 % y 40 % de cal hidratada, tal como se refleja en los valores promedio y en la variación porcentual presentada en la Tabla 29.

3.1.3.2. Resultados de la resistencia a compresión a los 14 días (INEN 3066)

A la edad de 14 días se mostraron un aumento con respecto a los 7 días. Campoverde (2017), determina que a los 14 días el hormigón puede alcanzar cerca del 89 % de su resistencia final. Esta medición intermedia permite corroborar que el proceso de hidratación continua avanzando conforme lo previsto y que no existen retrasos significativos que comprometan el resultado final a los 28 días, fortaleciendo así el proceso de control de calidad del material. Por lo tanto, el aumento de la resistencia garantizo que las unidades de mampostería se fabricaron de acuerdo al adecuado uso de los métodos y materiales necesarios para la producir el mampuesto.

Tabla 30. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 14 días

Dosificación	Bloque N°	Parámetros del ensayo de compresión				
		Área bruta (mm²)	Área neta (mm²)	Carga de ruptura (KN)	Resistencia bruta (MPa)	Resistencia neta (MPa)
	1.1	74,439.00	33,362.40	389.9	5.24	11.69
MPF0C0	1.2	62,678.00	30,542.00	440.6	7.03	14.43
	1.3	62,532.00	30,481.20	425.9	6.81	13.97
	2.1	62,296.80	30,411.60	363.4	5.83	11.95
MF0.2C0	2.2	61,144.20	30,105.80	319.1	5.22	10.6
	2.3	61,376.90	30,175.40	321.2	5.23	10.64
	3.1	62,579.60	30,480.20	320.5	5.12	10.52
MF0.2C20	3.2	61,933.20	30,323.40	331.7	5.36	10.94
	3.3	62,377.60	30,431.20	310.3	4.97	10.20
	4.1	60,853.00	30,048.00	293.6	4.82	9.77
MF0.2C30	4.2	61,659.00	30,244.00	305.8	4.96	10.11
	4.3	62,344.10	30,410.60	297.7	4.78	9.79
	5.1	62,564.60	30,501.80	277.3	4.43	9.09
MF0.2C40	5.2	61,376.90	30,175.40	270.3	4.4	8.96
	5.3	62,296.80	30,411.60	268.6	4.31	8.83

Tabla 31. Resistencia neta a compresión y variación porcentual a los 14 días

Dosificación	Bloque 1 (MPa)	Bloque 2 (MPa)	Bloque 3 (MPa)	Promedio (MPa)	Variación vs. control
MPF0C0	11.69	14.43	13.97	13.36	-
MF0.2C0	11.95	10.60	10.64	11.06	-17.2 %
MF0.2C20	10.52	10.94	10.20	10.55	-21.0 %
MF0.2C30	9.77	10.11	9.79	9.89	-26.0 %
MF0.2C40	9.09	8.96	8.83	8.96	-32.9 %

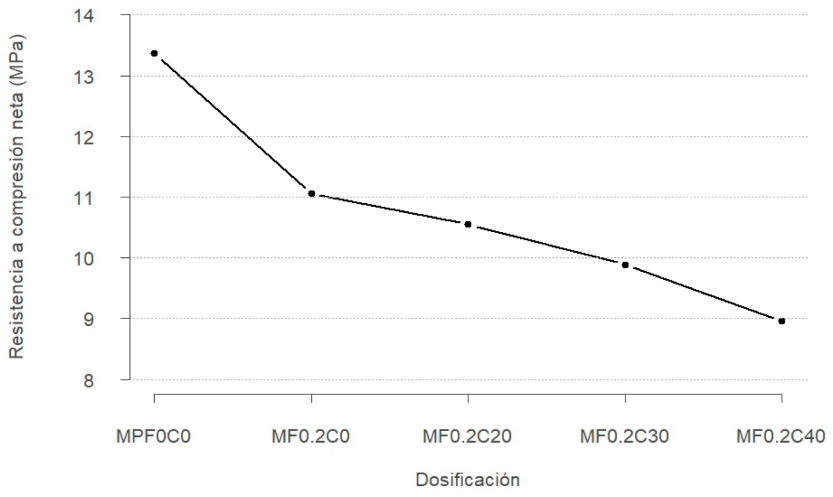


Figura 22. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 14 días

Al comparar los valores promedio con la mezcla patrón (Tabla 31), se observa una disminución progresiva, tendencia que se acentúa conforme el reemplazo de cal hidratada aumenta. Sin embargo, simultáneamente se mostró un recuperación del deterioro obtenido a los 7 días.

3.1.3.3. Resultados de la resistencia a compresión a los 28 días (INEN 3066)

Según la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 3066 (2016) la resistencia mecánica se evalúa a los 28 días, edad fundamental como parámetro estándar para la aceptación o rechazo del material. Debido a que a esta edad el mampuesto se ha desarrollado en su totalidad, por lo que los ensayos realizados permiten evaluar de forma representativa el comportamiento mecánico final del material y verificar el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables.

Adicionalmente, según la metodología ACI 211.2 (1998) considero un incremento en la resistencia característica requerida con el fin de incorporar un margen de seguridad, dicho valor fue establecido en 10,87 MPa, superior al mínimo normativo (4 MPa).

Tabla 32. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 28 días

Dosificación	Bloque N°	Parámetros del ensayo de compresión				
		Área bruta (mm²)	Área neta (mm²)	Carga de ruptura (KN)	Resistencia bruta (MPa)	Resistencia neta (MPa)
MPF0C0	1.1	62,464.80	30,317.80	437.9	7.01	14.44
	1.2	62,995.20	30,067.20	438.1	6.95	14.57
	1.3	62,605.20	31,792.00	486.1	7.76	15.29
MF0.2C0	2.1	62,175.60	29,906.16	469.6	7.55	15.7
	2.2	61,924.50	30,107.84	448.5	7.24	14.9
	2.3	62,256.40	30,469.12	506.4	8.13	16.62
MF0.2C20	3.1	62,256.40	29,779.36	369.7	5.94	12.41
	3.2	61,860.50	31,440.76	452.4	7.31	14.39
	3.3	61,739.60	30,368.04	375.9	6.09	12.38
MF0.2C30	4.1	62,054.40	29,710.32	234.7	3.78	7.9
	4.2	62,223.20	31,163.92	292.5	4.7	9.39
	4.3	62,451.00	29,545.12	213.6	3.42	7.23
MF0.2C40	5.1	62,678.00	31,998.00	300	4.79	9.38
	5.2	62,370.00	29,443.92	255.3	4.09	8.67
	5.3	61,793.20	30,090.16	283.9	4.59	9.43

Tabla 33. Resistencia neta a compresión a los 28 días y calificación de acuerdo a la normativa INEN 3066 para bloques clase B

Dosificación	Bloque 1 (MPa)	Bloque 2 (MPa)	Bloque 3 (MPa)	Promedio (MPa)	Calificación INEN 3066 (4 MPa)	Variación vs. M.patrón
MPF0C0	14.44	14.57	15.29	14.77	Cumple	-
MF0.2C0	15.70	14.90	16.62	15.74	Cumple	+ 6,6 %
MF0.2C20	12.41	14.39	12.38	13.06	Cumple	-11,6 %
MF0.2C30	7.90	9.39	7.23	8.17	Cumple	-44,7 %
MF0.2C40	9.38	8.67	9.43	9.16	Cumple	-38,0 %

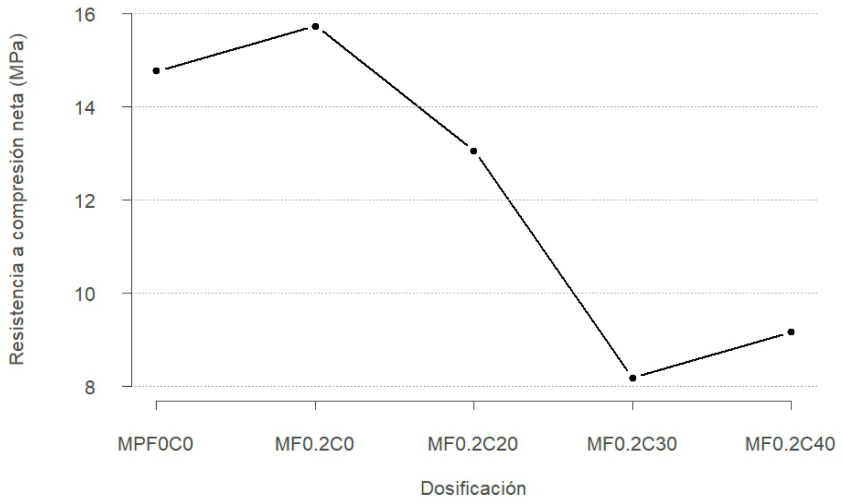


Figura 23. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 28 días

El análisis de la variación porcentual permitió identificar el efecto de cada modificación en la matriz del hormigón. La dosificación MF0.2C0 presentó una mejora del 6,6 %. Por otra parte, las mezclas con reemplazo parcial de cemento por cal hidratada mostraron deterioros progresivos, clasificados como leve, crítico y elevado para los porcentajes de 20 %, 30 % y 40 %, respectivamente.

3.1.3.4. Resultados de la resistencia a compresión a los 68 días (INEN 3066)

Los ensayos realizados a los 68 días se efectuaron de manera complementaria y no normativa, en edades avanzadas. Para esta evaluación se seleccionaron las dosificaciones que presentaron un previo desempeño favorable, correspondientes a la mezcla base(MPF0C0), la mezcla con 0,2 % de fibra de yute sin reemplazo de cemento por cal hidratada (MF0.2C0) y la mezcla con 0,2 % de fibra de yute y un 20 % de reemplazo de cemento por cal hidratada (MF0.2C20). Los resultados obtenidos

evidencian una baja dispersión entre las probetas ensayadas y un incremento general de la capacidad mecánica, motivo por el cual se confirma la correcta ejecución de los procesos de dosificación, fabricación y curado.

Tabla 34. Ensayo a compresión de bloques huecos de hormigón para cada dosificación a los 68 días

Dosificación	Bloque N°	Parámetros del ensayo de compresión				
		Resistencia neta (MPa)	Área neta (mm²)	Carga de ruptura (KN)	Resistencia bruta (MPa)	Resistencia neta (MPa)
MPF0C0	1.1	15.1	30,569.25	461.7	7.39	15.1
	1.2	13.3	29,971.55	398.6	6.42	13.3
	1.3	12.88	30,224.74	389.4	6.32	12.88
MF0.2C0	2.1	13.32	29,432.58	391.9	6.37	13.32
	2.2	14.85	30,434.66	451.9	7.3	14.85
	2.3	15.52	30,719.55	476.8	7.64	15.52
MF0.2C20	3.1	8.73	31,560.50	275.5	4.47	8.73
	3.2	9.35	30,704.13	287	4.61	9.35
	3.3	11.78	31,276.88	368.5	5.94	11.78

Tabla 35. Variación porcentual de la resistencia neta a compresión respecto a la M. patrón a los 68 días

Dosificación	Bloque 1 (MPa)	Bloque 2 (MPa)	Bloque 3 (MPa)	Promedio (MPa)	Variación vs. M. patrón	Observación
MPF0C0	15.1	13.3	12.88	13.76	-	-
MF0.2C0	13.32	14.85	15.52	14.56	+5.8	Mejora leve
MF0.2C20	8.73	9.35	11.78	9.95	-27.7 %	Deterioro moderado

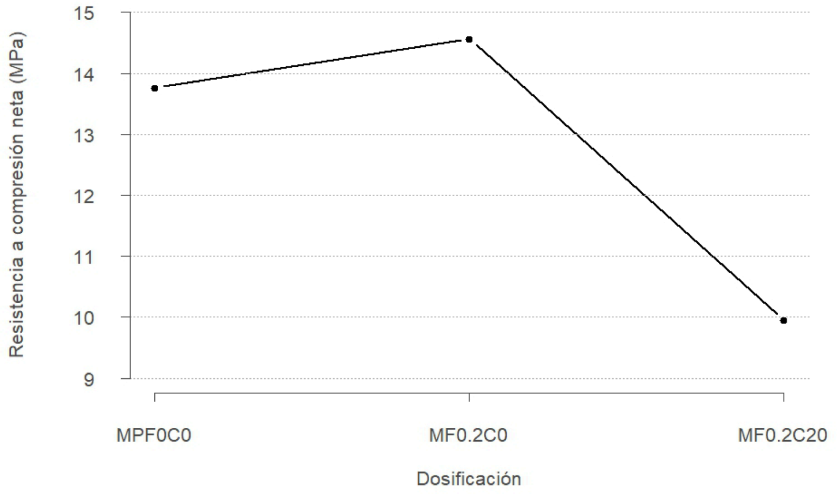


Figura 24. Curva de resistencia a compresión por dosificación a los 68 días

Se observó que las dosificaciones MPF0C0 y MF0.2C0 mantienen valores de resistencia a compresión similares a los registrados a los 28 días, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura técnica, donde se establece que el hormigón alcanza aproximadamente su resistencia máxima a esta edad (NTE INEN 3066, 2016). En el caso de la mezcla MF0.2C0, se evidenció una variación positiva del 5,8 % respecto a la mezcla patrón, mientras que, la mezcla MF0.2C20 presentó un deterioro moderado del 27,7 % a la edad de 68 días.

3.1.4. *Resultados de la resistencia a flexión a los 28 días* (ASTM C78)

La resistencia a flexión del hormigón se obtuvo utilizando viguetas como probetas para ensayo a los 28 días, cumpliendo con los procedimientos establecidos en la NTE INEN 2554 (ASTM C78, 2010). El valor promedio del módulo de ruptura para cada dosificación permitió comparar la variación de la capacidad mecánica a flexión.

Tabla 36. Ensayo a flexión de viguetas de hormigón para cada dosificación a los 28 días

Dosificación	Vigueta N°	Parámetros del ensayo de compresión				
		Peso (kg)	Luz libre (mm)	Carga de ruptura (KN)	Distancia a la falla (mm)	Módulo de ruptura (MPa)
	1.1	17360.00	450.00	10.90	265.00	1.45
MPF0C0	1.2	17427.00	450.00	7.10	240.00	0.95
	2.1	17366.00	450.00	7.20	255.00	0.96
MF0.2C0	2.2	18427.00	450.00	6.10	301.00	0.81
	3.1	18535.00	450.00	4.90	240.00	0.65
MF0.2C20	3.2	19399.00	450.00	6.00	290.00	0.80
	4.1	18243.00	450.00	4.20	260.00	0.56
MF0.2C30	4.2	18236.00	450.00	4.70	275.0	0.63
	5.1	18369.00	450.00	4.50	270.00	0.60
MF0.2C40	5.2	18569.00	450.00	3.00	260.00	0.40

Los resultados evidencian un deterioro del módulo de rotura en todas las dosificaciones modificadas en comparación con la mezcla patrón (MPF0C0). La mezcla MF0.2C0 presentó una disminución del 26,25 %, mientras que las dosificaciones MF0.2C20, MF0.2C30 y MF0.2C40 registraron reducciones del 39,58 %, 50,42 % y 58,33 %, respectivamente. Este comportamiento muestra una relación inversamente proporcional entre la resistencia a flexión y el porcentaje de cal hidratada incorporado en la mezcla.

Tabla 37. Variación porcentual del módulo de rotura (flexión) vs la M. patrón a los 28 días

Dosificación	Módulo de ruptura (MPa)	Variación vs. M. patrón
MPF0C0	1.20	-
MF0.2C0	0.89	-26.25
MF0.2C20	0.72	-39.58
MF0.2C30	0.59	-50.42
MF0.2C40	0.50	-58.33

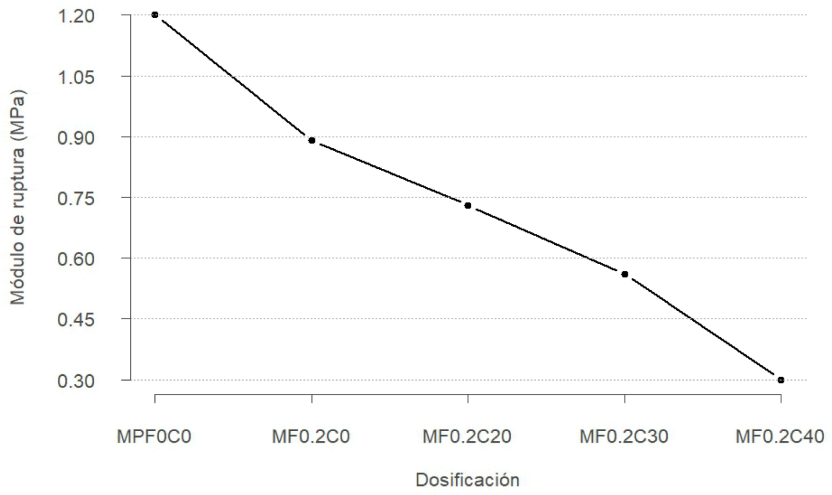


Figura 25. Curva del módulo de ruptura por dosificación a los 28 días

Finalmente, el ensayo adicional a flexión, se realizó en un contexto estrictamente experimental. Las diferentes etapas de la investigación responden a un enfoque investigativo riguroso, orientado a evaluar el comportamiento comparativo de las dosificaciones estudiadas. En consecuencia, los valores obtenidos no deben interpretarse como parámetros directos para su aplicación en obras de construcción, sino como información técnica de referencia para futuras investigaciones y desarrollos experimentales.

3.1.5. ANOVA: Evaluación de resultados de la resistencia neta a compresión a los 28 días

El análisis ANOVA es una herramienta estadística que permite identificar el nivel de confianza con respecto a los ensayos a compresión. En primer lugar se identificó el

promedio de los 3 bloques, la variación entre dosificaciones y la variación entre los 3 resultados obtenidos en cada mezcla.

Tabla 38. Variación entre y dentro de las dosificaciones en la resistencia neta a compresión a los 28 días

Dosificación	Promedio (MPa)	Variación	
		entre dosificaciones SC_{entre}	dentro de las dosificaciones SC_{dentro}
MPF0C0	14.77	19.87	0.40
MF0.2C0	15.74	38.23	1.50
MF0.2C20	13.06	2.18	2.66
MF0.2C30	8.17	48.35	2.46
MF0.2C40	9.16	27.35	0.34
Variación total parcial		135.98	7.36

Seguidamente, se calculó el grado de libertad entre los grupos, por medio de las siguientes ecuaciones (18) propuestas en el ANOVA.

G_{entre} = k - 1 (18)

G_{entre} = 5 - 1

G_{entre} = 4

Asimismo, el grado de libertad dentro de grupos (error), con la siguiente fórmula (19).

G_{error} = N - k (19)

G_{error} = 15 - 5

G_{error} = 10

En donde,

k es el número de grupos o dosificaciones igual a 5

N es el número de muestras o bloques ensayados igual a 15

Por otro lado, se determinó el cuadro medio entre grupos a través de la división entre la variación total parcial y el grado de libertad entre mezclas, con la siguiente fórmula (20)

$$MS_B = \frac{SC_{entre}}{G_{entre}} \quad (20)$$

$$MS_B = \frac{135.98}{4}$$

$$MS_B = 33.99$$

De la misma manera, se calculó el valor de cuadrado medio dentro de los grupos, con la división de la variación total parcial y grado de libertad para los datos obtenidos dentro de las dosificaciones, por medio de la siguiente fórmula (21).

$$MS_W = \frac{SC_{dentro}}{G_{error}} \quad (21)$$

$$MS_W = \frac{7.36}{10}$$

$$MS_B = 0.736$$

En donde,

SC_{entre} es la variación total parcial entre dosificaciones igual a 135.98

G_{entre} es el grado de libertad entre dosificaciones igual a 4

SC_{dentro} es la variación total parcial dentro de las mezclas igual a 7.36

G_{error} es el grado de libertad dentro de las mezclas igual a 10

Posteriormente, se calcula el valor de F por medio de la fórmula (22):

$$F = \frac{MS_B}{MS_W} \quad (22)$$

$$F = \frac{33.99}{0.736}$$

$$F = 46.18$$

En donde,

MS_B es el cuadrado medio entre grupos igual a 33.99

MS_W es el cuadrado medio dentro de los grupos igual a 0.736

Finalmente, el valor de p se obtuvo usando la funciones de distribución acumulada complementaria de la distribución F, por medio de la fórmula (23):

$$p = 1 - F_{CDF}(F; G_{entre}; G_{error}) \quad (23)$$

$$p = 1 - F_{CDF}(46.18; 4; 10)$$

$$p = 2.00 \times 10^{-6}$$

En donde,

$1 - F_{CDF}$ es la función de distribución acumulada

F es el estadístico F igual a 46.18

G_{entre} es el grado de libertad entre grupos igual a 4

G_{error} es el grado de libertad dentro de los grupos igual a 10

El análisis ANOVA evidencia un valor F calculado igual a 46.18, así como un valor p igual a 2.00×10^{-6} menor a α=0.05 (nivel de significancia), por lo tanto se determina que los datos son efecto de los materiales utilizados en diferentes proporciones en cada dosificación. Por lo tanto se acepta la hipótesis planteada, confirmando que el reemplazo parcial de cemento por cal hidratada y reforzado con 0.2% de fibra de yute (*Corchorus capsularis)* altera significativamente las propiedades físicas y mecánicas del bloque de hormigón.

4. CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

4.1. Discusión de Resultados

Los resultados de la caracterización físicas evidenciaron que a medida que aumenta la densidad, su capacidad de absorción disminuye, observándose que las mezclas con bajo o nulo reemplazo de cemento por cal hidratada presentaron menores valores de absorción y densidades similares o ligeramente superiores a la mezcla patrón, mientras que los porcentajes elevados de cal hidratada incrementa la porosidad del material.

Este fenómeno se da primordialmente por el lento fraguado de la cal hidratada, debido que tarde en solidificarse, por tal motivo en edades tempranas pierde resistencia, sin embargo conforme el tiempo pasa la cal recupera características mecánicas. De acuerdo con la European Lime Association (2021), los materiales a base de cal hidratada endurecen progresivamente como resultado de la formación de $CaCO_3$. Este proceso contribuye al desarrollo de propiedades mecánicas a largo plazo, así como al autosellado de microfisuras dentro de la matriz del material, aspectos relevantes para la durabilidad de los elementos de hormigón no estructurales.

La disminución de la capacidad mecánica inicial, se asocia al mecanismo de endurecimiento de la cal hidratada debido a que el desarrollo de la resistencia mecánica en morteros y bloques elaborados con cal hidratada continúa durante meses e incluso años, siempre que exista una adecuada exposición al dióxido de carbono (Criado et al., 2022). En consecuencia, el comportamiento observado a los 7 y 14 días es consistente con la naturaleza del material y no representa una falla del sistema, sino una etapa inicial de su desarrollo mecánico.

Los resultados de la resistencia mecánica obtenida a los 28 días evidencian un adecuado diseño de mezcla para todas las dosificaciones evaluadas, correspondientes a unidades de mampostería no estructurales, superando el valor mínimo de 4 MPa establecido por la INEN 3066. Destacándose que la incorporación de 0.2% de fibra de

yute y un reemplazo parcial del 20 % de cemento por cal hidratada indica un equilibrio aceptable entre sostenibilidad y desempeño mecánico.

Las dosificaciones MPF0C0 y MF0.2C0 alcanzaron resistencias a compresión promedio compatibles con el umbral mínimo exigido igual a 13.8 MPa para bloques clase A a los 28 días, lo que corrobora la calidad del material en estándares más rigurosos. No obstante, dado el enfoque del presente trabajo, los resultados confirman que las mezclas evaluadas son adecuadas y cumplen satisfactoriamente los requisitos mecánicos.

A los 68 días, la mezcla MF0.2C20 presentó un deterioro del 27,7 %, comportamiento que puede atribuirse a la degradación progresiva de las fibras naturales con el tiempo y a su exposición prolongada a un ambiente altamente alcalino, condición que se ve acentuada por la presencia de cal hidratada. No obstante, este comportamiento no invalida el uso de la dosificación MF0.2C20 en aplicaciones no estructurales, sino que evidencia la vulnerabilidad de sistemas reforzados con fibras vegetales, además, en base a los resultados obtenidos a los 28 días se perfila como una oportunidad para desarrollar el material, con un tratamiento químico complementario que permita asegurar la integridad de la fibra.

A los 28 días, se evidenció un deterioro en la capacidad a flexión entre el 26.25% y el 58.33%, resultados que se asocian a la mayor porosidad de la matriz y a la menor eficiencia del anclaje entre la fibra de yute y el material cementicio cuando se incrementa el contenido de cal hidratada. La resistencia a la flexión se ve comprometida por una adherencia deficiente entre las fibras y la cal hidratada.

Teniendo en cuenta los resultados físico-mecánicos de los ensayos realizados, se determina que la sustitución parcial del cemento por cal hidratada junto con la incorporación de un 0,2% de fibra de yute natural permitió lograr un equilibrio en el comportamiento mecánico y físico, manteniendo valores adecuados respecto a la mezcla patrón. Aunque no se registró un aumento uniforme para todas las dosificaciones, los resultados mostraron que la incorporación de fibra ayudó a

compensar las pérdidas asociadas con un mayor contenido de cal, sin afectar significativamente el rendimiento.

En este sentido, los resultados obtenidos no contradicen a los anteriores, sino que los complementan, demostrando que es posible aumentar el porcentaje de cal hidratada, si se refuerza adecuadamente con fibras naturales, las cuales, en investigaciones previas han demostrado un aumento en las propiedades del hormigón respecto a su mezcla base. De esta forma, el estudio aporta evidencia experimental que permite integrar y optimizar investigaciones anteriores, utilizándose como base para mejorar y adaptar futuras propuestas de materiales sostenibles.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El análisis de las propiedades físico-mecánicas del eco-bloque permitió determinar que la dosificación MF0.2C20, correspondiente a un reemplazo del 20 % de cemento por cal hidratada y un refuerzo del 0,2 % de fibra de yute, presentó el mejor equilibrio entre la reducción del cemento y el desempeño físico-mecánico para bloques no estructurales clase B según la NTE INEN 3066. Por lo tanto, se verifica la viabilidad técnica del eco-bloque como material alternativo de construcción.

Las probetas fueron fabricadas conforme a la metodología ACI 211.2, en conjunto con la caracterización de los agregados y la evaluación en cumplimiento de la normativa técnica NTE INEN 3066. Esto permitió realizar un proceso experimental técnicamente válido y reproducible, asegurando que las dosificaciones diseñadas cumplieran con los criterios normativos y los objetivos planteados en la investigación.

Los ensayos físicos-mecánicos fueron ejecutados utilizando equipos calibrados según la normativa vigente. De este modo, todas las dosificaciones evaluadas a compresión cumplieron la normativa NTE INEN 3066 correspondientes a unidades de mampostería no estructurales de clase B, mientras que los ensayos a flexión, mostraron que el módulo de ruptura en viguetas elaboradas con hormigón reforzado con 0,2 % de fibra de yute está condicionado por la clasificación estructural del hormigón, es decir para fines estructurales o no estructurales. Por otro lado, la densidad mostró una clasificación media (1680 - 2000 kg/m^3), mientras que la absorción se mantuvo dentro del límite (240 kg/m^3).

El análisis de los resultados evidenció que en edades tempranas (7 y 14 días), la incorporación de cal reduce la resistencia con respecto a la mezcla base. No obstante, a los 28 días alcanzaron resistencias a compresión compatibles con los requisitos normativos, confirmando que la cal hidratada contribuye de manera progresiva al

desarrollo mecánico del material y que su efecto no debe evaluarse únicamente en edades tempranas. Además, se confirmó que la incorporación de fibra de yute en una proporción del 0,2 % es beneficiosa para el comportamiento mecánico del hormigón.

Los ensayos complementarios realizados a los 68 días permitieron evidenciar que el desempeño mecánico a largo plazo de las mezclas con cal hidratada depende tanto de la evolución de la carbonatación como de la durabilidad de la fibra vegetal en un ambiente altamente alcalino, aspecto que debe considerarse en futuros estudios orientados a evaluar la durabilidad del material.

En conjunto, los resultados obtenidos confirman que la incorporación parcial de cal hidratada, combinado con fibra vegetal de yute, representa una alternativa técnicamente viable para fabricar unidades de mampostería no estructural, mitigando el consumo de cemento y contribuyendo al desarrollo de ecomateriales en el campo de la Arquitectura sostenible.

5.2. Recomendaciones

Aumentar el tiempo de evaluación físico-mecánica del material en edades más avanzadas, con la finalidad de analizar de manera más eficiente el posible aumento progresivo de la resistencia relacionada a la carbonatación de la cal hidratada.

Complementar un análisis microestructural mediante procesos especializados de análisis de porosidad. Con la finalidad de relacionar los resultados físicos y mecánicos con respecto a las características internas del hormigón.

Realizar un análisis económico complementario, el cual permita evaluar la inversión productiva del eco-bloque con la finalidad de promover un modelo de gestión comercial para su posible implementación sostenible a escala industrial.

Ampliar la evaluación de propiedades físicas adicionales en el ecobloque, tales como el acondicionamiento termo acústico, y propiedades mecánicas, como la resistencia al

impacto, con la finalidad de ampliar la caracterización y evaluar la viabilidad del bloque según las normativas correspondientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aigaje Canencia, V. E., y Chalco Tapia, R. S. (2021). Determinación de la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz en el tiempo de fraguado, en la elaboración de bloques huecos de hormigón que cumplan con las especificaciones de la norma INEN 3066 [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21543

Alayo, D. (2018). Resistencia a la flexión y compresión axial del adobe compactado con adición de fibras de yute, Cajamarca 2017 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14067

Albán González, A. L. (2022). Caracterización socio-productiva del cultivo de paja toquilla (Carludovica palmata) [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo]. http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13279

Arévalo Ortega, K. S., y Armijo Angamarca, L. M. (2024). Elaboración de bloques de hormigón clase B, con adición de plástico molido PET y cenizas de cascarilla de cacao como componente puzolánico [Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador]. https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/34401

Armas Rodríguez, R. D. (2022). Diseño de explotación zona norte, cantera Holcim Pifo, parroquia Pifo [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26631

Barajas Pérez, J. L. (2014). Elaboración y evaluación de piezas de tabicón con cal hidratada en sustitución del cemento Portland tipo I [Tesis doctoral, Instituto Tecnológico de Colima]. http://dspace.itcolima.edu.mx/jspui/bitstream/123456789/699/1/TESIS.pdf

Bastidas Ñacato, E. D., y Verdezoto Borja, J. M. (2021). Efecto de fibras naturales de Carludovica palmata (paja toquilla) en la resistencia a la compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPa [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20267

Benavidez Rubio, D. Y. (2023). Evaluación del ladrillo sólido de concreto adicionando cal hidratada y plástico PET reciclado, Chota [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. http://www.repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/365

Brito Sevilla, R. J. (2022). Efecto del proceso de pulpaje en las propiedades del papel elaborado a partir de fibras no maderables [Tesis de licenciatura, Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22438

Caicedo Barona, W. A., y Tipán Quinatoa, F. M. (2019). Propiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Quito [Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4574

Castillo Quispe, A. A. (2022). Efecto de la incorporación de fibra de junco en las propiedades del muro de adobe para viviendas unifamiliares, Ica–2022 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88196

Chalén Bermello, M. V. (2018). Estudio de paneles de paja toquilla como aislante acústico y térmico en el revestimiento de paredes [Tesis de licenciatura, Universidad Laica Vicente Rocafuerte]. http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2644/1/T-ULVR-2439.pdf

Chuquimarca, E., y Romero, M. (2024). Diseño de hormigón con adición de pigmentos inorgánicos para la aplicación en pavimentos rígidos [Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador]. https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/37075

Díaz, C. J. A., Cantuña, J. P. L., Silva, C. D. V., y Coba, V. G. A. (2021). Matriz de resina poliéster y fibra natural de chonta en piezas internas automotrices. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 6(11), 180–198. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7953215

European Lime Association. (2014). Lime in building materials. https://www.eula.eu/documents/lime-in-building-materials

Food and Agriculture Organization. (1986). Objetivos de desarrollo sostenible. https://www.fao.org/3/ca3884es/CA3884ES.pdf

Forero Vásquez, C., José, J., Hurtado, G., y Buitrago, A. Á. (s.f.). Materiales de construcción y agregados pétreos amigables con el medio ambiente: Una revisión bibliométrica [Trabajo académico, Universidad Libre]. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/23461/MD0265.pdf

Galán García, I. (2011). Carbonatación del hormigón: combinación de CO_2 con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH. [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid]. https://hdl.handle.net/20.500.14352/47994

García, A. N. D., Gil, R. E. R., y Rico, L. E. G. (2015). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. Enfoque UTE, 6(4), 67–80. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000400067

Gutiérrez, D. E. (2019). Efecto de tres porcentajes de fibra nylon de cáñamo en la resistencia a la compresión y flexión del adobe compactado [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. http://hdl.handle.net/11537/49

Hidalgo-Cordero, J. F., y García-Navarro, J. (2018). Totora (Schoenoplectus californicus) y su potencial como material de construcción. Industrial Crops and Products, 112, 467–480. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029

Irigoin, C. (2024). Sustitución de cemento por cal al 10, 20, 30 y 40% para elaborar un concreto f'c 350 kg/cm² [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. http://hdl.handle.net/20.500.14142/562

Jara Cruzado, R. U., et al. (2019). Ensayo de flexión (Informe N.° 22). Universidad Nacional de Trujillo. https://www.scribd.com/document/438754984/ENSAYO-DE-FLEXION-22-final-2-0-docx

Kikut Cruz, K., Baldi, A., y Elizondo Salas, A. L. (2020). Beneficios del uso de cal hidratada en mezclas asfálticas. Infraestructura Vial, 22(39), 12–19. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-37052020000100012&script=sci_abstract&tlng=es

Neville, A. M. (2013). Tecnologías del concreto. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. https://www.academia.edu/73500732/EL_CONCRETO_Fundamentos_y_nuevas_tecnologias_4_

Neville, A. M., y Brooks, J. J. (2010). Concrete technology (2nd ed.). Pearson Education. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2420055

Rojas, E., y Corredor, I. (2016). Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0fb14478-c9d2-470c-979a-2897a2fc324b/content

Wille, V. K. D. (2014). Caracterização e avaliação das fibras de Schoenoplectus californicus para a produção de papéis [Tesis doctoral, Universidade Federal de Santa Maria]. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8736

ANEXOS

A. Certificado de calibración: Máquinas de Ensayo - Compresión

TEGMETRO	**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN** Certificado N°: GEO-TUM-MF-007-25 Juan Domingo N65 - 85 y Dr. Manuel Guizado, Cotocollao Quito - Ecuador Tlf: 02 - 6007779	ilac-MRA A2LA ACCREDITED CERTIFICATE #4150.01

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	GEOSUELOS CIA.LTDA
Dirección:	Antonio Caicedo N3-224 y José Vinueza, La Morita, Tumbaco.
Persona de contacto:	Marcelo Torres Sierra.
E-mail:	itorres@geosuelos.com
Fecha de calibración:	2025-06-12
Fecha de emisión:	2025-06-12
Próxima calibración:	No definido.

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO E INSTRUMENTO SENSOR DE CARGA

Equipo:	Máquinas de Ensayos - Compresión		
Código:	GPW 4		
Marca:	German S. Rodriguez / Trumax - Lector: LEXUS		
Modelo:	010		
Serie:	826526		
Tipo de indicación	Digital		
Marca sensor carga:	German S. Rodriguez / Trumax	**Unidad de medida:**	kN
Modelo sensor:	010	**Capacidad del equipo:**	1170 kN
Serie sensor:	"--------"	**Rango de medición:**	(100 a 800) kN

MÉTODO UTILIZADO

Procedimiento de calibración de máquinas de Tracción y Compresión TM-CM-15
Comparación con celdas de carga, basado en la normas ISO 7500-1:2018

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Área de Hormigones / Geosuelos Cia Ltda.

La calibración fue realizada bajo un sistema de gestión de calidad conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017.

Los resultados de la calibración y su incertidumbre se exponen en las páginas siguientes y son parte de este documento y se refieren al momento y condiciones en que se realizó la calibración y se relacionan solamente con él o/los ítems sometidos a calibración.

TEGMETRO S.A. no se responsabiliza por los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento y/o equipo calibrado.

No es recomendable la reproducción parcial de este certificado ya que puede dar lugar a interpretaciones equivocadas de sus resultados.

TEGMETRO S.A. mantiene trazabilidad al SI a través de patrones primarios nacionales o internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos de TEGMETRO S.A. y pueden ser revisados por cualquier persona que así lo solicite.

Es responsabilidad del usuario establecer la fecha de una nueva calibración del instrumento y/o equipo. El tiempo de validez de los resultados contenidos en este certificado depende tanto de las características del instrumento y/o equipo calibrado como de las prácticas para su uso y manejo.

Firmado electrónicamente por: ESTALIN DANIEL TACO CHINTALA
Validar únicamente con FirmaEC

Calibrado por:
Técnico
Tnlgo. Estalin Taco

Firmado electrónicamente por: JHONNY ISRAEL BARBERO PALACIOS
Validar únicamente con FirmaEC

Autorizado por:
Gerente Técnico (E)
Ing. Jhonny Barbero

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

B. Certificado de calibración: Balanza digital

	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
TEGMETRO	Certificado N°	GEO-LAB-BA-268-25
	Juan Domingo N65 - 85 y Dr. Manuel Guizado, Cotocollao Quito - Ecuador Tlf: 02 - 6007779	

ilac-MRA ACCREDITED CERTIFICATE #4150.01

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	Geosuelos Cia.Ltda.
Dirección:	Antonio Caicedo N3-224 y José Vinueza, La Morita - Tumbaco
Persona de contacto:	Ing. Myriam Carrera
E-mail:	mcarrera@geosuelos.com
Fecha de calibración:	2025-07-29
Fecha de emisión:	2025-07-29
Próxima calibración:	No definido

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

Instrumento:	Balanza	
Código:	GZE-5	
Tipo:	Digital	
Marca:	LEXUS	
Modelo:	Fenix	
Serie:	YS063032	
Unidad de medida:	kg	
Capacidad:	30	kg
Div. Escala (d):	0,001	kg
Div. Escala verif. (e):	0,001	kg
Clase de exactitud:	Media III	

MÉTODO UTILIZADO

Procedimiento de Calibración de Balanzas TM-CB-04

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Volumen - Área de Masa - TEGMETRO S.A.

La calibración fue realizada bajo un sistema de gestión de calidad conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017.

Los resultados de la calibración y su incertidumbre se exponen en las páginas siguientes, son parte de este documento, se refieren al momento, condiciones en que se realizó la calibración y se relacionan solamente con él o/los ítems sometidos a calibración.

TEGMETRO S.A. no se responsabiliza por los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento y/o equipo calibrado.

No es recomendable la reproducción parcial de este certificado ya que puede dar lugar a interpretaciones equivocadas de sus resultados.

TEGMETRO S.A. mantiene trazabilidad al SI a través de patrones primarios nacionales o internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos de TEGMETRO S.A. y pueden ser revisados por cualquier persona que así lo solicite.

Es responsabilidad del usuario establecer la fecha de una nueva calibración del instrumento y/o equipo. El tiempo de validez de los resultados contenidos en este certificado depende tanto de las características del instrumento y/o equipo calibrado como de las prácticas para su uso y manejo.

Firmado electrónicamente por: PABLO SANTIAGO VILLEGAS CHANCUSIG
Validar únicamente con FirmaEC

Calibrado por:
Técnico
Tnlgo. Pablo Villegas

Firmado electrónicamente por: JHONNY ISRAEL BARBERO PALACIOS
Validar únicamente con FirmaEC

Autorizado por:
Gerente Técnico (E)
Ing. Jhonny Barbero

C. Certificado de calibración: Pie de rey

TEGMETRO

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado N°	GEO-LAB-PR-156-25

Juan Domingo N65 - 85 y Dr. Manuel Guizado, Cotocollao
Quito - Ecuador Tlf: 02 - 600 7779

ilac-MRA ACCREDITED CERTIFICATE #41150.01

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Cliente:	Geosuelos Cía. Ltda.
Dirección:	Antonio Caicedo N3-224 y José Vinueza, La Morita – Tumbaco
Persona de contacto:	Ing. Myriam Carrera
E-mail:	mcarrera@geosuelos.com
Fecha de calibración:	2025-07-31
Fecha de emisión:	2025-07-31
Próxima calibración:	No definido

IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO

Instrumento:	Pie de Rey	
Código:	GKK-17	
Tipo:	Analógico con Nonio	
Marca:	KEX GERMANY	
Modelo:	"------"	
Serie:	"------"	
Unidad de medida:	mm	
Rango:	(0 a 300)	mm
División de escala:	0,05	mm

MÉTODO UTILIZADO

Procedimiento de Calibración de Pies de Rey TM-CP-01

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Laboratorio de Dimensional - Área de Micrometría - TEGMETRO S.A.

La calibración fue realizada bajo un sistema de gestión de calidad conforme a la norma ISO/IEC 17025:2017.
Los resultados de la calibración y su incertidumbre se exponen en las páginas siguientes y son parte de este documento, se refieren al momento, condiciones en que se realizó la calibración y se relacionan solamente con él o/los ítems sometidos a calibración.

TEGMETRO S.A. no se responsabiliza por los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento y/o equipo calibrado.

No es recomendable la reproducción parcial de este certificado ya que puede dar lugar a interpretaciones equivocadas de sus resultados.

TEGMETRO S.A. mantiene trazabilidad al SI a través de patrones primarios nacionales o internacionales, los certificados de calibración se encuentran en los archivos de TEGMETRO S.A. y pueden ser revisados por cualquier persona que así lo solicite.

Es responsabilidad del usuario establecer la fecha de una nueva calibración del instrumento y/o equipo. El tiempo de validez de los resultados contenidos en este certificado depende tanto de las características del instrumento y/o equipo calibrado como de las prácticas para su uso y manejo.

SANTIAGO DAVID ARIZAGA MONGE

Calibrado por:
Técnico
Tec. Santiago Arizaga

JHONNY ISRAEL BARBERO PALACIOS

Autorizado por:
Gerente Técnico (E)
Ing. Jhonny Barbero

D. Informe ensayo a compresión en bloques a la edad de 28 días

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

NORMA NTE INEN 3066 2016-11

*HOJA _1_ DE _5_*

PROYECTO: PY 6299 OL6392
OBRA: Laboratorio de laboratorio
LOCALIZACION: Quito
FECHA: noviembre 13, 2025

SOLICITADO: Michael Conlago
ENSAYADO POR: EA
CALCULADO POR: MC
APROBADO POR: MT

CILINDRO N°		1-1	1-2	1-3
DESCRIPCIÓN		BLOQUE	BLOQUE	BLOQUE
FECHA DE FABRICACION		09/10/2025	09/10/2025	09/10/2025
FECHA DE ENSAYO		06/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
EDAD (DIAS)		28	28	28
LARGO	mm	408.00	408.00	406.00
ANCHO	mm	153.10	154.40	154.20
ALTURA	mm	195.40	196.30	193.00
ESPESOR DE PAREDES	mm	24.70	24.70	25.40
ESPESOR DE TABIQUES	mm	24.50	23.60	27.00
AREA BRUTA	mm²	62,464.80	62,995.20	62,605.20
AREA NETA	mm²	30,317.80	30,067.20	31,792.00
CARGA DE RUPTURA	KN	437.90	438.10	486.10
RESISTENCIA BRUTA	**Mpa**	**7.01**	**6.95**	**7.76**
RESISTENCIA NETA	**Mpa**	**14.44**	**14.57**	**15.29**

INFORMACIÓN ADICIONAL

RESISTENCIA BRUTA	**kg/cm²**	**71.5**	**70.9**	**79.2**
RESISTENCIA NETA	**kg/cm²**	**147.3**	**148.6**	**156.0**
Observaciones				

IVAN MARCELO TORRES SIERRA

Ing. Marcelo Torres

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

NORMA NTE INEN 3066 2016-11

*HOJA _1_ DE _5_*

PROYECTO: PY 6299 OL6392
OBRA: Laboratorio de laboratorio
LOCALIZACION: Quito
FECHA: noviembre 13, 2025

SOLICITADO: Michael Conlago
ENSAYADO POR: EA
CALCULADO POR: MC
APROBADO POR: MT

CILINDRO N°		2-1	2-2	2-3
DESCRIPCIÓN		BLOQUE	BLOQUE	BLOQUE
FECHA DE FABRICACION		09/10/2025	09/10/2025	09/10/2025
FECHA DE ENSAYO		06/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
EDAD (DIAS)		28	28	28
LARGO	mm	404.00	405.00	404.00
ANCHO	mm	153.90	152.90	154.10
ALTURA	mm	191.80	188.50	189.60
ESPESOR DE PAREDES	mm	25.50	24.90	23.50
ESPESOR DE TABIQUES	mm	22.60	24.10	26.80
AREA BRUTA	mm²	62,175.60	61,924.50	62,256.40
AREA NETA	mm²	29,906.16	30,107.84	30,469.12
CARGA DE RUPTURA	KN	469.60	448.50	506.40
RESISTENCIA BRUTA	**Mpa**	**7.55**	**7.24**	**8.13**
RESISTENCIA NETA	**Mpa**	**15.70**	**14.90**	**16.62**

INFORMACIÓN ADICIONAL

RESISTENCIA BRUTA	**kg/cm²**	**77.0**	**73.9**	**83.0**
RESISTENCIA NETA	**kg/cm²**	**160.2**	**151.9**	**169.5**
Observaciones				

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

GEOBUELOS CIA. LTDA. CONSULTORES

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

NORMA NTE INEN 3066 2016-11

*HOJA _1_ DE _5_*

PROYECTO: PY 6299 OL6392
OBRA: Laboratorio de laboratorio
LOCALIZACION: Quito
FECHA: noviembre 13, 2025

SOLICITADO: Michael Conlago
ENSAYADO POR: EA
CALCULADO POR: MC
APROBADO POR: MT

CILINDRO N°		3-1	3-2	3-3
DESCRIPCIÓN		BLOQUE	BLOQUE	BLOQUE
FECHA DE FABRICACION		09/10/2025	09/10/2025	09/10/2025
FECHA DE ENSAYO		06/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
EDAD (DIAS)		28	28	28
LARGO	mm	404.00	403.00	403.00
ANCHO	mm	154.10	153.50	153.20
ALTURA	mm	188.70	199.20	190.10
ESPESOR DE PAREDES	mm	24.60	25.40	24.90
ESPESOR DE TABIQUES	mm	23.60	26.70	24.90
AREA BRUTA	mm²	62,256.40	61,860.50	61,739.60
AREA NETA	mm²	29,779.36	31,440.76	30,368.04
CARGA DE RUPTURA	KN	369.70	452.40	375.90
RESISTENCIA BRUTA	**Mpa**	**5.94**	**7.31**	**6.09**
RESISTENCIA NETA	**Mpa**	**12.41**	**14.39**	**12.38**

INFORMACIÓN ADICIONAL

RESISTENCIA BRUTA	**kg/cm²**	**60.6**	**74.6**	**62.1**
RESISTENCIA NETA	**kg/cm²**	**126.6**	**146.8**	**126.3**
Observaciones				

GEOBUELOS CIA. LTDA. CONSULTORES

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

NORMA NTE INEN 3066 2016-11

*HOJA _1_ DE _5_*

PROYECTO: PY 6299 OL6392
OBRA: Laboratorio de laboratorio
LOCALIZACION: Quito
FECHA: noviembre 13, 2025

SOLICITADO: Michael Conlago
ENSAYADO POR: EA
CALCULADO POR: MC
APROBADO POR: MT

CILINDRO N°		4-1	4-2	4-3
DESCRIPCIÓN		BLOQUE	BLOQUE	BLOQUE
FECHA DE FABRICACION		09/10/2025	09/10/2025	09/10/2025
FECHA DE ENSAYO		06/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
EDAD (DIAS)		28	28	28
LARGO	mm	404.00	403.00	405.00
ANCHO	mm	153.60	154.40	154.20
ALTURA	mm	191.30	189.50	190.50
ESPESOR DE PAREDES	mm	24.90	25.40	24.40
ESPESOR DE TABIQUES	mm	23.10	25.80	23.20
AREA BRUTA	mm²	62,054.40	62,223.20	62,451.00
AREA NETA	mm²	29,710.32	31,163.92	29,545.12
CARGA DE RUPTURA	KN	234.70	292.50	213.60
RESISTENCIA BRUTA	**Mpa**	**3.78**	**4.70**	**3.42**
RESISTENCIA NETA	**Mpa**	**7.90**	**9.39**	**7.23**

INFORMACIÓN ADICIONAL

RESISTENCIA BRUTA	**kg/cm²**	**38.6**	**47.9**	**34.9**
RESISTENCIA NETA	**kg/cm²**	**80.6**	**95.7**	**73.7**
Observaciones				

GEOBUELOS CIA. LTDA. CONSULTORES

ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS DE BLOQUES DE HORMIGÓN

NORMA NTE INEN 3066 2016-11

*HOJA _1_ DE _5_*

PROYECTO: PY 6299 OL6392
OBRA: Laboratorio de laboratorio
LOCALIZACION: Quito
FECHA: noviembre 13, 2025

SOLICITADO: Michael Conlago
ENSAYADO POR: EA
CALCULADO POR: MC
APROBADO POR: MT

CILINDRO N°		5-1	5-2	5-3
DESCRIPCIÓN		BLOQUE	BLOQUE	BLOQUE
FECHA DE FABRICACION		09/10/2025	09/10/2025	09/10/2025
FECHA DE ENSAYO		06/11/2025	06/11/2025	06/11/2025
EDAD (DIAS)		28	28	28
LARGO	mm	407.00	405.00	406.00
ANCHO	mm	154.00	154.00	152.20
ALTURA	mm	188.20	194.60	190.10
ESPESOR DE PAREDES	mm	25.00	24.20	24.50
ESPESOR DE TABIQUES	mm	28.00	23.30	24.70
AREA BRUTA	mm²	62,678.00	62,370.00	61,793.20
AREA NETA	mm²	31,998.00	29,443.92	30,090.16
CARGA DE RUPTURA	KN	300.00	255.30	283.90
RESISTENCIA BRUTA	**Mpa**	**4.79**	**4.09**	**4.59**
RESISTENCIA NETA	**Mpa**	**9.38**	**8.67**	**9.43**

INFORMACIÓN ADICIONAL

RESISTENCIA BRUTA	**kg/cm²**	**48.8**	**41.8**	**46.9**
RESISTENCIA NETA	**kg/cm²**	**95.6**	**88.4**	**96.2**
Observaciones				

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

E. Informe ensayo a flexión en viguetas a la edad de 28 días

GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

CONTROL CALIDAD HORMIGONES

Resistencia a la flexión del hormigón
Norma: ASTM C78

EQUIPO:	**PRENSA GPW - 4**	**Certificado:**	**GEO-TUM-MF-007-25**	**Calibraciòn: 12-06-2025**
	BLOQUES PLANO PARALELO GKK-0	**Certificado:**	**GEO-LAB-BA-268-25**	**Calibración: 08-08-2025**
	DEFORMÍMETRO DIGITAL GDM-887	**Certificado:**	**GDM-887-2025-GEOSUELOS**	**Calibración: 11-08-2025**

PROYECTO: PY 6299 OL6372
OBRA: Michael Conlago
LOCALIZACIÓN: -
FECHA: noviembre 6, 2025
HORMIGÓN: Hormigón f'c= - kg/cm² (con fibra sintética)

SOLICITADO POR : Michael Conlago
ENSAYADO POR : FM
CALCULADO POR : MT
APROBADO POR : GEOSUELOS CIA. LTDA.

Descripción:	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1
Fecha de fábricación:	2025-10-09				
Fecha de rotura:	2025-11-06				
Edad (días):	28				
Largo (mm):	513.00	516.00	513.00	530.00	534.00
Alto (mm):	150.30	150.00	149.80	151.00	151.00
Ancho (mm):	149.50	150.00	149.80	150.00	150.90
Peso (kg):	17360	17427	17366	18427	18535
Peso unitario (kN/m³):	14.77	14.73	14.80	15.06	14.94
Luz libre (mm):	450	450	450	450	450
Carga máxima (kN):	10.90	7.10	7.20	6.10	4.90
Módulo de ruptura (Mpa):	1.45	0.95	0.96	0.81	0.65
Distancia a la falla (mm):	265.0	240.0	255.0	301.0	240.0

Descripción:	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2
Fecha de fábricación:	2025-10-09				
Fecha de rotura:	2025-11-06				
Edad (días):	28				
Largo (mm):	541.00	536.00	536.00	550.00	550.00
Alto (mm):	151.00	154.00	150.60	152.50	152.00
Ancho (mm):	150.00	150.70	151.20	150.00	149.00
Peso (kg):	19399	18243	18236	18369	18569
Peso unitario (kN/m³):	15.53	14.39	14.66	14.32	14.62
Luz libre (mm):	450	450	450	450	450
Carga máxima (kN):	6.00	4.20	4.70	4.50	3.00
Módulo de ruptura (Mpa):	0.80	0.56	0.63	0.60	0.40
Distancia a la falla (mm):	290.0	260.0	275.0	270.0	260.0

IVAN MARCELO TORRES SIERRA

Firmado digitalmente por IVAN MARCELO TORRES SIERRA
Nombre de reconocimiento (DN): cn=IVAN MARCELO TORRES SIERRA, serialNumber=1706727540-181224150300, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2026.01.28 10:47:17 -05'00'

Ikiam
Universidad Regional Amazónica

F. Informe del ensayo de gravedad específica y absorción del árido fino

GEOSUELOS
CIA. LTDA. CONSULTORES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN

PROYECTO:	*PY 6299*	**ENSAYADO:**	*JCG*
OBRA:	*Ensayos de Laboratorio*	**CALCULADO:**	*FM*
CLIENTE:	Michael Conlago	**APROBADO:**	*MT*
MUESTRA :	*Arena*	**FECHA:**	*01-sep-25*

AGREGADO FINO

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr)	500.65	gr.
Mm = Masa del matraz (gr)	166.66	gr.
Mmw = Masa del matraz + agua (gr)	478.35	gr.
M = Masa del matraz + agua + muestra (gr)	979.00	gr.
A = Masa de la muestra seca (gr)	495.93	gr.
Ma= Masa de agua añadida al matraz (gr)	311.69	gr.

$$Gs = \frac{A}{B - Ma}$$

GRAVEDAD ESPECIFICA = **2.63 gr/cm^3**

$$Gsss = \frac{500}{V - W}$$

GRAVEDAD ESPECIFICA SSS **2.66 gr/cm^3**

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

ABSORCIÓN = **0.95 %**

IVAN MARCELO TORRES SIERRA

Firmado digitalmente por IVAN MARCELO TORRES SIERRA
Nombre de reconocimiento (DN): cn=IVAN MARCELO TORRES SIERRA, serialNumber=1706727540-1812241503081, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025.09.11 10:05:09 -05'00'

G. Informe del ensayo de la masa unitaria suelta y compacta del árido grueso

GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

MASA UNITARIA DE AGREGADOS

PROYECTO:	Ensayos de Laboratorio	***ENSAYADO:***	JCG
OBRA:	Diseño de Hormigón	***CALCULADO:***	MT
CLIENTE:	Michael Conlago	***APROBADO:***	Geosuelos Cia. Ltda.
ORIGEN:	-	***FECHA:***	08-sep-25
NORMA:	*ASTM C 29*		

TIPO DE MUESTRA : *AGREGADO GRUESO - ZARANDEADO*

Volumen del molde: 14249 cm³ **Peso del molde:** 12584 g

Muestra	Masa de material suelto (g)	Masa de material compactado (g)	Masa unitaria suelta (kg/m³)	Masa unitaria compactada (kg/m³)
Material Grueso	21309	22042	612	664
	21357	22069	616	666
	21479	22086	624	667
	21424	22185	620	674
	21456	22038	623	663
	21315	22060	613	665
	21434	22058	621	665
	21315	22041	613	664
	21391	22052	618	664
	21440	22073	622	666
		PROMEDIO	617	665

IVAN MARCELO
TORRES SIERRA

Firmado digitalmente por IVAN MARCELO TORRES SIERRA
Nombre de reconocimiento (DN): cn=IVAN MARCELO TORRES SIERRA, serialNumber=1706727540-181224150300, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025.09.11 10:13:13 -05'00'

H. Informe del ensayo de granulometría del árido fino

GEOSUELOS
INGENIEROS CONSULTORES

GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO

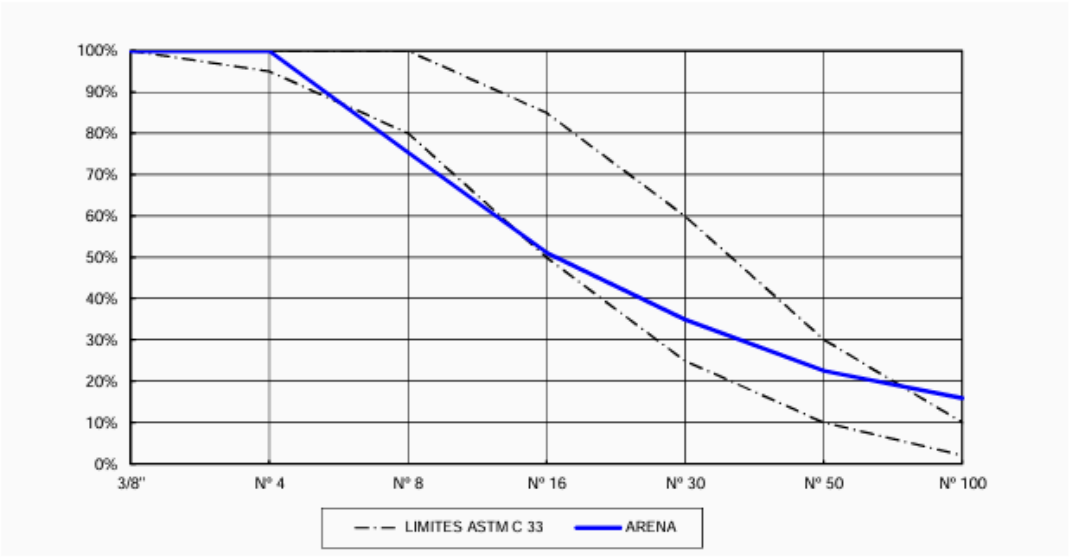
PROYECTO: *PY 6299*
OBRA : *Ensayos de Laboratorio*
MUESTRA : *Agregado fino*
ORIGEN: *-*
NORMA: *ASTM C 136*

ENSAYADO: *FM*
CALCULADO: *FM*
APROBADO: *MT*
FECHA: *29-ago-25*

TIPO DE MUESTRA: *Arena*

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	RET. PARCIAL (gr)	RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICAC. (% QUE PASA)
1 1/2"	37.50	0	0	0.0%	100.0%	100
3/4"	19.05	0	0	0.0%	100.0%	100
3/8"	9.53	0	0	0.0%	100.0%	100
Nº 4	4.80	0	0	0.0%	100.0%	95-100
Nº 8	2.40	274.77	274.77	24.6%	75.4%	80-100
Nº 16	1.20	271	545.77	48.9%	51.1%	50-85
Nº 30	0.60	181.22	726.99	65.1%	34.9%	25-60
Nº 50	0.30	137.79	864.78	77.4%	22.6%	10-30
Nº 100	0.15	74.81	939.59	84.1%	15.9%	2-10
BANDEJA		177.41	1117.00			

MODULO DE FINURA : **3.0**



IVAN MARCELO TORRES SIERRA

Firmado digitalmente por IVAN MARCELO TORRES SIERRA
Nombre de reconocimiento (DN): cn=IVAN MARCELO TORRES SIERRA, serialNumber=1706727540-1812241503000, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025.09.09 16:50:08 -05'00'